

**Universidad Nacional Autónoma de México**

**Facultad de Ingeniería**

---

---



**PROPUESTA PARA EL ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EN EDIFICIOS CON  
INSTRUMENTACIÓN SÍSMICA**

**T E S I S**  
PRESENTADA POR

**Baruo Daniel Aldama Sánchez**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL

**DIRECTOR: M.I. GERARDO RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ**

**MÉXICO DF, MAYO DE 2005**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/002/05

Señor  
BARUO DANIEL ALDAMA SÁNCHEZ  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. GERARDO RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"PROPUESTA PARA EL ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EN EDIFICIOS CON INSTRUMENTACIÓN SÍSMICA"**

- INTRODUCCIÓN
- I. PRINCIPALES CRITERIOS EN LA INSTRUMENTACIÓN DE EDIFICIOS
  - II. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL ANÁLISIS DE LA RESPUESTA SÍSMICA EN EDIFICIOS INSTRUMENTADOS
  - III. EJEMPLOS DE APLICACIÓN
  - IV. COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES
  - V. BIBLIOGRAFÍA O REFERENCIAS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 25 de Enero del 2005.  
EL DIRECTOR

M.G. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GEB/AJP/crc

VoBo  
  
16-05-05  
Miguel A. Rodríguez Vega

Gerardo Rodríguez Gutiérrez  
Vo. Bo.  
13-Abril-2005.

Esteban Escobar  
Vo. Bo.  
26-04-05

14-ABRIL-2005  
Vo. Bo.  
Marco A. Mañus C.

VoBo  
FERNANDO FAVELA L.

## DEDICATORIAS

*A Dios, que me ha dejado llegar hasta aquí. A mi madre por su cariño y amor incondicional, a mis hermanas Hilda y Neri, que me han dado fuerza para no decaer en ningún momento, a mis hermanos Jorge y Miqueas, que no me han dejado sólo nunca.*

*A mis amigos de toda la vida Gerardo Pérez, Antonio Rodríguez, Miguel Ángel Flores, Gregorio Arias, Jesús Murguía, Cristina Roa Mondragón, Genaro Garrido Lazcano, quienes han formado parte de mi vida, me han apoyado y siempre los tengo presentes a donde quiera que voy.*

*A mis amigos de la Facultad, Carlos Cruz Noguez, José Camargo Pérez, Héctor Guerrero Bobadilla, Luis Enrique Hernández Huerta, con quienes he compartido alegrías y penas, y quienes me han dado su apoyo incondicional siempre...*

*A todos ellos Gracias por todo...*

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue realizado en la Coordinación de Estructuras y Materiales del Instituto de Ingeniería de la UNAM, bajo la dirección del M.I. Gerardo Rodríguez Gutiérrez, como parte de un proyecto de investigación orientado al mejoramiento de adquisición y procesamiento de registros sísmicos para el análisis estructural de edificios instrumentados en la Ciudad de México.

Se agradece al Departamento de Ingeniería Sismológica y al M.I. Marco Antonio Macias Castillo por la disponibilidad de la información para la realización de este trabajo así como las sugerencias y comentarios hechos durante la realización del mismo.

Quiero agradecer a mi tutor, el M.I. Gerardo Rodríguez Gutiérrez, por sus valiosos comentarios, sugerencias, así como por su paciencia, que me han sido útiles para mi formación académica y profesional.

Así mismo, deseo agradecer al Dr. David Murià Vila por la disponibilidad de la información necesaria y por proporcionarme un espacio de trabajo dentro del Instituto de Ingeniería para la realización de este trabajo.

De la misma forma, agradezco a mis sinodales M.I. Fernando Favela Lozoya, M.I. Marco Antonio Macias Castillo, M.I. Enrique Cesar Valdez y al M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega, por su disposición y comentarios hechos a este trabajo.

De manera especial quiero agradecer también, al profesor Juan Luís Umaña Romero, a quien le agradezco sus valiosos consejos, sugerencias, pero sobre todo su apoyo, que me ha brindado durante mi formación académica.

Estos agradecimientos no estarían completos sin mencionar al M.I. Miguel Ángel Mendoza, quien me orientó también en ciertos puntos durante la realización de este trabajo, así como a mis compañeros y amigos, los Ingenieros Carlos Alonso Cruz Noguez, José Camargo Pérez, Augusto Antonio Rodríguez Díaz, Hector Guerrero Bobadilla, Jhavé David Álvarez Torres Valle, Jonathan Rodea Miranda, Roberto Carlos, Carlos Huerta Carpizo, Luís Enrique Hernández Huerta, así como a Felipe Bennetts, Edgar Castro y Alejandro Espinosa, a todos ellos les agradezco mucho su apoyo, consejos, y amistad, así como la compañía que me han brindado durante todo este tiempo.

Finalmente, agradezco a mi madre y mis hermanos Jorge, Hilda, Neri y Miqueas que son mi familia y que pese a todo me han dado su confianza y apoyo, y cinco razones más para seguir adelante, así mismo a las personas que de manera inadvertida he omitido.

*El vacío*

*El vacío, es todo absolutamente, sin contrariedades,  
no existe nada que lo excluya o se oponga,  
es un vacío existente, porque todas las formas nacen de él  
y quien comprende el vacío esta lleno de vida, de poder y del amor de todas las cosas...*

*(Bruce Lee)*

## RESUMEN

En el presente trabajo se muestra una propuesta de análisis que se basa en el empleo de herramientas de cómputo, con el fin de conformar una nueva metodología de análisis de los sismos con el objetivo de obtener resultados fiables y que representen una inversión de tiempo menor. Adicionalmente se busca que los resultados obtenidos a partir de la metodología de análisis sean de utilidad en futuras investigaciones con el fin de ampliar la información de tres edificios instrumentados.

Se han analizado diez sismos de mediana intensidad, los cuales tienen su epicentro en las costas de Guerrero y sus magnitudes van de 4.6 a 7.5 grados en la escala de Richter tal, de manera que, pese a contar con una importante gama de información, la metodología provea de versatilidad en el manejo de esta y sea posible obtener resultados preliminares a manera de reporte en poco tiempo. Para ello se han desarrollado procedimientos y rutinas de análisis que hacen posible la obtención de dicho reporte.

La metodología de análisis está basada en el empleo de rutinas de programación y macros en Excel, para ello se han elegido tres edificios con instrumentaciones diferentes y que se encuentran en zonas distintas, se han seleccionado dos edificios desplantados en la zona lacustre del Valle de México y uno más en las costas de Guerrero, así mismo se estudia un evento sísmico de mediana intensidad que fue registrado en las tres estructuras elegidas, de tal forma que se pueden estudiar las respuestas de éstos de forma particular, sobre cada edificio.

Posteriormente se procede a analizar los registros sísmicos en el dominio del tiempo con base en una técnica de análisis no paramétrico, de donde se han obtenido las historias de aceleración, velocidad y desplazamiento, así como descomposición y distorsiones de entrepiso, estas últimas se han comparado en relación a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismos, este análisis se desarrolla en cada una de las estructuras y para cada evento seleccionado.

Del análisis en el dominio del tiempo se pueden determinar la presencia de los efectos ISE (interacción suelo-estructura), dado que al descomponer la señal en sus movimientos de traslación, flexión, torsión y cabeceo se advierte de la participación de estos efectos de manera separada, ya sea en mayor o en menor medida, en este caso, se ha centrado la atención en la presencia del cabeceo o la participación de este en la señal de azotea para justificar la aparición del efecto de ISE durante la ocurrencia del sismo y con ello determinar la importancia de su consideración en análisis posteriores.

Después, los registros sísmicos se analizaron en el dominio de la frecuencia con el fin de conocer las frecuencias y periodos fundamentales, de las estructuras y comparar los resultados de cada edificio, ello nos dará la pauta para inferir sobre el comportamiento dinámico de la estructura y conocer la aparición de efectos de interacción de suelo-estructura.

Finalmente, la información que se deriva de ambos análisis permite tener en cuenta que las estructuras estudiadas presentan o no comportamientos lineales y no lineales, por ejemplo, la presencia de los efectos de ISE describe un comportamiento no lineal, este último evidenciado con el cabeceo de la estructura.

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b>	10
Antecedentes	11
Objetivos y Alcances	12
<b>CAPÍTULO 1 PRINCIPALES CRITERIOS EN LA INSTRUMENTACIÓN SÍSMICA DE EDIFICIOS</b>	14
1.1 El fenómeno sísmico en México	14
1.2 Criterios y tipos de instrumentación en edificios	15
1.2.1 Criterios de la instrumentación en edificios	16
1.2.2 Tipos de instrumentación en edificios	17
1.3 Objetivos y metas de la instrumentación en edificios	19
1.3.1 Objetivos de la instrumentación en edificios	19
1.3.2 Metas de la instrumentación en edificios	20
1.4 Selección de edificios	20
1.5 Selección de puntos para la instrumentación	21
1.6 Importancia de los sensores de terreno	23
1.7 Mantenimiento de la instrumentación en edificios	25
<b>CAPÍTULO 2 PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL ANÁLISIS DE LA RESPUESTA SÍSMICA EN EDIFICIOS INSTRUMENTADOS</b>	26
2.1 Antecedentes	26
2.2 Análisis de los registros sísmicos	27
2.2.1 Análisis en el dominio del tiempo	28
2.2.2 Análisis en el dominio de la frecuencia	34
2.3 Propuesta metodológica para la sistematización del análisis de registros sísmicos	37
2.3.1 Sistematización del proceso de análisis	37
2.3.2 Sistematización para el análisis en el dominio del tiempo	38
2.3.3 Sistematización para el análisis en el dominio de la frecuencia	42

2.4	Propuesta de reporte final de la respuesta sísmica de edificios	44
<b>CAPÍTULO 3 EJEMPLOS DE APLICACIÓN</b>		<b>48</b>
3.1	Breve descripción de los edificios estudiados	48
3.1.1	Descripción del edificio JALAPA	50
3.1.2	Descripción del edificio OASIS	52
3.1.3	Descripción del edificio TELECOMM	56
3.2	Descripción de la instrumentación en cada edificio	59
3.2.1	Descripción de la instrumentación en el edificio JALAPA	59
3.2.2	Descripción de la instrumentación en el edificio OASIS	62
3.2.3	Descripción de la instrumentación en el edificio TELECOMM	64
3.3	Características de los sismos estudiados	67
3.4	El caso del edificio JALAPA	68
3.5	El caso del edificio OASIS	93
3.6	El caso del edificio TELECOMM	110
3.7	Comparación de resultados	116
3.7.1	Respuestas Máximas de las Historias de Aceleración, Velocidad y Desplazamiento	117
3.7.2	Descomposición del Movimiento	117
3.7.3	Distorsiones de Entrepiso	118
3.7.4	Frecuencias y Periodos Fundamentales	121
<b>CAPÍTULO 4 COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES</b>		<b>123</b>
<b>CAPÍTULO 5 REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>128</b>
<b>APÉNDICE A GRÁFICAS Y TABLAS DE RESULTADOS DE LOS EVENTOS SÍSMICOS</b>		<b>131</b>
<b>APÉNDICE B TRATAMIENTO DE SEÑALES</b>		<b>135</b>
B.1	Filtrado de la señal	135
B.2	Corrección de Línea Base	137
B.3	Suavizado de la señal	138



B.4	Taper	139
<b>APÉNDICE C MEDICIÓN DE LOS FENÓMENOS SÍSMICOS</b>		141
C.1	Intensidad de Arias	141
C.1	Magnitud del sismo	142
<b>APÉNDICE D PROPUESTA DE FORMATO PRELIMINAR</b>		144

## INTRODUCCIÓN

La instrumentación sísmica en México tiene sus inicios en los grandes proyectos hidroeléctricos desarrollados en el país hace más de 40 años, ello con el fin de obtener registros que ayudaran a determinar el comportamiento dinámico de las estructuras en estudio. El resultado de los análisis de los registros obtenidos fue una referencia para establecer los coeficientes sísmicos propuestos en las normas de construcción de la ciudad de México de aquel entonces (Alcántara, Macias y Almora, 2004).

Lo anterior enmarca una filosofía del diseño estructural que permita a la estructura disipar la energía que recibe debido a acciones como el viento, explosiones y aún en mayor proporción, a la de los sismos. De esta manera, con la ayuda de un diseño adecuado y probado experimentalmente se pueden corroborar modelos analíticos que permitan considerar las eventualidades que se presenten en dichos resultados experimentales y con ello contribuir a asegurar la estabilidad de las nuevas estructuras ante estas acciones, evitar el colapso de las mismas y la pérdida de vidas humanas.

Debido a las enormes pérdidas tanto humanas como de infraestructuras generadas durante los sismos del 19 y 21 de septiembre de 1985, el interés por prever el daño producido en las estructuras y establecer en los reglamentos de construcción parámetros en el diseño y construcción de edificios se incrementó de forma drástica. Cabe señalar que antes de este sismo, no se contaba con edificios instrumentados, la única fuente de información de este tipo provenía de estaciones de terreno, de manera que la información que se obtenía era sólo del suelo y no de alguna estructura en particular.

Lo anterior nos permite reflexionar sobre los hechos y darse cuenta de la importancia que ocupa la instrumentación sísmica de edificios en nuestro país. De forma paralela, el avance tecnológico en el tipo de aparatos de este género y las técnicas de adquisición y procesamiento de datos, ha ido evolucionando. En la actualidad existen realmente pocos edificios que cuentan con este tipo de instrumentación, la mayoría de estos se encuentran ubicados en el valle de México, de ahí que el promover la instrumentación sísmica de edificios en nuestro país sea de suma importancia.

La instrumentación sísmica permite conocer el comportamiento estructural que ha tenido una estructura durante diversos eventos sísmicos, convirtiendo ello en una fuente valiosa de información para determinar el estado resultante de la estructura, esto por medio de una metodología de análisis que conlleve a resultados confiables. Con el tiempo, las metodologías empleadas han tenido que adaptarse a los avances tecnológicos en cuanto a programas y sistemas de cómputo cada vez más potentes, permitiendo incursionar en nuevos campos y obteniendo mejores alternativas, que a fin de cuentas, nos significan en seguridad y prevención de desastres.

Hoy en día, la problemática que envuelve este fenómeno implica el desarrollo de nuevas técnicas de instrumentación en cuanto a nuevos aparatos, así como programas de cómputo que permitan coleccionar la información proveniente de los eventos sísmicos. El desarrollo de técnicas de análisis y métodos de procesamiento de la información no sólo necesitan ser confiables, sino rápidos en vista de la inusitada ocurrencia de estos eventos.

Este trabajo presenta una propuesta para el análisis y trato de la información proveniente de registros sísmicos que han ocurrido en edificios con instrumentación permanente. Se busca obtener resultados de forma confiable y rápida y así mismo, dotar de versatilidad a las técnicas y metodologías que se han venido utilizando desde años pasados, con el fin de presentar la información analizada, no sólo de forma práctica, sino precisa, ya que de ello depende la certeza del diagnóstico que se realice a priori y a posteriori a un evento sísmico.

Paralelamente a la instrumentación se cuenta con técnicas de identificación de parámetros estructurales, que posibilitan el análisis de los registros obtenidos de la estructura instrumentada con el fin de estimar sus propiedades dinámicas (*Zapata, 2001*). Algunos de estos parámetros funcionan como relevantes dentro de la gama de información que se recaba de los registros sísmicos, estos son; las frecuencias naturales de vibrar de la estructura y porcentajes de amortiguamiento, logrando con ello, capturar la esencia de lo que le está pasando a la estructura justo en el momento de la ocurrencia de un evento sísmico, ya sea de baja, mediana o incluso de gran intensidad.

Esta serie de técnicas de identificación de parámetros permite tener una referencia o patrón del comportamiento de la estructura en estudio, con el fin de poder correlacionarla con los modelos analíticos que se tengan, con ello, no sólo se cuenta con otra técnica de análisis sino que, más allá de ello, permite mejorar y corregir los modelos; calibrándolos de tal forma que se logre una estimación de las características dinámicas cada vez más reales partiendo de registros sísmicos.

En este trabajo se han seleccionado eventos sísmicos anteriores y recientes que han sido registrados en tres edificios con instrumentación permanente y que presentan diferentes arreglos de instrumentación, así como una diferencia significativa entre sus tiempos de operación como edificios instrumentados. Lo anterior conlleva un problema implícito el cual radica en el tipo de instrumentación con el que se cuenta en cada edificio, así como de las propiedades inherentes a cada una de ellas, de ahí que el acertado diagnóstico presto y oportuno de cada uno de ellos dependa del correcto manejo de los datos con los que se cuenta para lograr un análisis detallado.

De manera paralela, el análisis que se emplea para el estudio de los registros seleccionados es un análisis basado en una técnica no paramétrica y se realiza en dos etapas, consistiendo la primera en el análisis de los registros obtenidos en el dominio del tiempo, obteniendo las propiedades más importantes como: las aceleraciones máximas, distorsiones de entrepiso y las historias de velocidades y desplazamientos para un cierto punto en estudio, y el segundo, el cual se realiza en el dominio de la frecuencia mediante funciones relacionadas entre diferentes señales de interés y con base en las propiedades que se desean determinar.

## **ANTECEDENTES**

A raíz de la experiencia de los sismos ocurridos en septiembre de 1985 en la Ciudad de México, la instrumentación sísmica tomó importancia en la edificación de nuevas estructuras, si bien no tanto en su diseño, si en el monitoreo encaminado a la prevención y análisis de posibles daños estructurales.

Con la ayuda de acelerógrafos y más antiguamente con sismógrafos de alta ganancia que siempre saturaban sus registros durante eventos importantes y por consiguiente eran poco adecuados para propósitos de ingeniería (*Alcántara et al., 2004*), se tenía una noción de lo que estos fenómenos significaban y de la importancia de contar con diversos aparatos de este tipo, que permitieran extraer información de estos fenómenos, sin embargo, la mayoría de los que se empleaban eran de campo libre permitiendo obtener en sí poca información de estos eventos en edificios.

En 1960, se inicia la instrumentación para el registro de temblores fuertes en México al instalarse los dos primeros acelerógrafos en la Ciudad de México. Los primeros registros obtenidos, durante los sismos de Acapulco de 1962 (*Alcantara et al., 2001*), motivaron la instalación de más equipos de este tipo, sobre todo en las grandes obras hidroeléctricas en construcción en ese tiempo.

De tal forma que los esfuerzos por extender las redes acelerográficas de México han ido en aumento y con ello el avance tecnológico de nuevos aparatos, en este caso acelerómetros o sensores y sistemas de captura como lo son los registradores con una interfaz vía MODEM que permite mantener en constante monitoreo a las edificaciones que cuenten con este sistema.

En la actualidad en México no se excede de 25 edificios instrumentados. Once de ellos son atendidos por centros de investigación y uno de ellos se encuentra fuera de la ciudad de México, este último es monitoreado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, así como cinco en la zona metropolitana (*Alcantara et al., 2003*), esta cantidad de edificios instrumentados resulta insuficiente si se pretende abarcar y contar con información que pueda ser más representativa tanto de factores sísmicos como de respuesta estructural de la infraestructura de la ciudad de México en zonas de mayor peligro sísmico.

Actualmente diversas instituciones se suman al esfuerzo por promover la instrumentación sísmica en México y se han ido creando instituciones que se encargan propiamente de llevar cuenta de los registros y los eventos sísmicos que se van presentando día a día.

### **OBJETIVOS Y ALCANCES**

El objetivo de este trabajo consiste en la estimación de las propiedades dinámicas de tres edificios equipados con instrumentación permanente, desplantados en zonas de peligro sísmico alto; dos de ellos ubicados en la ciudad de México sobre terreno blando y otro más en las costas de Guerrero para los cuales, el oportuno diagnóstico de las condiciones estructurales de estos edificios, es muy importante.

De manera conjunta, se busca mostrar una metodología de análisis, que cuenta con una serie de herramientas de programación como son: subrutinas que permiten potencializar las herramientas de análisis con las que ya se cuenta, dotándolas de versatilidad al permitir el manejo de registros sísmicos de forma masiva, dando oportunidad al usuario de realizar un análisis exhaustivo de los datos que le son proporcionados después de un evento sísmico.

Así mismo, se proporciona una herramienta para la elaboración de un diagnóstico preliminar de los registros sísmicos de cada edificio después de un evento sísmico. Las herramientas desarrolladas para este trabajo permiten contar con este tipo de diagnósticos de manera rápida y precisa, sin importar la cantidad de instrumentos con que se cuente en cada uno de ellos e independientemente del tipo de instrumentación que se haya elegido para cada caso.

Como primera instancia se desarrolla una serie de subrutinas de programación adaptadas al empleo de macros en Excel, de tal forma que se cuente no solo con el acervo de información de los eventos sísmicos, sino que se posea la capacidad de depurar y operar la información en el mismo entorno de trabajo, ello con el fin permitir al usuario llevar un control y un orden más sencillo en los análisis que se realicen posteriormente.

Se hace, además, una comparación de los resultados de eventos sísmicos registrados en las tres estructuras elegidas con el fin de evaluar el posible daño para un mismo evento, así como sus principales propiedades dinámicas de manera que, las herramientas y los resultados obtenidos en el desarrollo de este trabajo sirvan para posteriores análisis de registros sísmicos no sólo en estas estructuras sino en todas aquellas que cuenten con instrumentación permanente y de las cuales se cuente con registros sísmicos.

*-Así pues, el alcance de este trabajo va orientado hacia el mejoramiento del proceso de análisis, como primer término.*

*-Como segundo término, al desarrollo de una metodología que permita llevar un control del estado de la estructura y de su instrumentación.*

*- Asimismo, se pretende emplear casos analizados anteriormente con el fin de corroborar la metodología seguida en este trabajo.*

*-Por último, se busca que el diagnóstico no sea sólo rápido, sino que presente características dinámicas de interés para el control y estado de servicio del mismo.*

## RESUMEN

En el presente trabajo se muestra una propuesta de análisis que se basa en el empleo de herramientas de cómputo, con el fin de conformar una nueva metodología de análisis de los sismos con el objetivo de obtener resultados fiables y que representen una inversión de tiempo menor. Adicionalmente se busca que los resultados obtenidos a partir de la metodología de análisis sean de utilidad en futuras investigaciones con el fin de ampliar la información de tres edificios instrumentados.

Se han analizado diez sismos de mediana intensidad, los cuales tienen su epicentro en las costas de Guerrero y sus magnitudes van de 4.6 a 7.5 grados en la escala de Richter tal, de manera que, pese a contar con una importante gama de información, la metodología provea de versatilidad en el manejo de esta y sea posible obtener resultados preliminares a manera de reporte en poco tiempo. Para ello se han desarrollado procedimientos y rutinas de análisis que hacen posible la obtención de dicho reporte.

La metodología de análisis esta basada en el empleo de rutinas de programación y macros en Excel, para ello se han elegido tres edificios con instrumentaciones diferentes y que se encuentran en zonas distintas, se han seleccionado dos edificios desplantados en la zona lacustre del Valle de México y uno más en las costas de Guerrero, así mismo se estudia un evento sísmico de mediana intensidad que fue registrado en las tres estructuras elegidas, de tal forma que se pueden estudiar las respuestas de éstos de forma particular, sobre cada edificio.

Posteriormente se procede a analizar los registros sísmicos en el dominio del tiempo con base en una técnica de análisis no paramétrico, de donde se han obtenido las historias de aceleración, velocidad y desplazamiento, así como descomposición y distorsiones de entrepiso, estas ultimas se han comparado en relación a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismos, este análisis se desarrolla en cada una de las estructuras y para cada evento seleccionado.

Del análisis en el dominio del tiempo se pueden determinar la presencia de los efectos ISE (interacción suelo-estructura), dado que al descomponer la señal en sus movimientos de traslación flexión, torsión y cabeceo se advierte de la participación de estos efectos de manera separada, ya sea en mayor o en menor medida, en este caso, se ha centrado la atención en la presencia del cabeceo o la participación de éste en la señal de azotea para justificar la aparición del efecto de ISE durante la ocurrencia del sismo y con ello determinar la importancia de su consideración en análisis posteriores.

Después, los registros sísmicos se analizaron en el dominio de la frecuencia con el fin de conocer las frecuencias y periodos fundamentales, de las estructuras y comparar los resultados de cada edificio, ello nos dará la pauta para inferir sobre el comportamiento dinámico de la estructura y conocer la aparición de efectos de interacción de suelo-estructura.

Finalmente, la información que se deriva de ambos análisis permite tener en cuenta que las estructuras estudiadas presentan o no comportamientos lineales y no lineales, por ejemplo, la presencia de los efectos de ISE describe un comportamiento no lineal, este último evidenciado con el cabeceo de la estructura.

## CAPITULO 1

### PRINCIPALES CRITERIOS EN LA INSTRUMENTACIÓN SÍSMICA DE EDIFICIOS

#### 1.1 EL FENÓMENO SÍSMICO EN MÉXICO

Los sismos o temblores son vibraciones de la corteza terrestre, generadas por distintos fenómenos, como la actividad volcánica, caída de techos de cavernas subterráneas y hasta explosiones, sin embargo los sismos y los más importantes desde el punto de vista de la ingeniería son los de origen tectónico que se deben a desplazamientos bruscos de las grandes placas en que está subdividida dicha corteza (Bazán y Meli, 2002). Como consecuencia de las vibraciones producidas se llegan a presentar otros fenómenos como es el caso de la licuación de arenas que es considerada una falla de terreno así como las aberturas de grietas y los deslizamientos.

Los temblores considerados como de gran intensidad que ocurren en México son debidos a la subducción de las placas oceánicas (figura 1.1) de Cocos y de Rivera bajo la placa de Norteamérica, éstos oscilan en magnitudes  $M_s$  mayor o igual a 7, sismos que son menos fuertes que los que ocurren dentro de la placa continental con magnitud menor o igual que 7 y sismos cuya magnitud es menor o igual que 5.5 y los cuales pueden ser llamados como de sismicidad de fondo, mismos que no pueden ser asociados a ninguna estructura geológica en particular (Ordaz, 1994). Dependiendo de la localización donde se originen éstos, pueden ser capaces de generar daños en diversos asentamientos humanos.

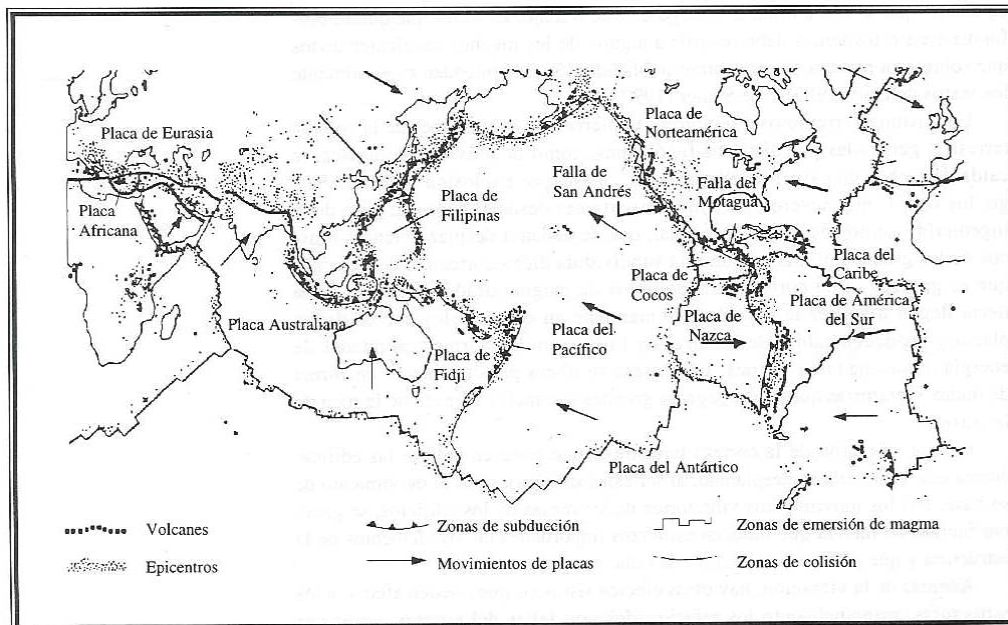


Figura 1.1.- Mapa que muestra la relación entre las principales placas tectónicas y la localización de los epicentros de terremotos y volcanes (de Bolt, 1987). (Tomada de Bazan y Meli, 2002)

Estructuras como los edificios que se encuentran en el Valle de México, en especial en la zona de lago, si son esbeltas y tienen una altura considerable, son susceptibles al efecto de estos fenómenos debido al tipo de suelo sobre el cual se han construido, que en este caso es considerado como zona lacustre conformado en su mayoría con arcillas de alta compresibilidad. Lo anterior amplía el margen de ocurrencia de daños estructurales aún más, debido a la probabilidad de hundimientos diferenciales así como de efectos de interacción suelo-estructura.

Relacionado con ello, la zonificación geotécnica del Valle de México ha dado lugar a su subdivisión en tres zonas que describen la condición del suelo del Valle (figura 1.2):

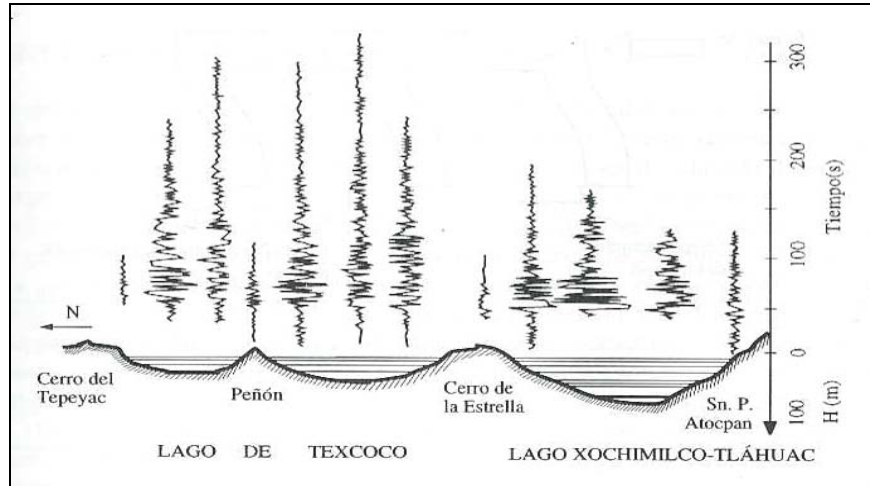


Figura 1.2.- Corte N-S del Valle de México en donde se muestra el perfil esquemático de los depósitos profundos, las zonas de Lago y algunos acelerogramas del 25 de abril de 1989(Bazán y Meli, 2002).

1. La zona de lago que tiene depósitos de arcilla de por lo menos 20m de espesor y correspondiente al peligro sísmico mayor.
2. La zona de transición donde los estratos de arcilla son de menor espesor y producen amplificaciones importantes, pero menos graves que en la zona de lago.
2. La zona de lomas que es de terreno firme y de peligro sísmico menor

## 1.2 CRITERIOS Y TIPOS DE INSTRUMENTACIÓN EN EDIFICIOS

El objetivo principal que se persigue dentro de la instrumentación sísmica de estructuras es lograr adquirir una mejor comprensión en cuanto al comportamiento y daño que potencialmente se puede generar durante la ocurrencia de eventos sísmicos, ya que por medio de ello se pueden lograr obtener especificaciones útiles en cuanto al diseño de estructuras así como adoptar prácticas de construcción innovadoras para el futuro de la edificación.

Un programa de instrumentación debe proporcionar información suficiente para reconstruir la respuesta de la estructura en detalle y poder compararse con los modelos matemáticos que se tengan



de ésta. Los resultados obtenidos deben hacer posible explicar las razones y parámetros posibles que pudiesen significar en daño estructural durante la acción de sismos.

La información que debe proporcionar la instrumentación sísmica encierra una variedad de tópicos esenciales y que van directamente relacionados con el comportamiento de la estructura y de sus propiedades dinámicas, a continuación se presenta una serie de puntos principales que son el objetivo a cubrir con el resultado de la instrumentación en edificios:

1. *Verificación del modelo dinámico de la estructura en el rango elástico.*
2. *Determinación de la importancia del comportamiento no lineal en la respuesta completa y local de la estructura.*
3. *De tener un comportamiento no lineal en la estructura; permitir un seguimiento del aumento de éste comportamiento en la estructura así como determinar el efecto del comportamiento no lineal en la frecuencia y el amortiguamiento de la estructura.*
4. *Contar con información que nos permita relacionar el daño que sufre la estructura ante un sismo, con las características estructurales de la ésta.*
5. *Determinación de los parámetros del movimiento a ras de tierra, correlacionar esta respuesta con el daño presentado en la estructura.*
6. *Hacer las recomendaciones que permitan los códigos sísmicos.*
7. *Facilitar las decisiones en cuanto a la rehabilitación del sistema estructural, así como asegurar el contenido de éste dentro de la estructura.*

### **1.2.1 CRITERIOS DE LA INSTRUMENTACIÓN EN EDIFICIOS**

El análisis de datos de los eventos sísmicos exige una considerable cantidad de tiempo de trabajo, aun cuando la mayor parte de éste se efectúe por medio de técnicas computacionales, ello recae en la justificación de que cada vez que ocurre un evento sísmico, interacciona con las estructuras ocasionando efectos dinámicos desfavorables sobre éstas. Los efectos sísmicos se ven reflejados ya sea en acelerogramas, es decir, historias del movimiento en el tiempo debido a la ocurrencia de los eventos sísmicos en diferentes instantes de tiempo durante la vida útil de la estructura, o bien, por el debilitamiento estructural de la misma que se percibe de forma física (grietas, hundimientos y emersiones), los efectos sísmicos repercuten en el desempeño de la estructura y por ende, en su comportamiento dinámico. Por ello, es indispensable contar con un control del impacto que provocan los efectos sísmicos sobre la infraestructura del país.

De tal forma que en vista de lo trascendente que pueden llegar a ser los frutos de estos estudios es recomendable emprenderlos en escala limitada (*Mena et al., 1981*), tomando como primer paso la instrumentación de unos cuantos edificios que satisfagan condiciones mínimas relacionadas con la ubicación de éstas, geometría, documentación, etc.

### 1.2.2 TIPOS DE INSTRUMENTACIÓN EN EDIFICIOS

La principal forma de obtener resultados que contemplen toda la serie de parámetros buscados en una instrumentación como son la obtención de las propiedades dinámicas, así como la historia del comportamiento de la estructura en el tiempo, permite definir el estado en el que se encuentra funcionando el edificio. Desde luego, una limitante está dada por el costo de la instrumentación deseada, de esta limitante depende la extensión de la instrumentación y se considerará si se adoptará una u otra instrumentación.

A continuación se muestran las instrumentaciones más típicas que son usadas en función de los requerimientos de investigación ( *Mehmet Celebi, 2000*):

- a) *El Código de los Estados Unidos Uniform Building Code de 1997(UBC) define un tipo de instrumentación que más que para el análisis es implementado para el monitoreo de la estructura y es recomendados para zonas 3 y 4, en el caso del estado de California. El equivalente en nuestro país serían las zonas C y D de la República Mexicana, zonas de alto riesgo sísmico y en las cuales se recomienda la ubicación de acelerómetros en sótano, azotea y centro del edificio como lo muestra la figura 1.3.a*
- b) *Instrumentación Extensiva Ideal, este tipo de instrumentación es usada para medir, así como para diferenciar la posición del suelo para descomponerla en dos traslaciones y una torsión, consta de tres acelerógrafos horizontal orientados como se muestra en la figura 1. 3.b*
- c) *En el caso de contar con diafragmas que no son del todo rígidos en su plano se emplean sensores ubicados en el centro de éste, así como en los bordes, esta información permite obtener el comportamiento así como los efectos de estos diafragmas si son considerados como flexibles(figura 1.3.c y 1.3.d)*
- d) *Instrumentación Extensiva para edificios con base aislada, ésta es empleada para evaluar los efectos tanto de la base como de la estructura con ayuda de arreglos de acelerógrafos triaxiales arriba y debajo de la base aislada como se muestra en la figura 3.d*

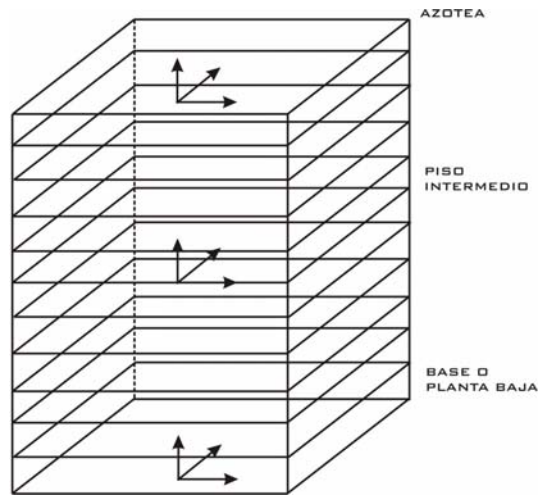


Figura 1.3.a) Instrumentación UBC recomendada

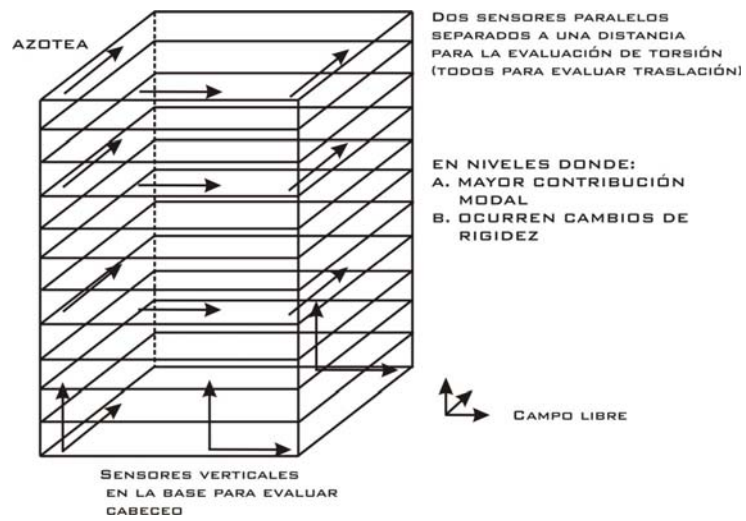


Figura 1.3.b) Instrumentación Extensiva Ideal

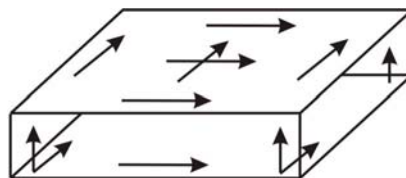


Figura 1.3.c) Instrumentación Extensiva para Diafragma Flexible

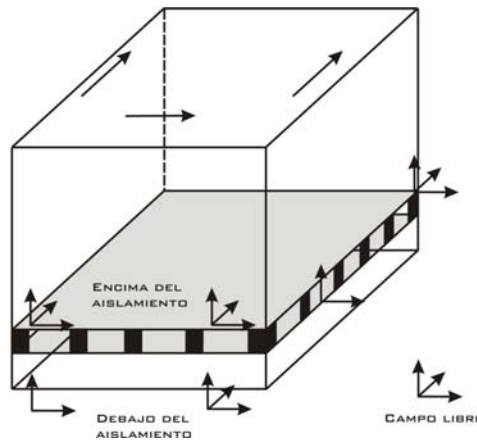


Figura 1.3.d) Instrumentación Extensiva para estructuras especiales de base aislada

### 1.3 OBEJETIVOS Y METAS DE LA INSTRUMENTACIÓN EN EDIFICIOS

La instrumentación sísmica tiene por objeto principal el llevar a cabo estudios que permitan determinar las características dinámicas reales de las estructuras y con ello analizar e incluso modificar los criterios que se usan actualmente en el modelado matemático de los edificios. El Instituto de Ingeniería ha promovido esta campaña en un principio mediante la incursión en la realización de pruebas de vibración ambiental en edificios típicos en la ciudad de México (*Muria et al., 2000*).

#### 1.3.1 OBJETIVOS DE LA INSTRUMENTACIÓN EN EDIFICIOS

La determinación de las propiedades dinámicas en edificios por medio de pruebas de vibración ambiental, nos lleva a la conclusión de que se pueden obtener parámetros de comparación en torno a las modificaciones que se puedan presentar en las estructuras cuando éstas son sometidas a excitaciones mucho mayores a las ambientales, de tal forma que se pueden presentar daños en la estructura debido al efecto de los sismos sobre éstas.

En este caso se puede mencionar la relación directa de las pruebas de vibración ambiental con el comportamiento estructural asociado a muy bajas amplitudes de excitación en contraste con el hecho de que debido a la acción sísmica se pueden presentar cambios significativos no sólo en la amplitud de excitación sino también en el modelo estructural debido a la presencia de un comportamiento no lineal.

Por otro lado se pueden presentar fallas en la estructura en lo que respecta a la rigidez de los sistemas estructurales, si ésta se encuentra deteriorada por el paso del tiempo o bien debido a los efectos de eventos sísmicos anteriores que van debilitando a la estructura gradualmente. Ello lleva a pensar en la rehabilitación del mismo o incluso dependiendo del daño que presente, en su demolición. Lo anterior hace referencia al hecho de que las estructuras dependen de una constante supervisión así como de un adecuado monitoreo para evitar desastres y mejorar el desempeño en las estructuras con características similares.

### 1.3.2 METAS DE LA INSTRUMENTACIÓN EN EDIFICIOS

Los programas de instrumentación de edificios cumplen con el objetivo de monitoreo de los sismos que experimenta una estructura. De manera conjunta, se busca conocer la respuesta de la estructura mediante el estudio de los registros que se obtienen de un movimiento fuerte y determinar sus efectos, conformando con ello una serie de condiciones y metas establecidas para la instrumentación de edificios que a continuación se presentan (*Muria et al., 2001*):

1. *Seguimiento de las respuestas dinámicas de edificios para estudiar las modificaciones que sufren los parámetros estructurales y los efectos de ISE ante los movimientos sísmicos sucesivos.*
2. *Desarrollo y calibración de modelos teóricos para estimar el estado de daños con técnicas de localización y estimación de la magnitud del daño.*
3. *Desarrollo de modelos refinados que representen la respuesta estructural y la determinación de los parámetros de dichos modelos, que definen la respuesta estructural ante los sismos que se registren. Así como la conformación de modelos lineales elaborados con criterios comunes de la práctica profesional para determinar la respuesta dinámica de las estructuras ante solicitaciones moderadas.*
4. *Análisis comparativos de la respuesta dinámica de edificios altos.*
5. *Verificación de los procesos de diseño de edificios altos y la elaboración de recomendaciones para mejorar la práctica de análisis y diseño actual de este tipo de estructuras.*

### 1.4 SELECCIÓN DE EDIFICIOS

La selección de los edificios que se pretende instrumentar se define en función de la utilidad o funcionalidad del mismo así como la importancia de este; la zona en la cual se haya construido así como de otros criterios de importancia que se han considerado en la selección. Los criterios que a continuación se enuncian han sido la base teórica sobre la cual se han elegido estructuras en el Valle de México, vale la pena resaltar que los criterios varían dependiendo del de la zona donde se ubique la estructura así como la susceptibilidad al riesgo sísmico al cual estén expuestas y la predominancia de edificios en la región en estudio.

Los criterios para el caso de México (Valle de México) son los siguientes:

- *Edificios de concreto reforzado con un número de niveles inferior a 20 por el hecho de ser éstos más susceptibles a los efectos dinámicos.*
- *Que consten de una estructuración simple, regular y simétrica y que no presenten daños estructurales.*

- *Desplantados en diferentes suelos característicos de la ciudad de México.*
- *Tener la documentación completa del proyecto estructural (planos y memorias de cálculo).*
- *Contar con facilidades de acceso al inmueble por parte de los dueños.*

En la instrumentación de un edificio se consideran factores físicos que permitan obtener los resultados buscados en torno al comportamiento estructural del mismo, es decir que se deben determinar las posiciones en las cuales se deba colocar la instrumentación permanente.

Por ejemplo, para la obtención de las frecuencias y de las configuraciones modales en traslación, los instrumentos se colocan en los centros geométricos de la estructura, manteniendo sensores de referencia en la azotea y en niveles intermedios. Así mismo, para la determinación de los modos torsionales se colocan acelerómetros en los extremos de cada nivel elegido (*Muria y Alcorta, 2000*), o dependiendo de las características dinámicas que se persigan, se modifica, no sólo la ubicación de los sensores en la estructura, sino también varía el número de sensores que se ha de emplear en la instrumentación del edificio. Vale la pena mencionar que el último factor mencionado depende en gran medida de la disponibilidad del equipo en el mercado, como también del presupuesto que se esté dispuesto a invertir.

Por lo que, si se pretende obtener información modos superiores de la estructura también es necesario contar con instrumentación no sólo en la base del edificio y en azotea sino también en niveles intermedios.

## **1.5 SELECCIÓN DE PUNTOS PARA LA INSTRUMENTACIÓN**

En la última década ha ido evolucionando toda esta serie de conceptos en torno a los arreglos y a los tipos de instrumentación para diversas estructuras, todas ellas con el fin de obtener información en cuanto a las características estructurales como las frecuencias modales y amortiguamientos modales de las estructuras (*Celebi, 2000; Hjung, 1987*). Anteriormente la instrumentación típica consistía en dos acelerógrafos (en la base y en la azotea), o en tres: en la base, en la azotea y en un nivel intermedio, (*Trifunac y Todorovka, 2001*).

En este caso resulta muy diversa la manera cómo se debe instrumentar una estructura, en el presente trabajo se trata el caso específico de la instrumentación de edificios. Uno de los factores que influyen de forma directa en la instrumentación tiene relación directa no sólo con la geometría del edificio, sino de manera significativa con el terreno sobre el cual se haya erigido la estructura; así como de los factores para los que se pretenda contar con información para su estudio, en este caso la influencia de la interacción del suelo y estructura lo que se conoce como efectos ISE.

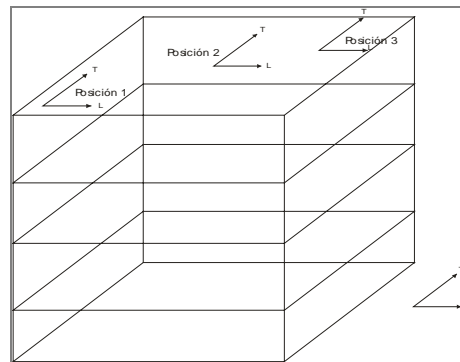
En general cuando se pretende obtener información de la estructura respecto al movimiento horizontal entre sus niveles intermedios basta con contar con un mínimo de tres sensores, con ello se podrá obtener información de la traslación del edificio así como de la torsión que pudiese presentar la estructura durante un evento sísmico.

Rojahn y Matthiensen (*1997*) concluyeron que la respuesta predominante de un edificio de varios niveles puede describirse por la participación de los primeros modos de cada uno de los tres

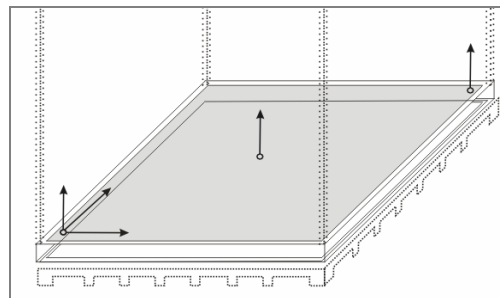
movimientos (dos traslaciones y una torsión), que pueden ser medidos si se cuenta con un mínimo de 12 sensores (acelerómetros) (Celebi, 2000). La distribución de estos puntos es como la ilustrada en la figura 1.3b, en ésta se han incluido un sensor de terreno y 4 sensores verticales para tomar en cuenta el cabeceo, en el caso de ser éste último importante en la estructura.

Por otro lado existen aspectos importantes que figuran como parámetros a considerarse dentro de la instrumentación, tal es el caso del movimiento vertical en la estructura, así como el cabeceo que pudiese presentarse durante los eventos sísmicos en la estructura y que, usualmente, están correlacionados con el tipo de suelo o la zona sobre la cual se encuentre desplantada la estructura. En este caso es necesario colocar tres sensores como mínimo en posición vertical en el sótano de la estructura para registrar estos efectos. Esta instrumentación se conoce como *Instrumentación Extensiva Ideal* (Celebi, 2000).

Para la obtención de propiedades dinámicas tales como la rotación, traslación y torsión en los edificios se debe elegir, en primera instancia, un área que permita la correcta orientación de los sensores, de tal forma que se coloquen lejos de perturbaciones inducidas por maquinaria o personas. En estudios que involucran los modos superiores de vibración, el lugar recomendable es el primer tercio de la altura, lugar donde el primer modo no es tan influyente, la localización en planta del sensor debe ser sobre el centro de rotación del edificio, que generalmente coincide con el centro geométrico, posición 2 (figura 4.a). Para determinar el periodo rotacional hay que utilizar registros simultáneos de dos sensores colocados en las posiciones 1 y 3, es decir, en esquinas diagonales opuestas (Espinoza, 1999).



a)



b)

Figura 1.4 a) Posiciones de los sensores en la losa de azotea y 1.4 b) terreno (Espinoza, 1999)

Como mínimo se deben contar con acelerógrafos en campo cercanos al edificio, así como en la azotea del mismo. Si el edificio está construido en suelo blando se debe procurar contar con instrumentación en el sótano para poder evaluar los efectos de interacción suelo-estructura al momento de realizar el análisis.

También, si se pretende obtener información acerca modos superiores de la estructura es necesario contar con instrumentación no sólo en la base del edificio y en azotea sino también en niveles intermedios del mismo.

El orden en el que se colocan los instrumentos, en este caso, se han ido definiendo de acuerdo a la experiencia en la obtención de datos de pruebas con instrumentación de tipo ambiental; la colocación de los instrumentos de manera adecuada permite obtener la información deseada para el posterior estudio de la estructura instrumentada.

En el caso de estructuras altas flexibles y con sistemas de piso prácticamente indeformable, en su plano se puede emplear una instrumentación abarcando los puntos principales en primer término como la instrumentación de azotea, sótano y campo libre; en el caso de edificios regulares que presenten una geometría sencilla y que estén desplantados en zonas blandas como es el caso de la mayoría de lo edificios altos en el Valle de México, requerirán de una instrumentación más elaborada sin perder de vista los puntos esenciales como la azotea, el sótano y el campo libre, en este caso se contemplará la posibilidad de instrumentar niveles intermedios localizados a un tercio y dos tercios de la altura total del edificio(*Murià-Vila, et al., 2000*).

Ello con el fin de identificar los modos de vibrar en la estructura, no se debe olvidar que existen estructuras que requieren de instrumentación especial debido a su particular geometría, ya que en contraste con estructuras simétricas, no se presenta la misma uniformidad tanto en sus centros de masa como en la rigidez que presentan sus miembros estructurales. De ello depende que la instrumentación permita obtener datos que describan correctamente el comportamiento dinámico de las estructuras de este tipo ante efectos sísmicos.

La aplicación de las pruebas de vibración ambiental ha sido útil en cuanto a la determinación de las características dinámicas de un edificio a priori de un evento sísmico; ello implica que se tenga un parámetro de referencia al momento de evaluar los efectos de un evento sísmico, así como el estado de éste después del sismo. De igual forma, el mismo principio de diagnóstico se puede emplear en edificios que han sido rehabilitados o que se pretenden rehabilitar. Esto permite evaluar el efecto de la rehabilitación a priori y a posteriori en un efecto sísmico y/o de una prueba de vibración ambiental, estos criterios deben ser tomados en cuenta sobre todo si el edificio presenta daños considerables en la superestructura.

En este caso se espera que el análisis frecuencial del edificio rehabilitado arroje frecuencias naturales de la estructura por encima de las obtenidas antes de su rehabilitación lo que implicaría un aumento en la rigidez del mismo.

## **1.6 IMPORTANCIA DE LOS SENSORES DE TERRENO**

La implementación de acelerómetros en campo libre dentro de los programas de instrumentación sísmica se ha hecho cada vez más necesaria para monitorear los efectos de los sismos de forma



relativa a las estructuras en estudio. El comportamiento dinámico de una estructura, durante un sismo, está directamente asociado con el desempeño estructural de los elementos que lo conforman (vigas, columnas, muros de carga, etc.).

En contraste con ello, el desempeño de una estructura se ve afectado no sólo debido a factores de diseño, sino también, debido al impacto de los sismos sobre el terreno sobre el cual se encuentre desplantada la estructura, esto es, que se encuentre en una zona de suelo blando o bien en una zona de alta sismicidad, ambos rubros son factores determinantes, de tal forma que, esta serie de parámetros nos lleva a la necesidad de recabar información de carácter externo a la estructura en sí, con tal de aislarla de posibles factores ajenos a la estructura y , de manera conjunta, comprender la interacción de ésta con el suelo que se mueve, que tiene propiedades físicas y que tiene un comportamiento e influencias distintas sobre la estructura, que pueden o no ser significativos dependiendo de los resultados que se deriven del análisis.

Esta serie de consideraciones lleva implícita la metodología que aquí se emplea, ya que dependiendo de la influencia que se tenga del suelo, así como del comportamiento del edificio es como nos podemos dar cuenta de la participación de cada uno de estos factores en la estructura. Esta forma de análisis es conocida como descomposición del movimiento y se hace uso de ella auxiliándose no sólo de registros sísmicos de la estructura sino también de registros sísmicos obtenidos de estaciones de campo libre, de ahí la importancia de éstas.

En este trabajo se han considerado casos en los que tres estructuras están expuestas a un riesgo sísmico alto, factor que se desprende de dos casos particulares: dos de ellas han sido construidas en terrenos particularmente blandos en la zona del Valle de México (Edificios Jalapa y Telecomm), y otro en una zona de alta sismicidad cercana al epicentro, en las costas de Guerrero (Edificio Oasis); esto conlleva a que estén expuestas a la falla por sollicitaciones sísmicas, es por ello resulta útil contar con información recabada de registros de sensores de terreno.

Si por otro lado se desea obtener información para interpretar el movimiento de la subestructura en relación con el que se tiene a ras de tierra, es decir, la forma en la que las ondas sísmicas afectan a la subestructura es necesario contar no sólo con sensores a ras de tierra sino con sensores de pozo profundo (*figura 1.5*), ya que estos pueden proporcionar información en cuanto al movimiento que se presenta el subsuelo o el lecho rocoso a una distancia definida de la fuente de origen, así como la amplificación de las ondas sísmicas desde los estratos del subsuelo (*Celebi, 2000; Zapata, 2001*).

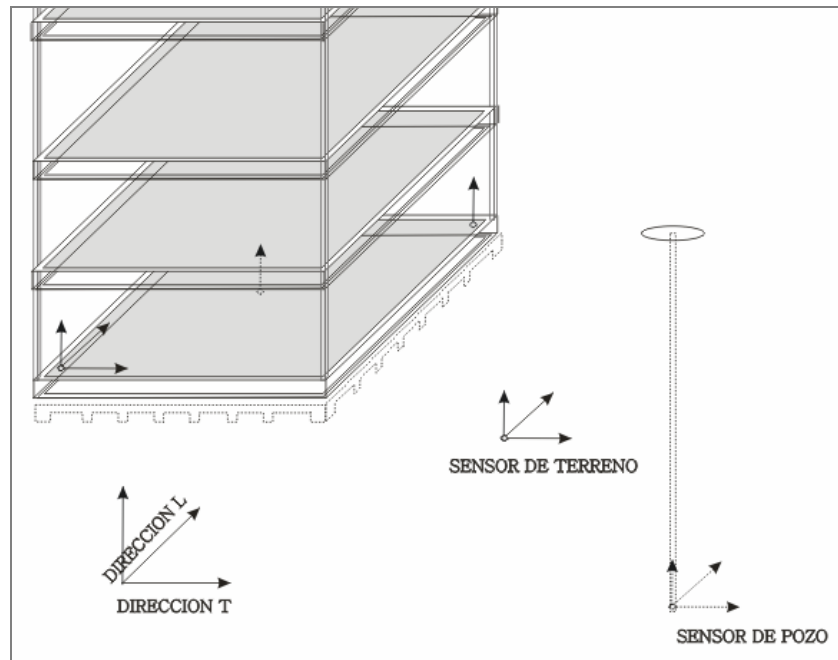


Figura 1.5.- Sensores de pozo profundo y de terreno

## 1.7 MATENIMIENTO DE LA INSTRUMENTACIÓN EN EDIFICIOS

Con el objeto de contar con registros confiables se hace necesario efectuar un mantenimiento a los instrumentos colocados en forma permanente, de este modo se garantiza el funcionamiento correcto y por ende datos más exactos durante la ocurrencia de algún sismo. En estos casos el mantenimiento se lleva a cabo con cierta periodicidad; de 3 a 12 meses según las circunstancias y la experiencia lo permitan y dependiendo del tipo de sensores empleados.

A continuación se presentan algunos puntos de importancia que se persiguen durante el mantenimiento del equipo:

- 1.-Calibración remota
- 2.-Inspección de terminales, baterías o carga del voltaje.
- 3.-Revisión en el umbral de disparo para los registradores así como su capacidad de almacenamiento de datos y la realización de registros de calibración con el fin de obtener las características deseadas.

## CAPÍTULO 2

### PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL ANÁLISIS DE LA RESPUESTA SÍSMICA EN EDIFICIOS INSTRUMENTADOS

#### 2.1 ANTECEDENTES

En este trabajo se ha empleado la misma mecánica que se ha adoptado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM para el análisis de registros sísmicos y la determinación de las propiedades dinámicas de estructuras. Con lo anterior, el procesamiento de la información que se sigue posterior a los eventos sísmicos, se puede llegar a resumir en dos grandes etapas que son:

En primer término se realiza la recuperación de la información del sismo para su edición y asignación de las características físicas de identificación de los aparatos en la estructura de tal forma que se cuente con datos descriptivos tanto del sitio de ocurrencia del sismo, ubicación del edificio instrumentado y claves de los canales que registraron la información del evento sísmico, tipo de equipo, sensor, orientación, sensibilidad, número de serie, longitud de los registros e índices de tramos editados (Murià *et al.*, 1999).

Esta labor es llevada a cabo por el grupo encargado de mantenimiento de la red acelerográfica el cual cuenta con una metodología de análisis que ha venido creciendo cada vez más en cuanto a las exigencias e importancia que este tipo de estudios refiere, es así, que en la medida en que se surge la necesidad de instrumentar una estructura como lo son en su mayoría edificios, representa una tarea muy elaborada en torno a la cantidad de información que es requerida y que paralelamente debe ser manejada y analizada.

En segundo término se lleva a cabo el procesamiento de los acelerogramas que consiste en los siguientes pasos (Alcantara *et al.*, 2003):

- *Examinar los registros de un mismo evento para determinar su calidad, y verificar el tiempo inicial para sincronización con base en una señal común de tiempo.*
- *Eliminar en cada registro los componentes frecuenciales que no son de interés.*
- *Efectuar la corrección de línea de base para determinar el eje de amplitudes cero a cada registro.*
- *Integrar los acelerogramas corregidos para obtener las historias de velocidades y desplazamientos. En el cálculo se supone que las amplitudes varían linealmente entre dos puntos consecutivos.*

## 2.2 ANÁLISIS DE LOS REGISTROS SÍSMICOS

En torno a lo anterior resulta conveniente hacer referencia a la gama de información y la serie de parámetros que intervienen en la interpretación de los registros para la determinación de propiedades dinámicas de la estructura en estudio. Debido a ello, ha surgido la necesidad de contar con programas y rutinas de análisis que permiten analizar esta información basados en la dinámica estructural, como son rutinas para manipular los registros sísmicos capturados y editarlos, rutinas para integrar los acelerogramas y obtener las historias de velocidades y desplazamientos, rutinas para obtener espectros de Fourier de cada señal., etc.

Sin embargo, lo anterior lleva a una problemática que resulta en el objeto de este trabajo, ya que el procedimiento antedicho independientemente de ser preciso representa una inversión considerable de tiempo ya que la preparación de cada registro involucra una serie de pasos como los ya citados que de alguna forma llegan a requerir no sólo de experiencia, sino también de cierta pericia en el manejo de la información que permita al ingeniero obtener resultados de forma rápida.

Lo anterior tiene estrecha relación con la necesidad de contar con herramientas que faciliten no solo la interpretación de los registros sísmicos, sino que provean ciertas facilidades visuales durante la edición y manejo de datos. Esto significaría no sólo menor tiempo durante el manejo de los registros sísmicos, sino también tener herramientas de cálculo para el análisis de la información independiente del número de registros con que se cuente.

Los procesos sistematizados permiten al usuario optimizar el tiempo que invierte en estas tareas, esto conlleva una estrecha relación con la necesidad de contar con informes específicos que comprendan criterios de elección de resultados mismos que describan la condición de una estructura a manera de informe preliminar.

Ello implica contar con información esencial de la estructura, para la cual se requiere de registros sísmicos que se hayan obtenido de puntos específicos de la estructura en estudio, en los cuales se estime que se presente una mayor excitación en la estructura. En este caso, al tratarse de edificios, resulta conveniente emplear registros de azotea (AZ). Relativo a la excitación o respuesta presentada en la parte más elevada de la estructura se requiere de una referencia, tanto de la base de la misma (SC), como del suelo cercano a la estructura, también llamado; *campo libre* (CL).

Cabe hacer mención que los registros mencionados se analizan, dependiendo de la geometría de la estructura, de acuerdo a la orientación de estos (dirección transversal  $T$  y dirección longitudinal  $L$ ). De manera conjunta, la preocupación de los habitantes y dueños de los inmuebles conforman un factor importante, ya que el diagnóstico oportuno de las condiciones de estos inmuebles, puede no sólo evitar desastres sino también facilita la forma de llevar un control en torno a la evolución de las características dinámicas de éstos a través del tiempo de su vida útil.

Actualmente el manejo de los registros sísmicos se lleva a cabo tanto en el dominio del tiempo como en el dominio de la frecuencia. En el análisis y procesamiento de señales se cuenta con distintas herramientas cuyo uso tiene por objeto lograr a partir de un número finito de datos (muestras), obtener información importante referida a un fenómeno o sistema que ellos representan. Desde el punto de vista matemático una señal puede venir descrita de muy distintas maneras.

Un problema central es encontrar una representación en la cual ciertos atributos de la señal se hagan explícitos. Los registros sísmicos son grabados en el dominio del tiempo, pero en el

estudio de las señales resulta más conveniente pasar esta información al dominio de la frecuencia, ya que de esta forma se pueden extraer características que no son evidentes en el dominio del tiempo, como lo son las frecuencias de vibrar de la estructura.

Lo anterior nos muestra que una función en el dominio del tiempo indica cómo la amplitud de la señal cambia en un determinado intervalo del evento sísmico, su representación en el dominio de la frecuencia permite conocer **que tan a menudo** esos cambios tienen lugar (Vera, 2004). Asimismo los análisis frecuenciales de las señales, normalmente se basan en la interpretación de funciones que relacionan las señales de excitación o entrada, a las cuales está sometido un sistema, y las de respuesta o salida. Por su parte, los análisis en el dominio del tiempo, se basan en la interpretación directa que de la señal puede derivarse, bien sea esta la que se registró en los instrumentos, o el resultado de la manipulación de varias de ellas (Taborda, 2004).

La vinculación entre estas dos presentaciones se logra mediante la Transformada de Fourier, cuya idea fundamental es la de descomponer la señal en la suma pesada de funciones *sinusoidales*, es decir de senos y cosenos (Vera, 2004).

El factor más importante para determinar la calidad de los procesos es la experiencia del operador así como su calidad del resultado que se obtenga de los pasos a seguir para los procesos de automatización (Todorovska y Vincent, 2004).

Más importante aún son las técnicas y métodos de análisis que se empleen para determinar las propiedades dinámicas de la estructura, así como la necesidad de contar con resultados específicos que de ello se derive, para cada caso en particular. Podemos abordar estas técnicas en torno a dos análisis por separado para la estimación de las propiedades dinámicas como: análisis en el dominio del tiempo y análisis en el dominio de la frecuencia, en este trabajo se ha hecho uso de ambos criterios de análisis y a continuación son descritos.

### 2.1.1 ANÁLISIS EN EL DOMINIO DEL TIEMPO

Resulta oportuno mencionar que los acelerogramas que se obtienen, están compuestos por una gama de factores que están presentes durante la excitación a la que es sometida la estructura, de los cuales se requiere conocer la participación de cada uno de ellos por separado; de tal forma que se recurre a procedimientos matemáticos que permiten separar los factores que conforman la respuesta de la estructura.

En este caso se emplea un procedimiento matemático denominado como *Descomposición del movimiento*. La descomposición del movimiento se implementa con el fin de obtener las frecuencias asociadas a los movimientos de traslación y de cabeceo de la base, así como para poder conocer la frecuencia propia de la estructura, ello permite trabajar con la estructura como si realmente estuviese empotrada (Taborda, 2004), por lo que; en los cálculos se ha supuesto a la losa de sótano como un elemento infinitamente rígido (un diafragma rígido en su plano).

En la práctica, para poder descomponer el movimiento; con el fin de obtener las frecuencias de traslación y de cabeceo de la base, es necesario contar con registros sísmicos verticales y horizontales, de niveles intermedios y de sótano de la estructura preferentemente ubicadas al centro geométrico de ésta, ello con el fin de establecer una señal que se pueda emplear como referencia, así como contar con registros en azotea, de igual forma, al centro de la misma, así como en el campo libre (terreno) de la instrumentación del edificio en estudio.

Así mismo, se pueden evaluar otras características presentes durante la excitación a la que esté expuesta la estructura, esto es el giro que pueda experimentar, ante lo cual se dispone de los

registros verticales del sótano de tal forma que se pueda estimar el giro en torno a sus ejes de rotación.

Se puede además, determinar la contribución de los movimientos de cabeceo y traslación de la base debida a los efectos de interacción suelo-estructura (ISE), así como los de flexión y torsión de la estructura (*Murià y Rodríguez, 1999*).

Como parte del procedimiento de análisis resulta conveniente comentar la metodología a seguir para la descomposición del movimiento. En primer término, se emplean los registros de sótano en posición vertical y que están colocados en esquinas opuestas, con los cuales se efectúa una diferencia entre estos registros, posteriormente esta diferencia se divide entre el brazo o la distancia que hay entre estos, la magnitud resultante es el giro que presenta la estructura alrededor de su eje transversal como se muestra en la figura 2.1 y 2.2. Este procedimiento se efectúa de forma análoga para la obtención del giro alrededor del eje longitudinal.

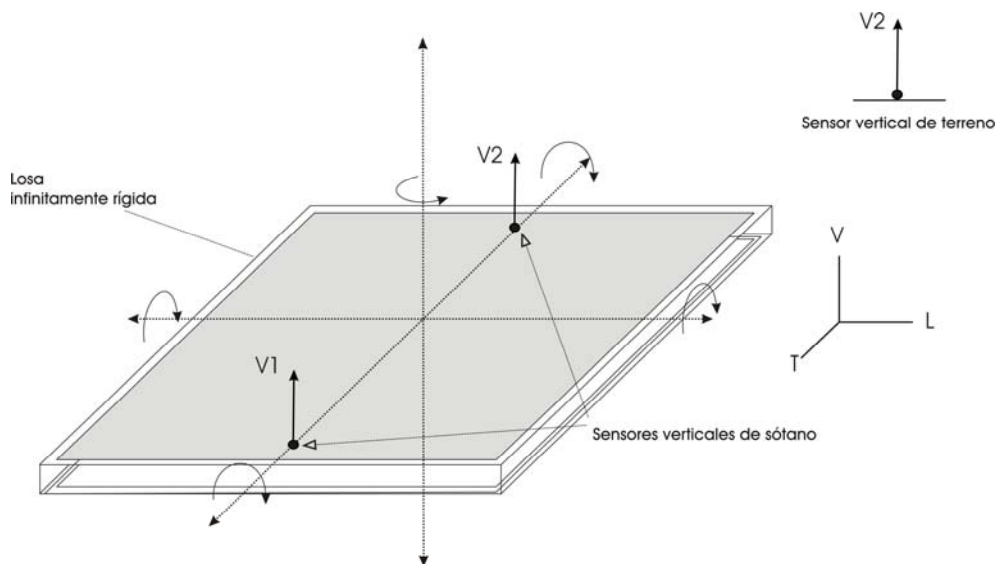


Figura 2.1.- Esquematización del giro de la base en sus ejes

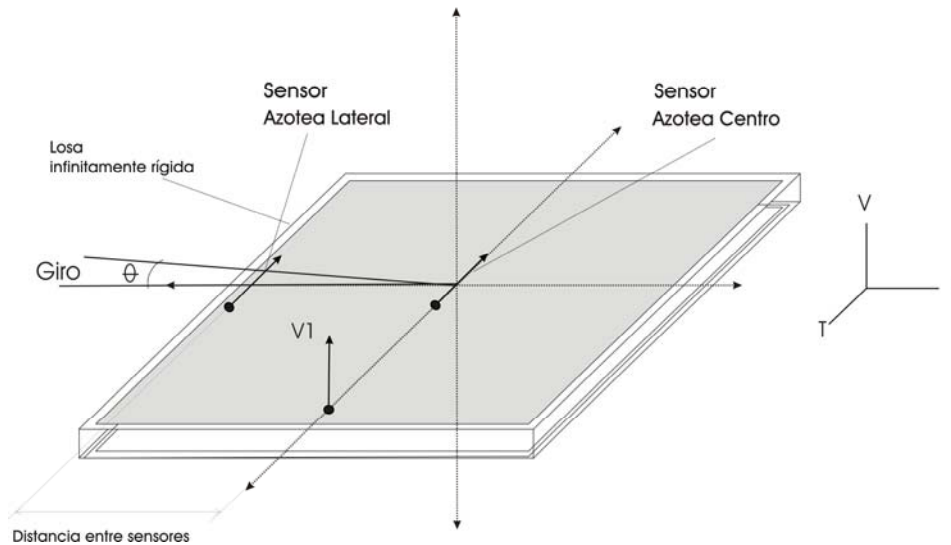


Figura 2.2.-Esquematización del efecto de torsión en la azotea

Por lo que las historias de aceleraciones, velocidades y desplazamientos que se obtienen, estos dos últimos del procesamiento de integración de la primera señal, están compuestas por los diversos efectos de movimiento que experimenta la estructura durante la acción sísmica, estos efectos del movimiento se pueden representar por la suma parcial de las contribuciones debidas al desplazamiento de la estructura, al cabeceo de la misma, y la torsión, entre estas, a continuación se describe cada uno de los movimientos que conforman la respuesta total de la estructura para un nivel  $i$ .

Cabe mencionar el hecho de que la contribución al movimiento total, por efecto de la torsión, se representa considerando el término  $X_t^i$  en la expresión (2.1a).

$$X_{ac}^i = X_s + X_0 + X_c^i + X_e^i \tag{2.1a}$$

$$X_a^i = X_s + X_0 + X_c^i + X_e^i + X_t^i \tag{2.1b}$$

$X_a^i$  es el desplazamiento absoluto de la traslación del extremo del  $i$ -ésimo nivel

$X_{ac}^i$  es el desplazamiento absoluto de la traslación del centro en el  $i$ -ésimo nivel

$X_s$  es el desplazamiento absoluto de la traslación del suelo

$X_0$  es el desplazamiento de traslación de la base con respecto al suelo

$X_c^i$  es el desplazamiento de traslación en el  $i$ -ésimo nivel debido a cabeceo

$X_e^i$  es el desplazamiento de traslación de la estructura en el  $i$ -ésimo nivel

$X_t^i$  es el desplazamiento de traslación de la estructura en el  $i$ -ésimo nivel debida a la torsión

Es importante hacer notar que los edificios que se eligieron para poner en práctica la metodología de análisis antedicha, cuentan con la cantidad de sensores adecuados para este tipo

de cálculo, ya que, como mínimo, se cuenta en cada uno con instrumentación en sótano y campo libre, en las direcciones transversal( $T$ ), longitudinal ( $L$ ) y vertical ( $V$ ).

Los movimientos de desplazamientos angulares de la base, se calculan como el cociente de la diferencia de los registros de los componentes verticales de las esquinas del sótano, entre las distancias que los separan. Para obtener el giro alrededor del eje transversal ( $\phi_T$ ), así mismo, se emplean los registros del sótano centro y en esquinas opuestas, ello nos permitirá cuantificar el giro que se presenta en la base, en torno al eje.

$$\phi_T = \frac{X_a^{esquina} - X_a^{esquina}}{D_L} \quad (2.2)$$

De forma análoga se efectúa el procedimiento par el eje longitudinal

$$\phi_L = \frac{X_a^{esquina} - X_a^{esquina}}{D_T} \quad (2.3)$$

En este caso la polaridad de los registros se establece en función de los movimientos de traslación de la azotea de la estructura como se muestra en la figura 2.3.

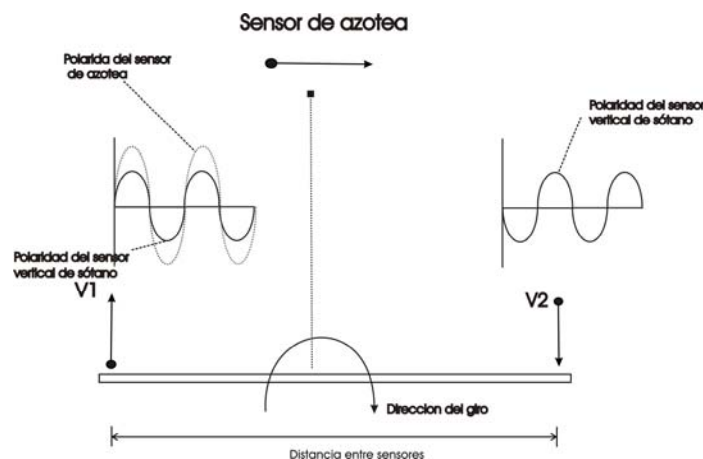


Figura 2.3.- Establecimiento de la polaridad de señales para la evaluación del cabeceo en función de la dirección del giro

Otra característica que puede ser evaluada, partiendo de registros de sótano y azotea, es el cabeceo que experimenta el edificio ( $X_c^i$ ), éste se obtiene luego de multiplicar los giros obtenidos en sus ejes transversal y longitudinal ( $\phi_T$  o  $\phi_L$ ), y se multiplica por la altura en nivel de interés ( $h_i$ ) (Muriá, et al., 1999; Zapata, 2001).

$$X_c^i = \phi_T \cdot h_i \quad (2.3)$$

Aquí la amplitud de la traslación absoluta del sótano (SC), (figura 2.4), es la suma de la traslación absoluta y la relativa del terreno (S). Cabe hacer mención de que la traslación relativa es la que se obtiene de la diferencia entre traslaciones de terreno y del sótano de la estructura.



$$X_o = X_a^{SC} - X_s \tag{2.4}$$

Los desplazamientos relativos de la estructura en un nivel  $i$  con respecto al terreno se obtienen como

$$X_r^i = X_a^i - X_s \tag{2.5}$$

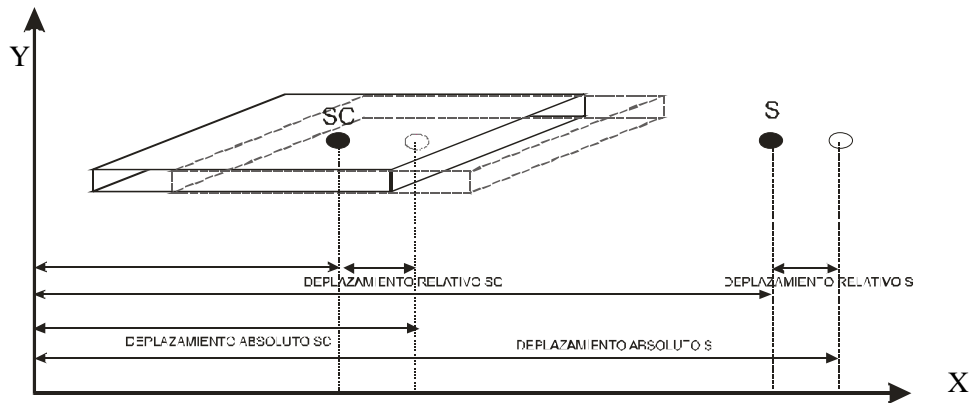


Figura 2.4.- Traslaciones de la base de la estructura y el sótano, con referencia en un sistema global.

Los movimientos relativos de traslación de la estructura, por flexión, se calculan como el promedio de las amplitudes relativas de las esquinas (ecuación 2.6a), o en su defecto si se cuenta con sensores al centro de la estructura (ecuación 2.6b) se considera la diferencia del vector de esquina con el de centro., éstos no toman en cuenta los movimientos de torsión de la estructura ni los de cabeceo, así como los de traslación relativa de la base, la expresión que se emplea es la siguiente

$$X_{ef}^i = \left( \frac{X_r^{iE} + X_r^{iO}}{2} \right) - X_o - X_c^i \tag{2.6a}$$

$$X_{ef}^i = X_{acr}^i - X_o - X_c^i \tag{2.6b}$$

Asimismo, los movimientos de torsión para un nivel en particular de la estructura se obtienen luego de la diferencia de los desplazamientos de las esquinas opuestas y se dividen entre dos, la expresión es la siguiente (figura 2.5)

$$X_{et}^i = \frac{X_r^{iE} - X_r^{iO}}{2} \tag{2.7}$$

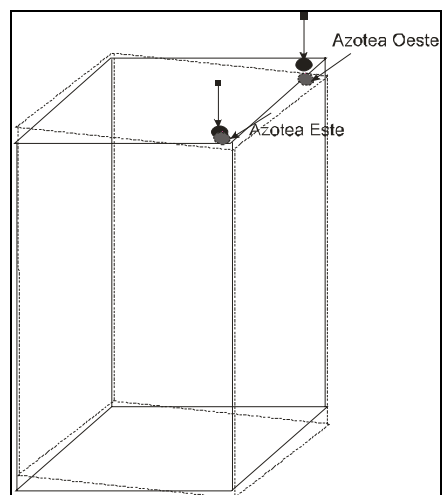


Figura 2.5.- Movimiento de torsión en azotea

En esta sección se pretende dar una explicación de la metodología que se sigue para el procesamiento de los registros sísmicos (*acelerogramas*) en el dominio del tiempo. En primer término las señales que se han obtenido de los equipos de captura (*registradores*), son editados, es decir, son convertidos a un formato ASCII que permite la extracción de información que se ha recabado pasado un evento sísmico.

Los archivos ASCII contienen la información del edificio; localización, en coordenadas geográficas, características particulares de la estructura, así como del sismo; magnitud, número de canales que registraron, orientación de los sensores y tiempo de muestreo, así como hora de toma de la primera muestra. El número máximo de acelerogramas que son grabados en éste tipo de archivos es, dependiendo del tipo de instrumental empleado, de hasta 12 registros por eventos sísmico; de donde, la cantidad de información varía en función del número de archivos que se extraigan por cada registrador, así como del tipo de aparatos que se empleen en la instrumentación del edificio.

La información es editada y organizada empleando rutinas o procedimientos manuales, con el objeto de manipular cada archivo de forma independiente, los acelerogramas convertidos a formato ASCII son, en primer término, separados del registro original, ello con el fin de separar la información numérica del registro, como segunda etapa del proceso se emplean subrutinas de programación realizadas en Fortran y proporcionadas por Ordaz (*tomado de Moreno, 1994*), para el procesamiento de los acelerogramas, tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia.

A través de una rutina se procesan los acelerogramas en el dominio del tiempo, a partir de los cuales se obtienen las correspondientes historias de velocidades y desplazamientos para cada registro. Posteriormente se efectúa una depuración o filtrado de la señal, es decir, la limpia del posible ruido que pudo ser capturado durante la grabación del registro debido a maquinarias y otras eventualidades ajenas a la vibración propia de la estructura; como frecuencias muy bajas o muy altas, la rutina es ejecutada mediante la elaboración manual de un archivo de datos (archivo tipo ".DAT"), donde son especificados; el número de puntos del acelerograma o en su defecto, intervalo deseado, factores de filtrado de la señal como: factores de suavizado, factores de taper, así como de corrección de línea base (*Irving, 2000; Boore et al., 2002; Trifunac y Todorovska, 2001;*

Ref 37). En el apéndice B se da una explicación de cada uno de estos aspectos correctivos aplicados a las señales sísmicas.

Paralelo a ello son indicados nombres de salida para cada archivo de aceleración, velocidad y desplazamiento dentro del mismo archivo. Cabe resaltar el hecho de que cada uno de estos procesos es efectuado de forma independiente al número de acelerogramas con los que se cuente, obteniendo como resultado tres registros corregidos a partir de cada uno.

Adicionalmente a ello, se verifica la orientación de los aparatos, según la red instalada en el edificio. En este caso dichos ajustes consisten en la sincronización de registros (acelerogramas) y la polaridad de los mismos de acuerdo a una referencia física tanto de tiempo como de posición (espacio).

Los datos que son capturados por los registradores de los sensores correspondientes tienen como base una velocidad de muestreo que se puede modificar durante la configuración del sistema de captura o registrador, usualmente esta velocidad de muestreo corresponde al orden de 100 muestras tomadas por segundo y esta captura de datos permanece constante el tiempo que dure el evento sísmico o hasta que se haya dejado de rebasar el umbral de disparo previamente establecido.

En la práctica cuando se observan este tipo de eventualidades en los registros sísmicos se procede según la metodología utilizada y se cortan los registros a partir de la hora que se ha tomado como referencia. La figura 2 muestra el caso de registros que presentan una diferencia en la hora de captura y se ha procedido a cortarlos para sincronizarlos de forma automática.

Posterior a este ajuste se procede a la revisión de la polaridad que presenten los registros con la misma orientación, ya sea transversal u horizontal, y que se encuentren ubicados en la misma planta o en el mismo extremo del edificio. De forma paralela se efectúa una corrección de línea base en cada registro, que consta de efectuar un promedio entre el intervalo de interés, mismo que se resta a cada punto de la señal en estudio para el intervalo requerido.

Esta forma de procesar acelerogramas y con la que actualmente se tiene ya cierta familiaridad, se ha ido convirtiendo en una herramienta de gran utilidad en la obtención de información en forma masiva, ya que la instrumentación de ciertos edificios del valle de México y uno más en la costa de Guerrero, son monitoreados por el Instituto de Ingeniería, lo que representa una cantidad considerable en cuanto al manejo de archivos provenientes de cada edificio instrumentado, esto en relación con la ocurrencia eventos sísmicos, la cual puede ser frecuente o no.

### 2.1.2 ANÁLISIS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA

Como ya se ha mencionado, una vez que se han obtenido los registros sísmicos, se hace necesario su procesamiento mediante un análisis espectral convencional (*Bendat y Piersol, 1989*). Este análisis espectral, nos permite cambiar del dominio del tiempo al de la frecuencia para facilitar el análisis de las señales, se encuentra basado principalmente en la transformada matemática de Fourier.

En este caso, cada uno de los registros sísmicos de aceleración, obtenidos en el dominio del tiempo, son transformados o pasados al dominio de la frecuencia, en vista de la practicidad que se tiene en este dominio para la obtención de las propiedades dinámicas deseadas, a los registros analizados en este trabajo se les aplica una transformación matemática que se conoce como La

Transformada Rápida De Fourier (TRF), que permite realizar el cambio del dominio del tiempo al de la frecuencia.

Si definimos a la señal de aceleración como  $\ddot{x}(t)$ , su transformada de Fourier se encuentra dada por la expresión siguiente:

$$\ddot{X}(f) = F[\ddot{x}(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} \ddot{x}(t) e^{-i2\pi f t} dt \quad (2.8)$$

Donde para un intervalo de tiempo finito la expresión puede ser escrita como:

$$\ddot{X}(f) = \int_0^T \ddot{x}(t) e^{-i2\pi f t} dt \quad (2.9)$$

Debido a que la transformada de Fourier es una función compleja, si se aplica la identidad de Euler a la expresión anterior, la ecuación (3.1) puede escribirse de la siguiente manera:

$$\ddot{X}(f) = \int_0^T \ddot{x}(t) \cos(2\pi f t) dt + i \int_0^T \ddot{x}(t) \sin(2\pi f t) dt \quad (2.10)$$

Es decir que la amplitud de Fourier esta compuesta por una parte real y una imaginaria

$$\ddot{X}(f) = \ddot{R}(f) - i\ddot{I}(f) \quad (2.11)$$

En este caso las ordenadas espectrales son suavizadas mediante la aplicación de promedios cuadráticos móviles, con el fin de disminuir los efectos causados por el ruido instrumental, durante la captura, errores o incertidumbres durante el cálculo, etc. (*Trifunac y Todorovska, 2001*)

En este caso la amplitud que se considera es la que resulta del suavizado, aplicada a la frecuencia  $f$ ,  $\ddot{X}_s(f)$  y se calcula mediante la siguiente expresión

$$\left[ \ddot{X}_s(f) \right]^2 = \left( \frac{1}{N} \right) \sum_{f_1}^{f_2} \left[ \ddot{X}(f) \right]^2 \quad (2.12)$$

Donde  $N$  es el numero de puntos ubicados entre las frecuencias y  $f_1$  y  $f_2$  representan los limites del intervalo al que se aplica la suma y están dadas por

$$f_1 = f \cdot 2^{\left( -\frac{1}{2FS} \right)} \quad (2.13)$$

$$f_2 = f \cdot 2^{\left( \frac{1}{2FS} \right)} \quad (2.14)$$

Donde  $FS$  representa el factor de suavizado.

Una de las formas para expresar una señal  $x(t)$  en el dominio de la frecuencia consiste en calcular su función de densidad espectral, también conocida como espectro de potencia, que es una función que representa la distribución de potencia de la señal con respecto de la frecuencia. Esta función se define como

$$S_{XX}(f) = \ddot{X}^*(f) \cdot \ddot{X}(f) \quad (2.15)$$

Donde

$\ddot{X}(f)$  transformada de Fourier de la señal de aceleración

$\ddot{X}^*(f)$  es el espectro conjugado de Fourier

También se pueden determinar los espectros cruzados de potencia de acuerdo con la expresión siguiente

$$S_{xy}(f) = \ddot{X}^*(f) \cdot \ddot{Y}(f) \quad (2.16)$$

Donde  $\ddot{X}(f)$  y  $\ddot{Y}(f)$  son funciones de simetría de dos señales diferentes implicando que

$$X(-f) = X^*(f) \quad \text{y} \quad S_{xy}^*(f) = S_{xy}(-f) \quad (2.17)$$

La información de las frecuencias negativas y positivas de la función de densidad espectral es la misma, debido a que dicha función es simétrica. Esto hace que sea más conveniente realizar el análisis de un solo lado del espectro, así se tiene:

$$G_{XX}(f) = 2S_{XX}(f) \quad (2.18)$$

Y se define la función  $G_{xx}(f)$  como

$$G_{XX}(f) = \begin{cases} 2S_{XX}(f) & \text{si } f > 0 \\ S_{XX}(f) & \text{si } f = 0 \\ 0 & \text{si } f < 0 \end{cases} \quad (2.19)$$

Si se tienen dos señales de aceleración correspondientes a dos puntos de la estructura,  $x(t)$  y  $y(t)$ , sus transformadas de Fourier están dadas por

$$X(f) = \int_0^T x(t) e^{-i2\pi f t} dt \quad (2.20)$$

$$Y(f) = \int_0^T y(t) e^{-i2\pi f t} dt \quad (2.21)$$

Se define el espectro de potencia cruzado entre las dos señales  $x(t)$  y  $y(t)$  como

$$S_{XY} = X^*(f) \cdot Y(f) \quad (2.22)$$

Y procediendo de igual manera que con el espectro de potencia

$$G_{XY}(f) = 2S_{XY}(f) \quad (2.23)$$

Una vez que se han obtenido los espectros de cada señal y los espectros cruzados entre pares de señales de aceleración, se procede a obtener ciertas relaciones entre dichas funciones, que nos permitan estimar, las propiedades dinámicas del sistema.

Las relaciones matemáticas adicionales de las cuales haremos uso es la función de transferencia, A continuación se presentan las características ésta.

### CÁLCULO DE LA FUNCIÓN DE TRASFERENCIA

Si se tienen dos señales de aceleración,  $x(t)$  y  $y(t)$ , y sus correspondientes transformadas de Fourier  $X(f)$  y  $Y(f)$ , la función de transferencia entre esas dos señales se define como:

$$FT = \frac{Y(f)}{X(f)} \quad (2.24)$$

Evidentemente la función de transferencia puede obtenerse también a partir de los espectros de potencia de las señales:

$$FT = \frac{\left| S_{YY}(f) \right|^{\frac{1}{2}}}{\left| S_{XX}(f) \right|^{\frac{1}{2}}} = \frac{\left| G_{YY}(f) \right|^{\frac{1}{2}}}{\left| G_{XX}(f) \right|^{\frac{1}{2}}} \quad (2.25)$$

La función de transferencia nos sirve para encontrar la relación de amplitudes que tienen dos señales.

## 2.3 PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA SISTEMATIZACIÓN DE REGISTROS SÍSMICOS

Para el desarrollo de este trabajo en relación a la propuesta para el análisis de registros sísmicos, se ha empleado técnicas de programación que se han adaptado a Excel por medio del desarrollo de macros, ello en vista de la versatilidad que significa contar con una herramienta de Office, así como de conservar archivos que permitan la elaboración de un compendio de información altamente manipulable en tiempo de ejecución de las mismas rutinas. De esta forma, es como el análisis presentado en este trabajo se ha desarrollado, es decir, empleando herramientas con las que se ha automatizado gran cantidad de las metodologías descritas anteriormente y se han comparados los resultados con eventos pasados que ya han sido analizados.

El uso de estas herramientas se describe en el apéndice A de forma más detallada, así mismo, se presenta una breve explicación del manejo de estas herramientas.

### 2.3.1 SISTEMATIZACIÓN DEL PROCESO DE ANÁLISIS

La sistematización se ha desarrollando atendiendo a las principales limitantes que rodean al procedimiento de análisis convencional. La experiencia ha indicado que el proceso es similar para el análisis y obtención de resultados en cada edificio, salvo que la principal limitante es el tiempo que se requiere para lograr un diagnóstico oportuno de la condición estructural del edificio en estudio. Así, se propone manipular la información necesaria siguiendo un orden jerárquico como el siguiente:

### *Análisis en el dominio del tiempo*

- *Sincronización de registros*
- *Revisión de la polaridad de registros*
- *Corrección de línea base*
- *Obtención de historias de aceleración velocidad y desplazamiento*
- *Distorsiones de entrepiso y descomposición del movimiento*
- *Calculo de la intensidad de Arias*
- *Magnitud del sismo*

### *Análisis en el dominio de la frecuencia*

- *Obtención de los espectros de Fourier*
- *Obtención de concientes espectrales*
- *Obtención de las principales frecuencias de la estructura*

### *Reporte preliminar*

- *Elaboración automática de un reporte de resultados de la estructura en estudio*

## **2.3.2 SISTEMATIZACIÓN PARA EL ANÁLISIS EN EL DOMINIO DEL TIEMPO**

Para el análisis en el dominio del tiempo se efectuó el procesamiento de los registros obtenidos de cada edificio con ayuda de subrutinas y programas diseñados para la depuración y manipulación de las señales originales, en este caso se empleo una serie de subrutinas adaptadas en hojas de cálculo mediante la interfaz de Visual Basic con la que cuenta Excel (*Macros*).

Para poder determinar las características dinámicas de un edificio posteriores a un evento sísmico, es necesario diferenciar aquellas que nos proporcionen las características principales que experimenta una estructura y que nos proporcionan datos referentes a las aceleraciones máximas, las historias de velocidad y desplazamiento, torsión, giros, amortiguamiento, distorsiones de entrepiso, así como sus periodos fundamentales y efectos de interacción suelo-estructura.

La subrutina que se programó esta diseñada para extraer, de los archivos ASCII, las historias de aceleración de los puntos donde se colocaron sensores, los archivos ASCII se obtiene de cada registrador con el que se cuente, contienen a su vez, tantas columnas de vectores de datos de aceleración, como sensores colocados al registrador, en la mayoría de los casos aquí mencionados, las columnas de datos varían de tres hasta doce por archivo ASCII. De manera simultánea a la extracción de acelerogramas de los registros ASCII, se ha programado una rutina paralela que permite evaluar la sincronización de los registros y de ser necesario corregirlos de forma autónoma (*Balena, 2000, Ceballos, 2000, Ref. 37 y Ref 38*).

La sincronización de registros consiste en fijar un punto de arranque igual para todas las señales capturadas a partir de un mismo umbral de disparo, es decir, el establecimiento de la hora máxima de comienzo del registro para poder estimar las muestras de corte, que serán removidas de ser necesario, para contar con registros que parten de un mismo tiempo (figura 2.6).

Esta opción en particular no es del todo requerida, ya que los sistemas de captura empleados cuentan con un sistema maestro-esclavo que permite la captura simultánea de datos en cada acelerómetro conectado a los registradores. Para este caso en particular la rutina extrae, como

parte de la información global de cada registro, la hora de captura para cada registro ASCII, esta información es almacenada en la rutina del macro y utilizada en caso de requerirlo así el resto de los registros.

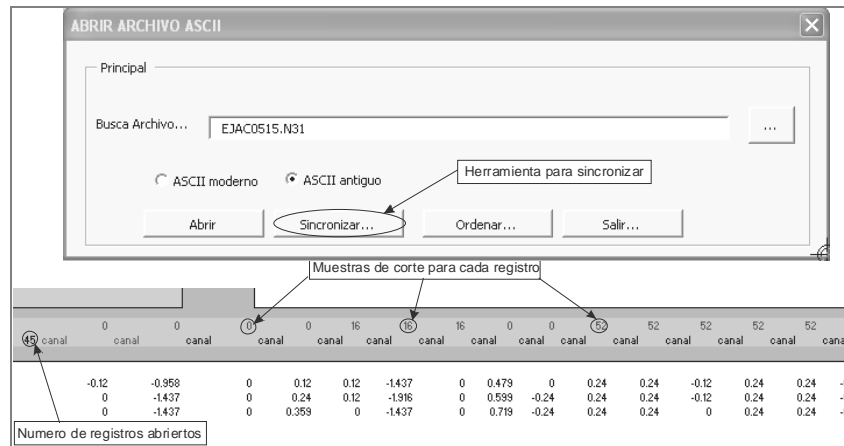


Figura 2.6.- Herramientas para la sincronización de registros

Posteriormente se cuenta con una herramienta para realizar un análisis por medio gráfico (figura 2.10), en este caso la inspección de las características de la señal, se pueden modificar de ser necesario (caso en el que la señal presente una polaridad invertida). La inspección de la polaridad de la señal y la corrección de línea base pueden ser efectuadas de forma independiente (señal por señal) o de forma masiva (registros completos).

En cuanto a la corrección de línea base se ha desarrollado una herramienta programada en un macro que permite dividir en ventanas o intervalos, al registro en cuestión, ya que en ocasiones las señales presentan corrimientos en intervalos de la misma, característica que se explica de forma detallada en el Apéndice B de este trabajo (figura 2.7) .



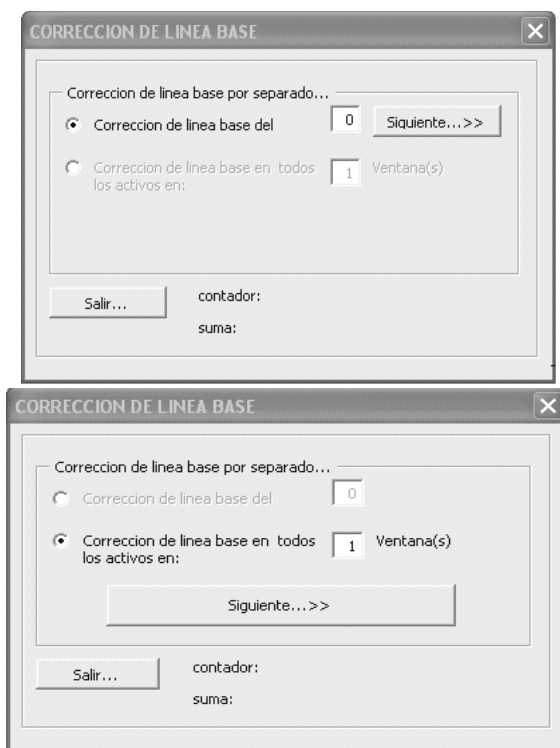


Figura 2.7.- Herramientas desarrollada para la corrección de línea base

El siguiente parámetro a evaluar es la polaridad de los registros. Las señales estudiadas están en relación directa con la orientación que se asigne a cada acelerómetro. La dirección que se asigna en un determinado punto para un cierto sensor es de acuerdo con un sistema de referencia global para la estructura; ello permite conservar un cierto orden dentro de la instrumentación del edificio. Debido a que los sensores están diseñados para registrar la aceleración en una dirección o componente en particular (vertical, longitudinal y transversal), es necesario establecer una convención en cuanto a la posición que se escoge en el momento de la instalación de éstos en la estructura.

En ciertas ocasiones existen características de la estructura que nos impiden conservar el orden que se ha predispuesto en el programa de instrumentación, de tal forma que algunos de los sensores son dispuestos en direcciones contrarias, es decir, su dirección se invierte, de tal forma que en la captura de información se tendrían registros cuyas amplitudes positivas se vean invertidas, dando como resultado signos contrarios a los del resto de las señales que han sido orientadas el dirección del eje global de referencias.

La metodología a seguir consta de dos partes principales:

- *Identificar el archivo cuya polaridad se encuentra invertida*
- *Aplicar un procedimiento autónomo (rutinas) para invertir los signos.*

Después de contar con los registros sísmicos que se han obtenido de los edificios se procede a visualizar los datos, empleando para ello una herramienta diseñada en un hoja de cálculo que permite abrir estos archivos ASCII, ordenarlos y posteriormente editarlos con las identificaciones o claves de cada canal que se empleen en cada edificio. Después se procede a la revisión de la señal elegida y se visualiza por medio de una gráfica que permite la comparación

simultánea de las señales de forma conjunta, esto resulta útil si se requiere verificar las características de las señales, ya sea por nivel o por elevación. Su empleo resulta frecuente si se desea observar las amplitudes de una señal que tenga una particular importancia o en su defecto que se haya empleado como referencia.

Al emplear este análisis, por medios gráficos, es posible llegar a diferenciar factores que pueden originar errores durante el manejo de los mismos en cálculos posteriores (obtención de las historias de velocidad y desplazamiento), en este caso se trata no sólo de la identificación de la polaridad de la señal capturada, sino de la corrección de línea base de la señal, es decir de los posibles corrimientos de la señal que se pudiesen presentar durante algún intervalo en particular o, en su captura.

Posteriormente, la rutina del macro permite exportar cada registro analizado para su integración. Para esto se ha diseñado una herramienta de exportación de archivos que permite la creación de los archivos de dato de cada registro con los características particulares de éstos en archivos de datos (archivos con extensión “.DAT”), adicionalmente se crea un archivo por lotes (archivo con extensión “.BAT”), que puede ser fácilmente ejecutado y con ello obtener los archivos de aceleraciones, velocidades y desplazamientos. Se ha desarrollado una metodología similar para el caso del manejo de datos en el dominio de la frecuencia (figuras 2.8 y 2.9).

Estos efectos pueden, en algunos casos, provocar la sobreestimación de la amplitud de la señal, como puede ser el caso de los registros de aceleración al determinar la aceleración máxima ( $A_{max}$ ), así como al momento de evaluar la integración de ésta para obtener las historias de velocidad y desplazamiento. En el análisis empleado para este trabajo se desarrolló una subrutina de programación que permite efectuar este tipo de análisis por ventanas o de forma global de manera simultánea, todo ello durante la visualización de la señal (figura 2.10).

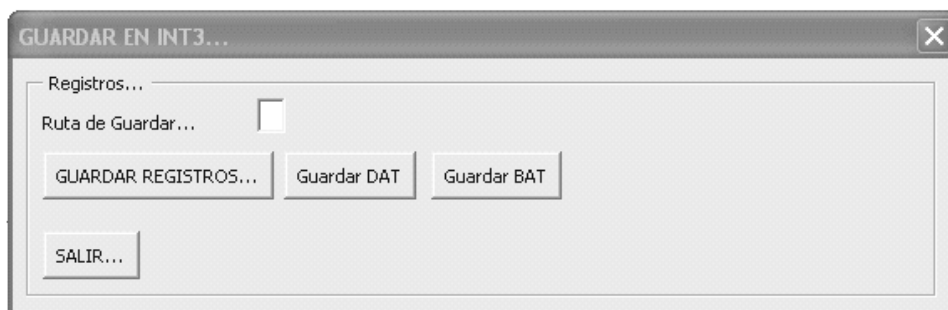


Figura 2.8.-Herramienta desarrollada para la exportación de archivos (dominio del tiempo)

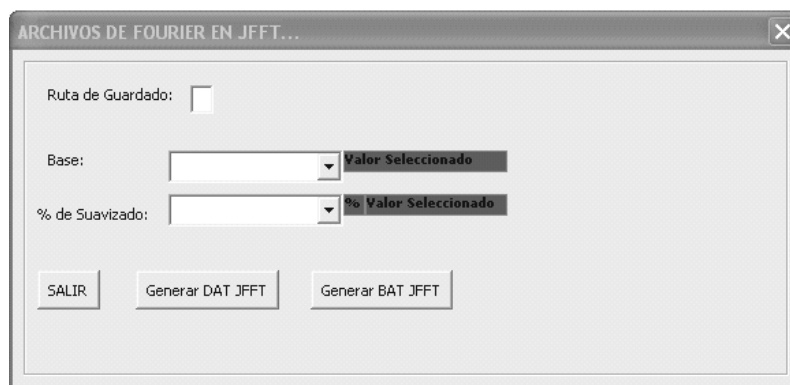
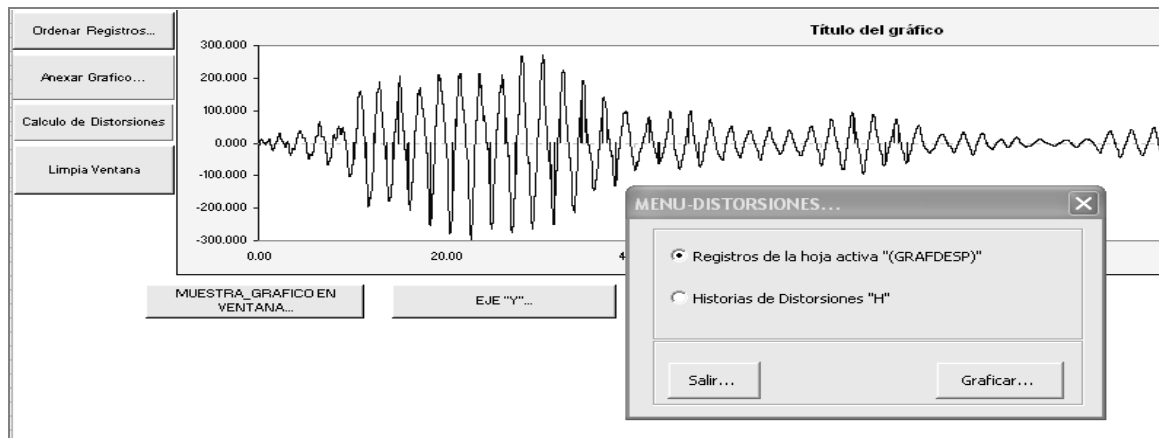


Figura 2.9.-Herramienta desarrollada para la exportación de archivos (dominio de la frecuencia)

Parte de la metodología empleada para el análisis de los registros sísmicos analizados en este trabajo, consistió en la obtención de las respuestas máximas obtenidas durante el evento sísmico, con base en el proceso de extracción simultánea de valores máximos para las historias de aceleración, velocidad y desplazamiento se desarrolló una metodología basada en conceptos de programación y se adaptó como subrutina en un macro, de tal forma que la extracción de estos parámetros fuese de forma simultanea y se destinara en una hoja de cálculo.

Adicionalmente, los registros son ordenados en una tabla de resultados separando los valores absolutos y los relativos de las historias de aceleración velocidad y desplazamiento, dejando como resultado una tabla de valores máximos, ordenados por dirección y separados por aceleraciones, velocidades y desplazamientos (Figura 2.12).



*Figura 2.10.-Herramienta desarrollada para análisis para inspección de las historias de aceleración, velocidad y desplazamiento.*

### 2.3.3 SISTEMATIZACIÓN PARA EL ANÁLISIS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA

En el caso particular de los sismos es de vital importancia el conocimiento de los efectos de dicho fenómeno sobre las estructuras afectadas, con el fin de ajustar los modelos teóricos y conocer la respuesta de las estructuras ante tales acciones. El problema se resume, como se menciono anteriormente, a la captura de información de dichos fenómenos que afectan la estructura, a su posterior análisis y a los efectos de éstos sobre dicha estructura (figura 2.11).

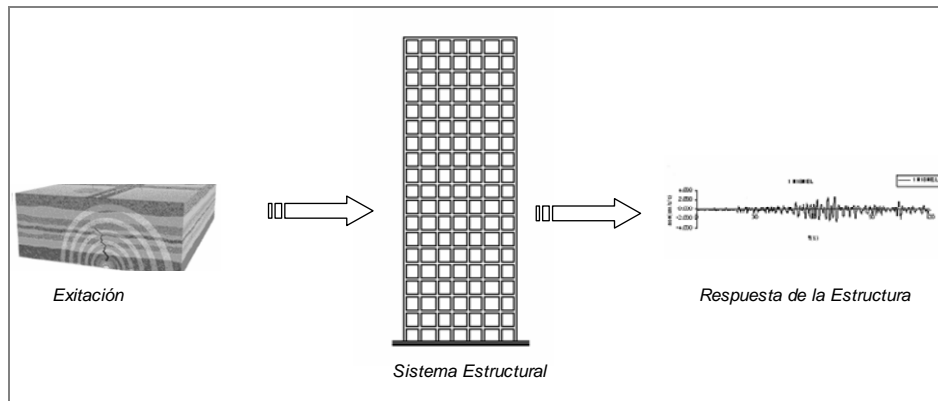


Figura 2.11.-Esquema de los efectos sísmicos en edificios

Una mejor caracterización del movimiento sísmico debe incluir al menos la descripción de su contenido de frecuencias así como su duración, ello permitirá calcular mejores estimadores de daño estructural como las ordenadas espectrales.

En el análisis de los registros sísmicos de los edificios escogidos para este trabajo se ha empleado una técnica de estimación basada en un análisis espectral convencional (*Bendat y Piersol, 1986*), la técnica por estos medios se conoce también como *Técnica de Estimación no Paramétrica*.

La estimación no paramétrica se hace generalmente en el dominio de la frecuencia mediante funciones que relacionan diferentes señales de entrada (excitaciones a las que está sometido un sistema) y salida (respuesta del sistema). Este análisis puede hacerse de los registros sísmicos completos o divididos en segmentos (ventanas). La elección de las señales se hace de acuerdo con las propiedades dinámicas que se quieren identificar; esto es, se selecciona la señal de excitación y de respuesta a relacionarse de acuerdo con el modelo de identificación. (*Zapata, 2001*).

De forma análoga al análisis en el dominio del tiempo, el análisis en el dominio de la frecuencia refiere una cantidad de trabajo considerable que no demerita la calidad de la información por ser cuantiosa, contrario a ello depende más de la experiencia del encargado del análisis para efectuarlo de forma rápida, en este caso el análisis consiste en el empleo de una rutina de transformación de la señal del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia basada en la transformada matemática de Fourier.

Dicho análisis se realiza de forma similar al anterior, ya que también se elaboran archivos de datos (archivos con extensión ".DAT") en donde se consigna la información necesaria para ejecutar el tipo de análisis que se desea con la rutina antedicha. Al igual que el análisis anterior, este procedimiento se efectúa de forma manual, de tal manera que se requiere de una importante cantidad de horas de trabajo para desarrollar esta labor.

Posterior a ello se obtienen cocientes espectrales procedentes del análisis citado, que permitan identificar propiedades dinámicas que se derivan del análisis matemático de Fourier.

La versatilidad del manejo se vuelve lenta en función de la ocurrencia de los eventos sísmicos, de tal forma que resulta conveniente tomar como referencia las desventajas que puede presentar esta metodología. En este trabajo se han aislado ciertas variables en torno a las observaciones y a la eficiencia de los procedimientos tradicionales para su posterior estudio.

## 2.4 PROPUESTA DE REPORTE FINAL DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE EDIFICIOS

En esta sección del trabajo se ha dado atención al principal motivo que refiere el análisis de los registros sísmicos, ya que, independientemente de las herramientas con que se cuente para el análisis, resulta de vital importancia contar con la información esencial del fenómeno, que pueda ser presentada a la institución que lo requiera como dueños del inmueble o como reporte de control de la estructura analizada, formando esto, parte de un estudio del comportamiento estructural a lo largo de la vida útil de la estructura.

De esta forma se ha desarrollado, a manera de propuesta, un formato que resume los resultados del análisis de la información de registros sísmicos, atendiendo a las características de interés, esto es, datos de la estructura como son: intensidad y magnitud del sismo, historias de aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos, frecuencias naturales, gráficas de las principales respuestas de registros en azotea-centro, azotea-esquina, sótano y terreno, así como gráficas de los espectros de Fourier y funciones de transferencia para los registros de los puntos antedichos.

Cabe hacer mención de que este reporte se ha elaborado para trabajar de forma autónoma, ello implica que sólo requiere de la información primaria recabada de la captura de los registros sísmicos, a partir de ello, las rutinas desarrolladas en macros permitirán explorar y extraer la información antes mencionada, de forma rápida y precisa, permitiendo optimizar el tiempo de trabajo que esto exige, paralelo con la cantidad de cálculos que se requiere realizar luego de procesar la señal.

El formato se ha desarrollado de forma tal, que la información contenida en éste sea de acuerdo a la orientación y posición de los sensores involucrados, esto significa que se obtienen resultados tanto de su lado transversal como del longitudinal en la estructura, a continuación se describe el uso de este formato, mismo que consta de cuatro cuartillas en las que se consigna a información mencionada, así mismo, la propuesta del formato completo se puede apreciar en el Apéndice D de este trabajo.

A continuación se describen las partes del formato que se han propuesto para su integración a manera de reporte preliminar. El formato, como se mencionó, consta de cuatro partes, en cada una de ellas se recaba la información más relevante y significativa del evento sísmico ocurrido.

**1<sup>er</sup> parte.** Esta parte del formato reúne información concerniente al eventos sísmicos: magnitud, intensidad de Arias, coordenadas geográficas (latitud y longitud), distancia epicentral, localización del sismo, aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos para sensores de azotea, sótano y terreno (figura 2.12).

La utilización de la rutina, para la elaboración de este tipo de formato, se basa en utilidades o menús que indican los pasos a seguir durante el proceso de extracción de datos, de esta forma se puede llevar un control de la información que se ha empleado, e incluso, que se ha manipulado.

En primera instancia se cuenta con una bitácora de datos en la cual se consigna la información concerniente al sismo en estudio, por lo que son requeridos los nombres o claves de los registros que contienen las historias de aceleraciones, velocidades y desplazamientos, figuras 2.13 a 2.16.

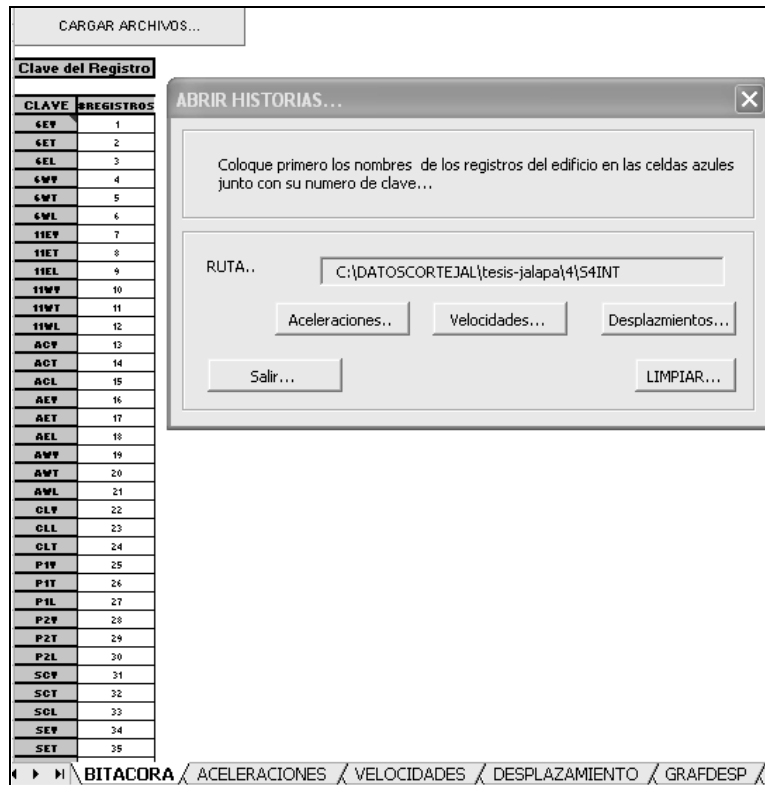


Figura 2.12.- Bitácora de datos para extraer las historias de aceleración, velocidad y desplazamiento, en la parte baja de la figura se observan los nombres de los libros que contienen la información que se ha extraído.

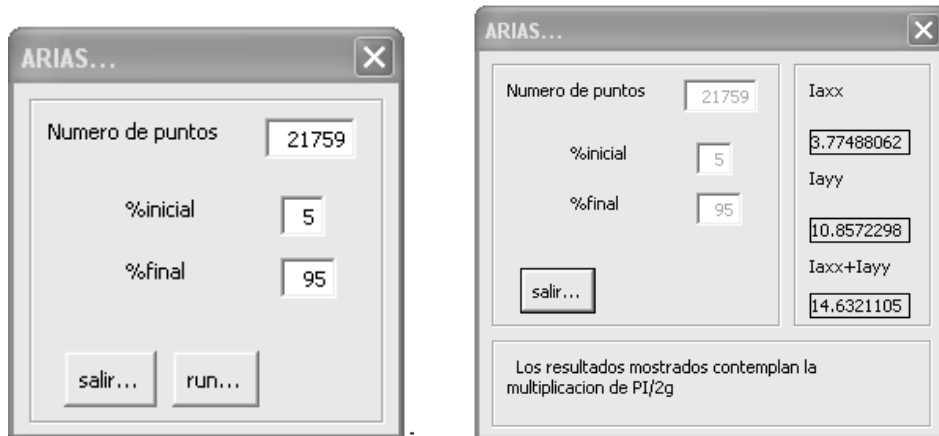


Figura 2.13.- Herramienta empleada para el cálculo de la intensidad de Arias

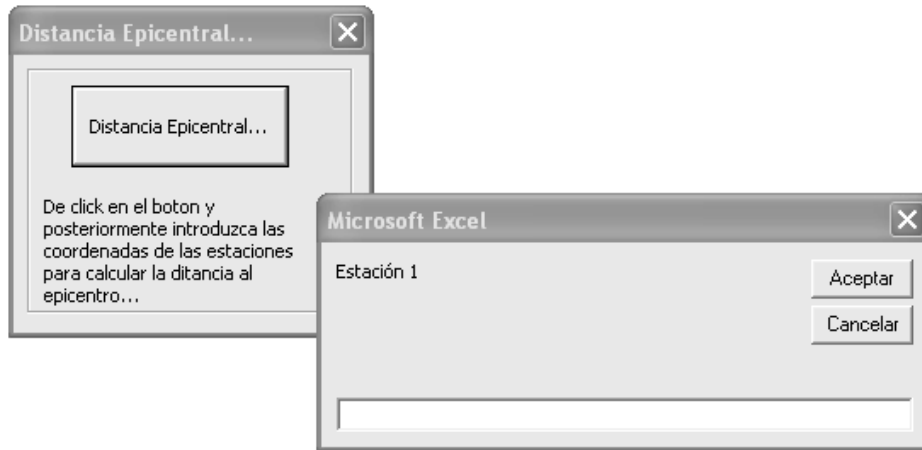


Figura 2.14.- Herramienta empleada para el cálculo de la Distancia Epicentral

AUTOMATICO									
	Aceleraciones(maximas)			Velocidades(maximas)			Desplazamientos(maximas)		
	L	T	V	L	T	V	L	T	V
6E									
6W									
11E									
11W									
AC									
AE									
AW									
CL									
P1									
P2									
SC									
SE									
SII									
SW									

Figura 2.15.- Herramienta empleada para la obtención de las respuestas máximas de las historias de aceleraciones, velocidades y desplazamientos por sensor y por dirección.

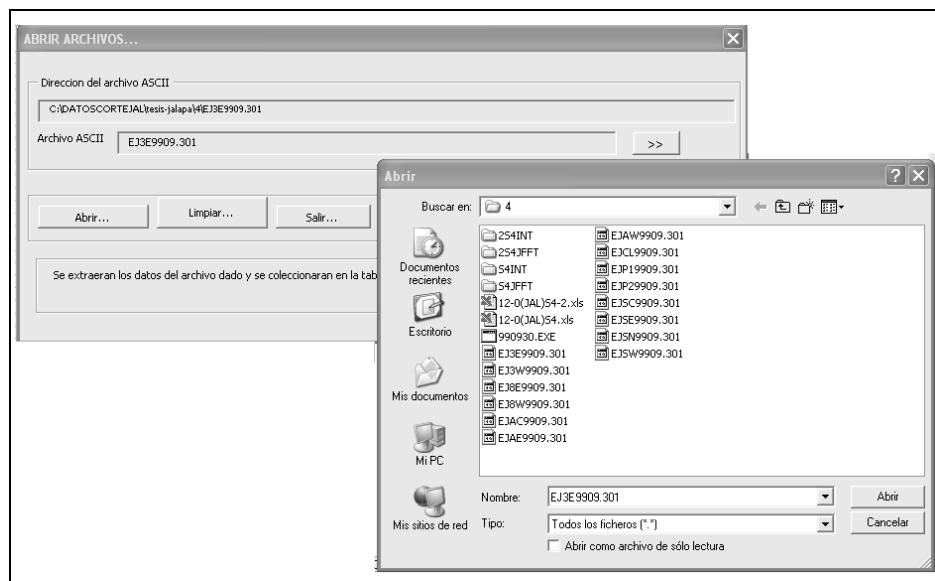


Figura 2.16.- Empleo del explorador de archivos ASCII para la extracción de datos del edificio; coordenadas geográficas, hora del evento sísmico y fecha del mismo.

**2ª y 3ª partes.** En éstas, se reúne la información concerniente a las historias de tiempo para cada punto especificado así como su respectivo espectro de Fourier, con la particularidad de que es utilizado para evaluar estos resultados dependiendo de la orientación que se requiera (*dirección T y dirección L*). (Apéndice D, figura D.2).

**4ª parte.** En este apartado se consigna la información de los espectros de Fourier para las señales antes mencionadas, con la particularidad de que se pueden incluir resultados de eventos sísmicos anteriores a los evaluados, de manera análoga se grafican las señales que describen la torsión a la que está sujeta la estructura. Se incluye, además, información referente a las frecuencias observadas para cada sismo (Apéndice D, figura D.2).



## CAPÍTULO 3

### EJEMPLOS DE APLICACIÓN

#### 3.1 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS EDIFICIOS ESTUDIADOS

Se ha buscado que las estructuras a estudiar se localizaran en zonas en las cuales, los efectos sísmicos pudiesen tener efectos importantes. Por un lado, los tres edificios que se han elegido como objetos de estudio son estructuras regulares, dos de ellos están desplantados en zonas de suelo particularmente blando, en el valle de México (edificio Jalapa y edificio Telecomm), el último de éstos (edificio Oasis), se encuentra desplantado en las costas de Guerrero, en la zona denominada; *D*, ésta clasificación de suelo corresponde a la zonificación sísmica de la República Mexicana, y se caracteriza por ser *de alta sismicidad*, figura 3.1, (Meli, 2000).

Cada estructura cumple con la mayoría de los requerimientos especificados para llevar a cabo la instrumentación en el edificio (Mena, 1981; Muriá, 1995; Tena, et al., 1997). Además, hay que puntualizar que la instrumentación en cada uno de los edificios es distinta, así como los sensores empleados, ya que en algunos de ellos los sensores son en su mayoría triaxiales (caso del Edificio Jalapa y Edificio Oasis), a diferencia del edificio Telecomm donde la mayoría de los sensores empleados en la instrumentación de la superestructura para los niveles intermedios son del tipo uniaxial, a excepción de los de terreno y pozo profundo, los cuales son triaxiales.

Lo anterior representa una inversión considerable de tiempo al momento de analizar cada registro proveniente de diversas estructuras instrumentadas, en este trabajo se han determinado las características de la estructura así como la verificación en la calidad de los registros sísmicos para las tres estructuras mencionadas empleando la metodología propuesta con el fin de optimizar los procesos que se han venido empleando.

Así mismo, las causas que propician la forma de instrumentación son distintas en cada edificio en particular, ya que tan sólo la zona donde se encuentran localizados ejerce un riesgo sísmico distinto, la estructura de los edificios tiene configuraciones distintas desde es tipo de cimentación empleada, hasta la geometría de los éstos (Mena, 1991).

Además de ello cabe mencionar que las fechas correspondientes a la instrumentación de los edificios, así como a los aparatos utilizados, es distinta, por lo que el monitoreo de cada uno de ellos se realiza de forma diferente. En este caso la metodología de análisis discrimina cada caso, de acuerdo con las configuraciones de instrumentación que estos presenten, lo que supone un ahorro en el tiempo de procesamiento de datos.

Como primer paso se procede a dar una breve descripción de los edificios que se estudian en este trabajo, así como de la instrumentación con la que cuentan en la actualidad. Dos de ellos se encuentran localizados en la zona del Valle de México y el tercero se encuentra ubicado en la costa de Guerrero como se esquematiza en la figura 3.2.

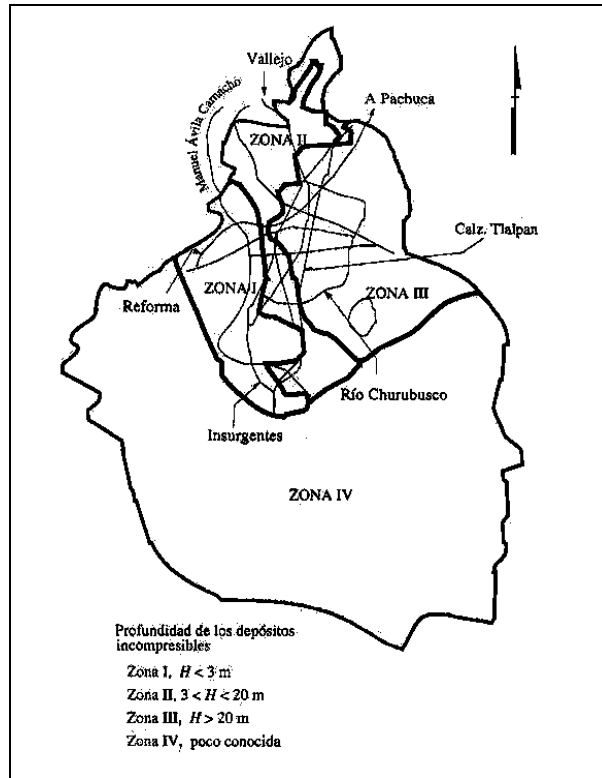


Figura 3.1.- Zonificación sísmica del Distrito Federal, según el tipo de suelo (Meli, 2000).

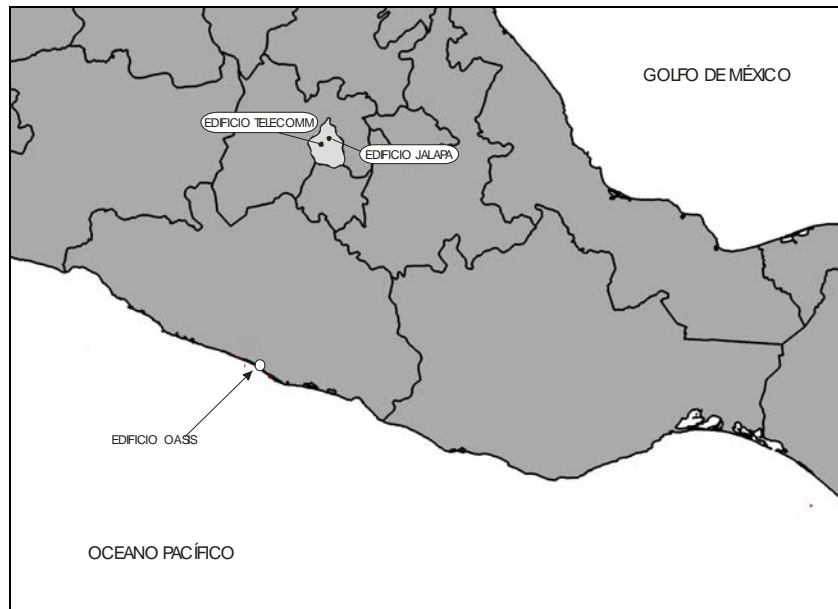


Figura 3.2.- Mapa de localización de los edificios: Jalapa, Oasis y Telecom

3.1.1 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO JALAPA

Este edificio se localiza en la zona de suelo blando del Valle de México, en esta zona el espesor de los estratos arcillosos son del orden de 31 m y los depósitos profundos a 38.5 m de profundidad. El edificio esta compuesto de 14 niveles con un apéndice y un cuerpo anexo de tres niveles, los cuales están unidos en la planta del sótano y separados en los restantes niveles por una junta constructiva de 15 cm de ancho. Los primeros tres niveles son estacionamiento, el resto son oficinas (*Muriá, et al., 1998*).

La estructura es de concreto reforzado a base de columnas, muros de mampostería en las fachadas laterales y en el cubo de escaleras, un muro de concreto reforzado en el cubo de elevadores, y lozas reticulares de concreto reforzado de 45 cm de peralte de los cuales 5cm corresponden a la capa de compresión.

Las plantas del cuarto al decimocuarto nivel tiene forma rectangular de 19.4 m de ancho (dirección T) por 32.45 m de largo (dirección L), y las alturas de entrepiso son constantes e iguales a 31.5 m. Las plantas de estacionamiento abarcan el cuerpo anexo, sus dimensiones son de 19.4 por 40 m.

Los estacionamientos están escalonados y comunicados entre si con rampas, y las alturas de entrepiso de los estacionamientos varían entre 2.5 y 4.45 m.

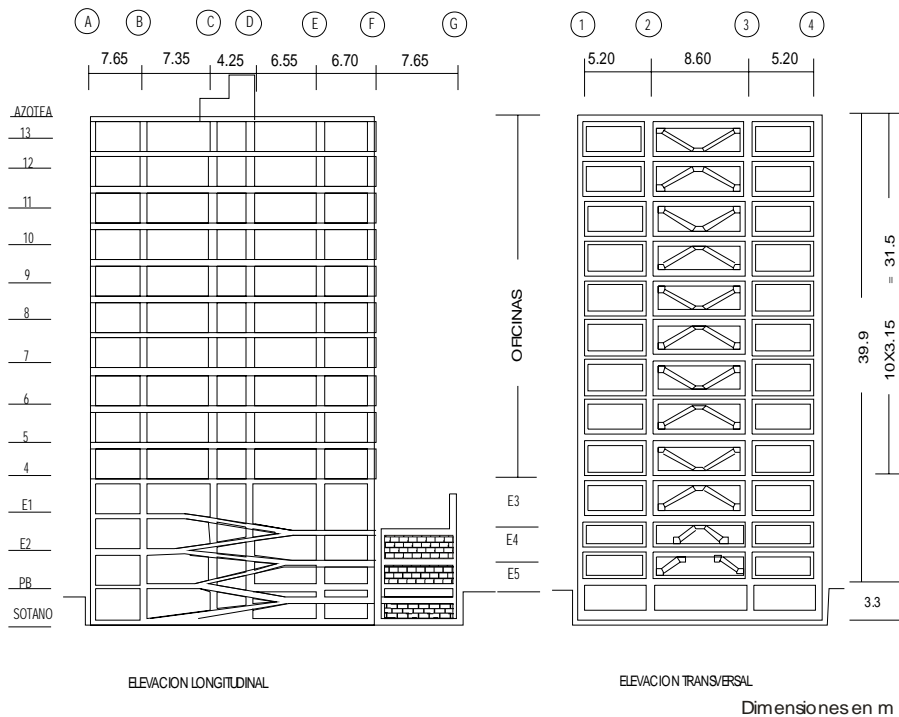
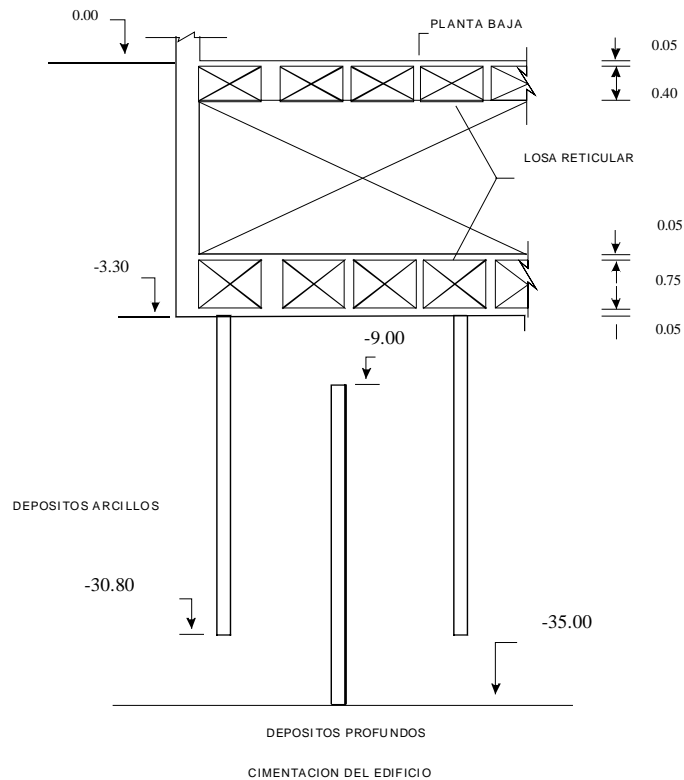


Figura 3.3 Fachadas longitudinal y transversal de edificio Jalapa





**Figura 3.6.- Cimentación del edificio Jalapa**

Cabe señalar que esta estructura en particular ha experimentado dos rehabilitaciones a lo largo de su vida útil, la primera se llevó a cabo posterior al sismo de septiembre de 1985 el cual ocasionó daños en la superestructura de este y que consintió en agrietamientos de cortante en columnas y muros de mampostería. La segunda rehabilitación se llevó a cabo posterior al 10 de diciembre de 1994, entre 1996 y 1997 (Muriá, et al, 1998, 1995 y 1999; Hernández, 1998; Moreno, 1994; Quaas, 1999), en donde, a pesar de mostrar daños menores al primer sismo, si se evidencia la influencia del cuerpo anexo de tres niveles en cuanto a hundimientos diferenciales en la estructura.

### 3.1.2 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO OASIS

El edificio Oasis se encuentra ubicado en el sector de Playa Diamante en Acapulco, Guerrero, cerca al aeropuerto internacional de la ciudad. Esta zona pertenece a un área de depósitos de barro donde se encuentran arenas de compacidad variable. El sitio pertenece a la zona sísmica D, con terreno Tipo III, al que corresponde un coeficiente sísmico  $c = 1.08$  (Taborda, 2004), de acuerdo con la distribución geotécnica de la República mexicana.

Es una estructura regular de 16 niveles y dimensiones en la base de 25 m en su lado longitudinal, por 24 m de ancho, en el transversal, y 66 m de altura, la estructura está edificada a base de marcos de concreto y muros de concreto. Su distribución está integrada por: sótano-estacionamiento, planta baja, Niveles 1 a 15 con departamentos tipo terraza aumentada y Pent-House en el nivel 16.

Todas las lozas son macizas, perimetralmente apoyadas en las trabes, con resistencia nominal de concreto de 250 kg/cm<sup>2</sup> y en cuanto al acero este tiene una resistencia de 4200 kg/cm<sup>2</sup>. La cimentación esta basada en pilas colocadas en sitio a 12.5 m de profundidad, las cuales están ligadas por medio de contratrabes en dos direcciones ortogonales. Las contratrabes están capacitadas para recibir a los muros y columnas perimetrales del sótano a planta baja. Los detalles en cuanto a los elementos estructurales que conforman la superestructura del edificio se pueden consultar en la tesis de Taborda (2004).

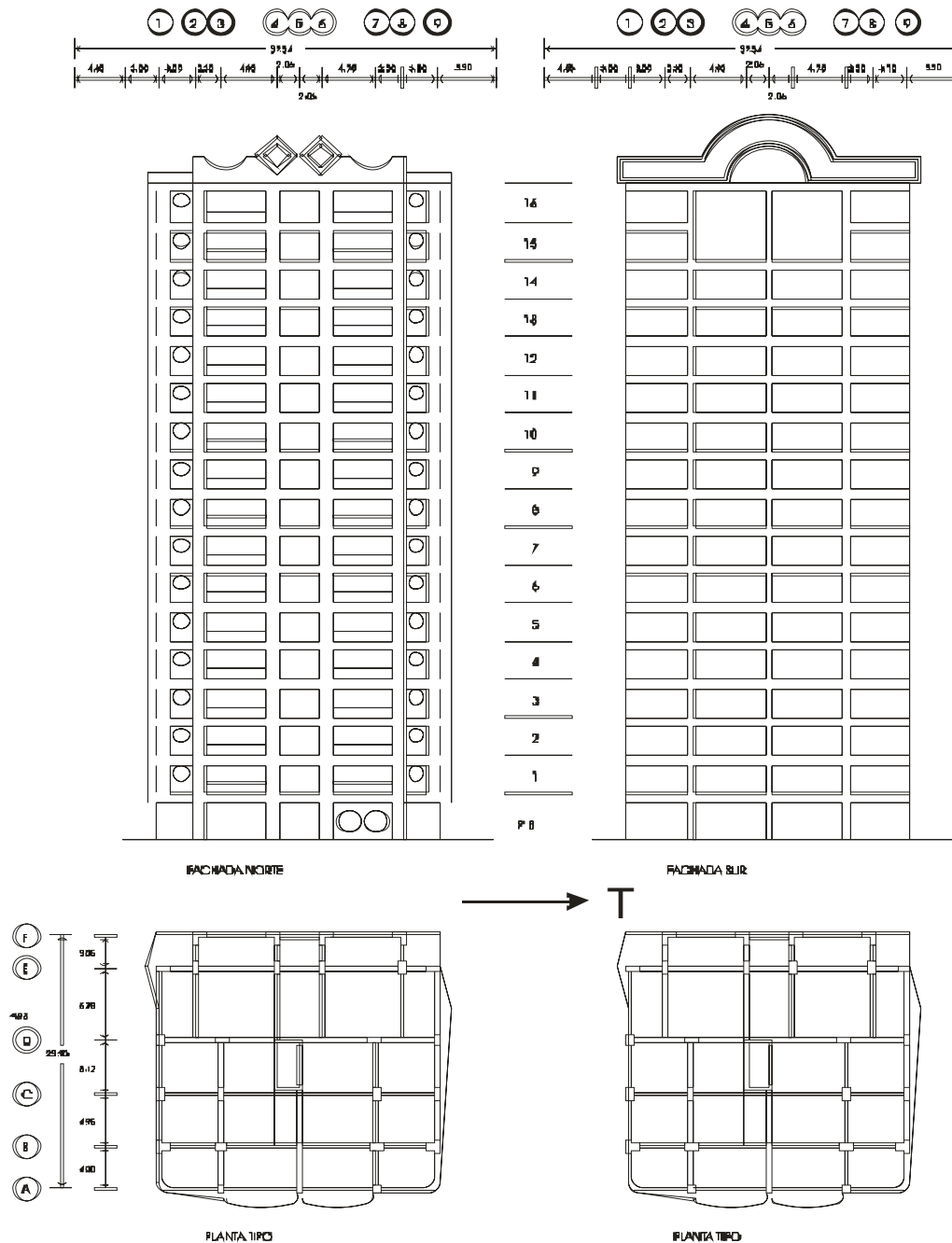


Figura 3.7.- Fachadas Norte y Sur del edificio Oasis (Taborda, 2004)

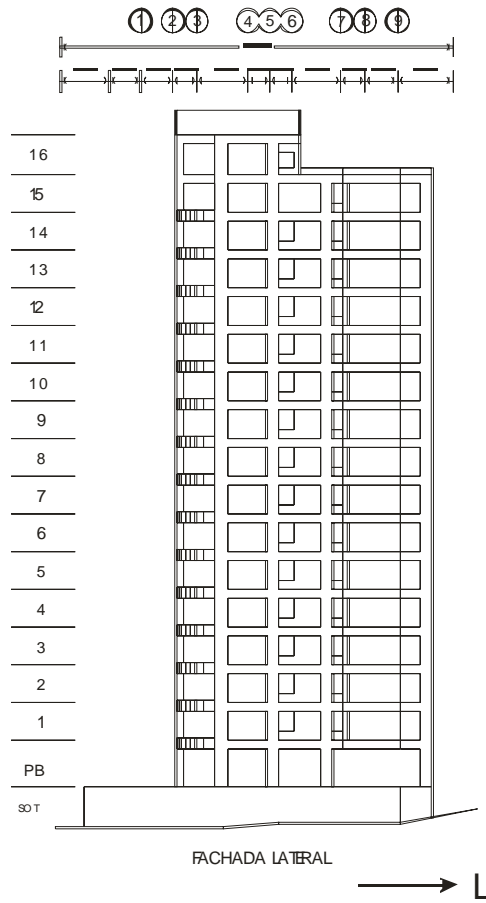


Figura 3.8.- Fachadas Lateral del edificio Oasis (Taborda, 2004)

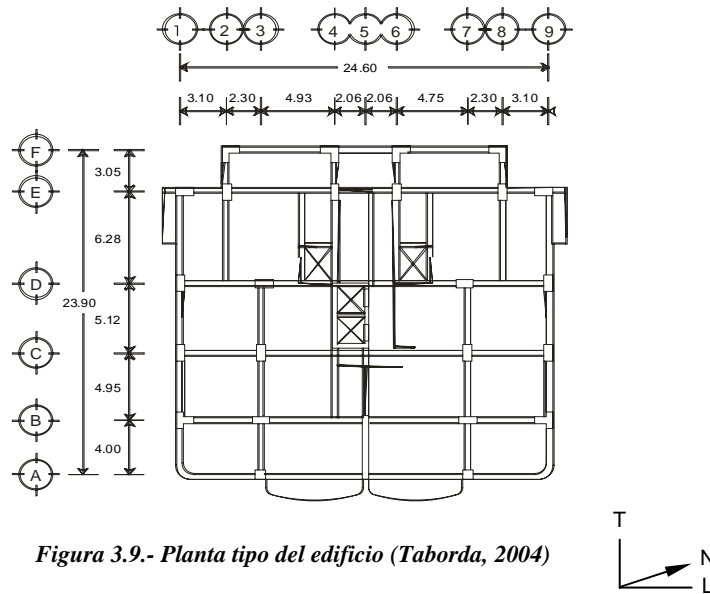


Figura 3.9.- Planta tipo del edificio (Taborda, 2004)

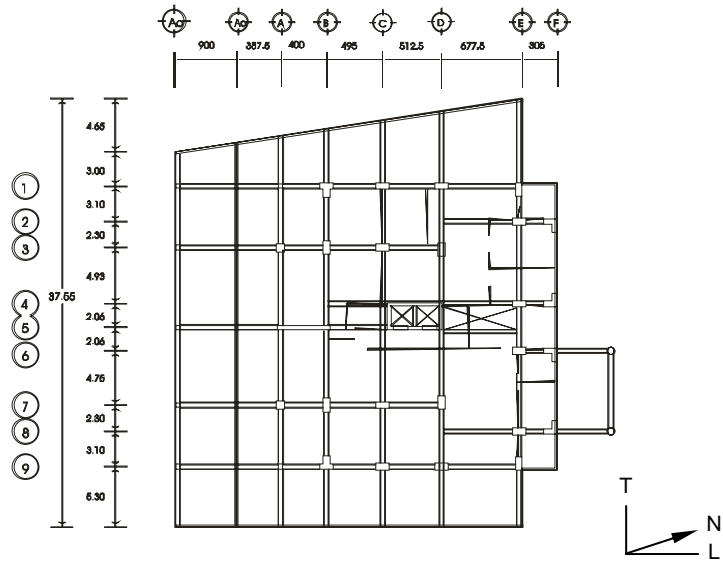


Figura 3.10.- Losa del sótano

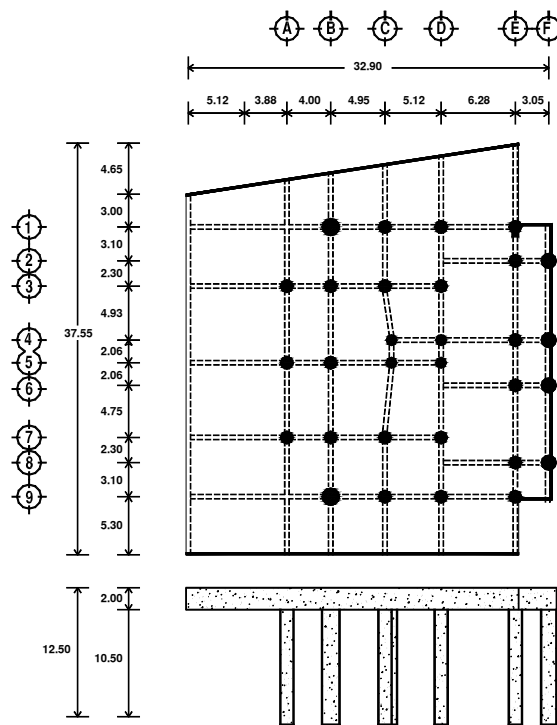


Figura 3.11.- Cimentación del edificio (Taborda, 2004)

Por otro lado, la cimentación del edificio está compuesta por muros de concreto reforzado en los costados norte, este y oriente del sótano, contratrabes de 2.00 m de peralte y 30 pilas de fricción, con sección circular de 1.00, 1.20, 1.40 y 1.60 m de diámetro, vaciadas en el sitio con una profundidad de 12.5 m por debajo del nivel de piso del sótano. Las pilas se ligaron a las



contratraves que a su vez se encuentran prolongadas de forma tal que reciben las columnas y muros de la estructura.

**3.1.3 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO TELECOMM**

La Torre Central de Telecomunicaciones se encuentra ubicada en la ciudad de México en la zona de lago pre-consolidado del Valle de México cerca de donde se encuentra ubicada la estación acelerográfica SCT1, cabe señalar que gracias a esta red se pudieron registrar los sismos de septiembre de 1985. La aceleración máxima que se registro en la zona es de  $168 \text{ m/s}^2$  (Alcántara, et al, 2003, 2004), por lo que esto establece en principio un parámetro importante para fomentar la instrumentación permanente de este edificio.

La torre de telecomunicaciones es un edificio de 18 niveles de concreto reforzado de los cuales 16 noveles son oficinas y los noveles 17 y el 18 forman parte del apéndice de esta estructura en donde se encuentra instalado el equipo de antenas transmisoras de la torre. El sótano del edificio tiene forma rectangular de 46.55 m por 35.10 m, los niveles 1 y 2 tienen dimensiones de 43.40 m por 30.20 m, el nivel tres es de forma rectangular con dimensiones de 43.40 m por 30.20 m y los niveles 4 a 16 tienen una particular forma de H de dimensiones de 37.30 m por 30.20 m (Alcántara, et al., 2004).

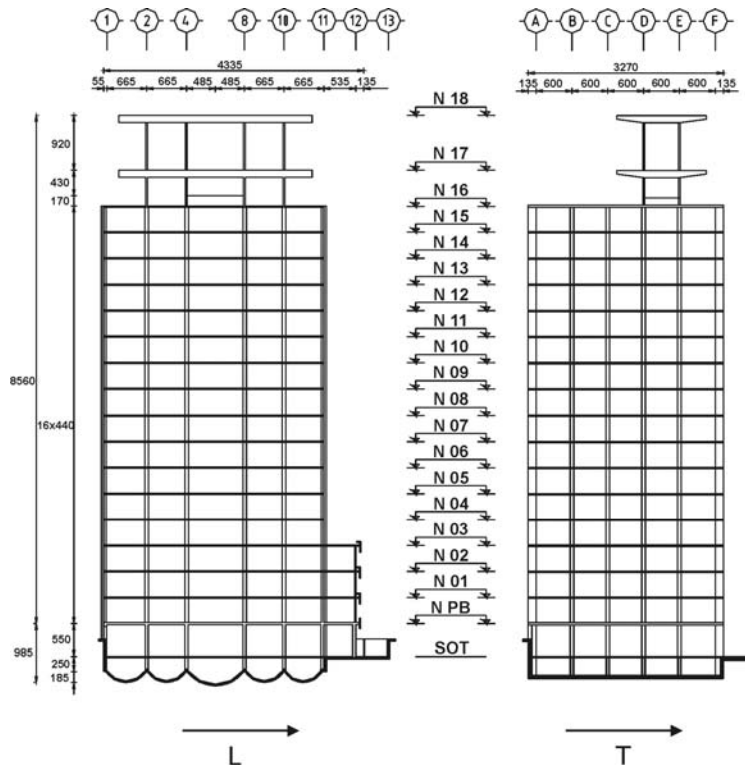


Figura 3.12.- Fachadas Longitudinal y Transversal del edificio (Camargo y Cruz, 2004)

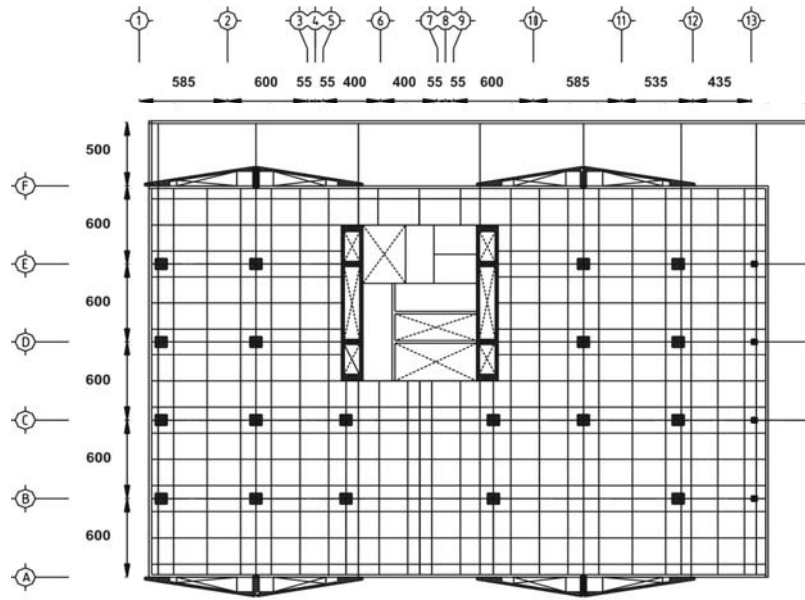


Figura 3.13.- planta baja del edificio

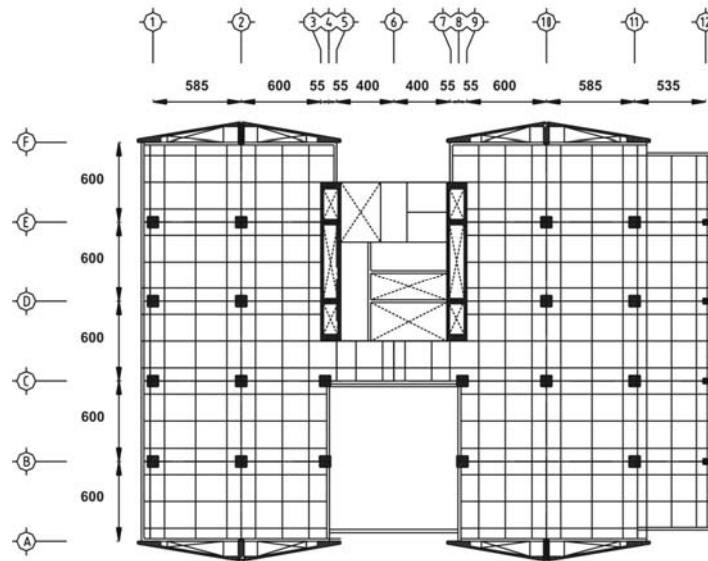


Figura 3.14.- planta tipo del edificio Niveles 1 al 3

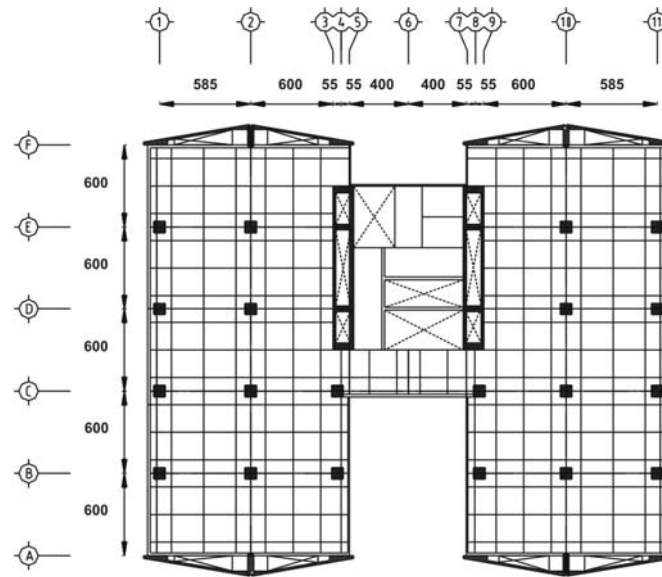


Figura 3.15.- planta tipo del edificio Niveles 4 al 16

El apéndice conformado por los dos últimos niveles tiene forma trapecial de 32.00 m ( $L$ ) por 15.05m ( $T$ ) como se aprecia en la figura 3.16. En cuanto a la cimentación esta consta de una loza reticular de 36.92 m en la dirección Norte-Sur y 30.20 m en la dirección Oriente-Poniente esta conformado por muros y contratraves que se apoyan en pilotes de fricción (Camargo y Cruz, 2004), figura 3.17.

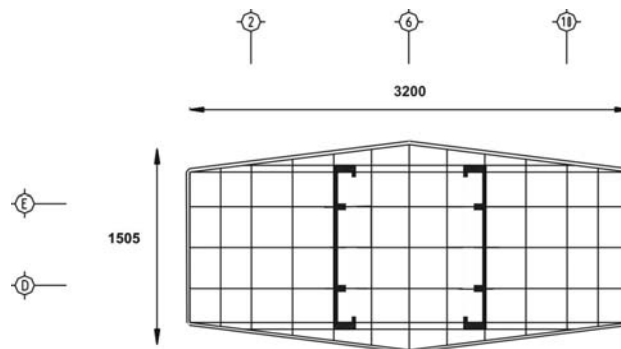


Figura 3.16.- planta tipo del edificio apéndice niveles 17 y 18

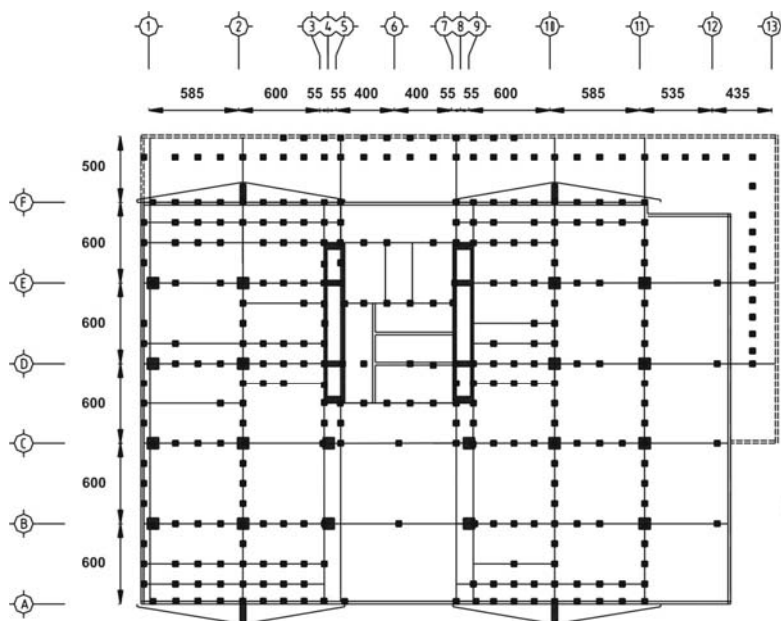


Figura 3.17.- Losa de cimentación del edificio

### 3.2 DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN EN CADA EDIFICIO

Los edificios que se han seleccionado para el desarrollo de este trabajo son de características diferentes en cuanto a ubicación geográfica ya que por principio, se trabaja con dos edificios localizados en el Valle de México (figura 3.2), y el último en las costas de Guerrero (figura 3.2). Cabe hacer mención que las características del tipo de suelo son diferentes para cada caso, como se ha detallado en la descripción de cada edificio.

Asimismo, la instrumentación que se ha empleado en las estructuras estudiadas, es de tipo extensiva, aunque se pueden observar características similares en la instrumentación del edificio Jalapa con los arreglos sugeridos por la UBC (*Celebi, 2000*), donde se cubren puntos tanto en terreno como el sótano, azotea y niveles intermedios, además de contarse con sensores de tipo triaxial y uniaxial, en algunas de las estructuras se han implementado estos sensores de forma mixta, así mismo los sistemas de captura (registradores) que se emplean en cada edificio varía de dos a tres, ello ha dependido de la época en la cual se ha instrumentado cada estructura, así como la geometría que presentan.

A continuación se hace una descripción de las características de la instrumentación sísmica con las que cuentan las estructuras mencionadas.

#### 3.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN EN EL EDIFICIO JALAPA

El edificio Jalapa es una estructura que se ha venido estudiando desde principios de los años 90, es una estructura regular de concreto de 14 niveles, para su instrumentación se seleccionaron 14 sitios de medición distribuidos en la forma mostrada en la tabla 3.1, los instrumentos de medición son acelerógrafos autónomos digitales de estado sólido con sensores triaxiales internos, dos horizontales

y uno vertical, exceptuando los de pozo profundo. Los equipos empleados son acelerógrafos Terra Technology modelo DCA-333R con sensores triaxiales internos, los registradores de pozo también son DCA-333R, pero acondicionados para operar con sensores externos triaxiales modelo DSA-302.

Los equipos están conectados de forma que al ser fijado un límite o umbral de disparo para el registro del evento sísmico el registrador denominado *maestro* manda una señal al resto de los registradores para comenzar la captura de información de forma sincrónica, este sistema es denominado *maestro-esclavo*, ya que es un registrador el responsable de comunicar el inicio de la captura de señal, de ahí que los equipos compartan una base de tiempo común que permite la uniformidad del tiempo de arranque de captura de datos (*Quaas, et al., 1999; Muriá-Vila, et al., 1998, 1999, 2001*).

En este caso particular los sensores están interconectados y empiezan a registrar cuando el sensor de azotea (AE) alcanza el umbral de aceleraciones preestablecido (*Quaas, et al., 1999; Muriá-Vila, et al., 1999, 2001*).

Los instrumentos cuentan con un sistema de interrogación moderno que permite el monitoreo del mismo por medio de una red telefónica y MODEM, es decir que permitirá interrogar a cada sensor de forma individual con ayuda de una PC desde un punto central, en este caso, se a destinado al sótano como punto central para la captura y transferencia de datos, lo que permite la rápida obtención de datos en caso de la presencia de eventos sísmicos.

En la figura 3.18 se muestra un croquis de localización de los sensores que se han colocado en la estructura del edificio Jalapa y se han distribuido de acuerdo a un eje de referencias ubicado en el extremo inferior derecho del esquema, la orientación transversal del edificio presenta un ángulo de 15° con respecto al norte magnético. Los sensores se encuentran instalados en el sótano de estacionamiento del edificio, y se les ha asignado claves de acuerdo con su ubicación y dirección (direcciones T, L y V), tabla 3.1.

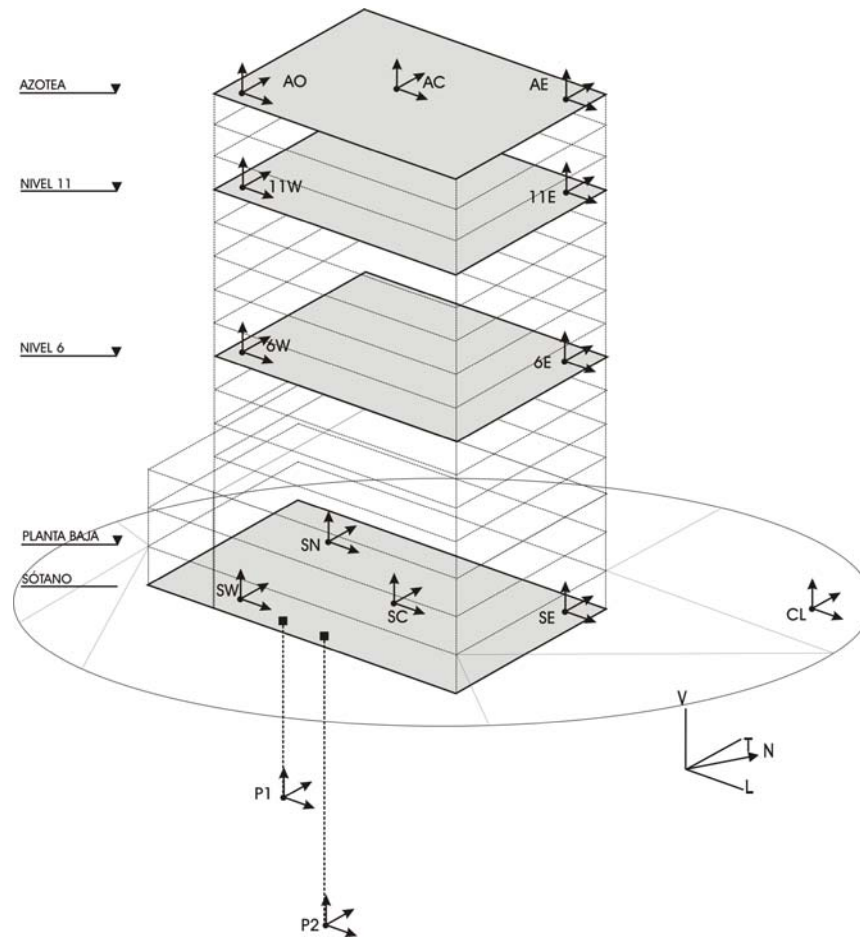


Figura 3.18.- Croquis de ubicación y dirección de los sensores

Tabla 3.1 Claves, ubicaciones y orientaciones de los sensores del edificio Jalapa

CLAVES DE LOS SENSORES EN EL EDIFICIO JALAPA				
SENSORES	CLAVE	DIRECCIÓN Y ORIENTACIÓN*		
		T	L	V
AZOTEA	AW	-	+	+
	AC	-	+	+
	AE	+	-	+
NIVEL 11	11W	-	+	+
	11E	+	-	+
NIVEL 6	6W	-	+	+
	6E	+	-	+
SÓTANO	SW	+	+	+
	SN	-	-	+
	SC	-	-	+
	SE	-	-	+
TERRENO	CL	+	+	+
POZO1	P1	-	+	+
POZO2	P2	-	+	+

\* La orientación de los sensores está dada de acuerdo con el sistema de referencias T, L y V del croquis mostrado en la figura 3.18.

### 3.2.2 DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN EN EL EDIFICIO OASIS

La instrumentación del edificio se completó a finales de año 2001 y quedó integrada por 18 acelerómetros uniaxiales y 2 triaxiales los cuales se encuentran ubicados de la siguiente forma (Alcántara, et al., 2003, 2004).

Un sensor triaxial en el jardín en dirección al norte, en el sótano del edificio se colocó un sensor triaxial, en la base de una columna hacia el este del edificio y dos sensores uniaxiales en la base de la columna norte uno se oriento en dirección transversal y el segundo en posición vertical (figura 3.19).

En los niveles 4, 8 y 12 se encuentran ubicados tres acelerómetros horizontales, dos en dirección transversal y uno en dirección longitudinal (figura 3.19).

En la azotea se ubican 6 sensores uniaxiales, tres verticales y tres horizontales.

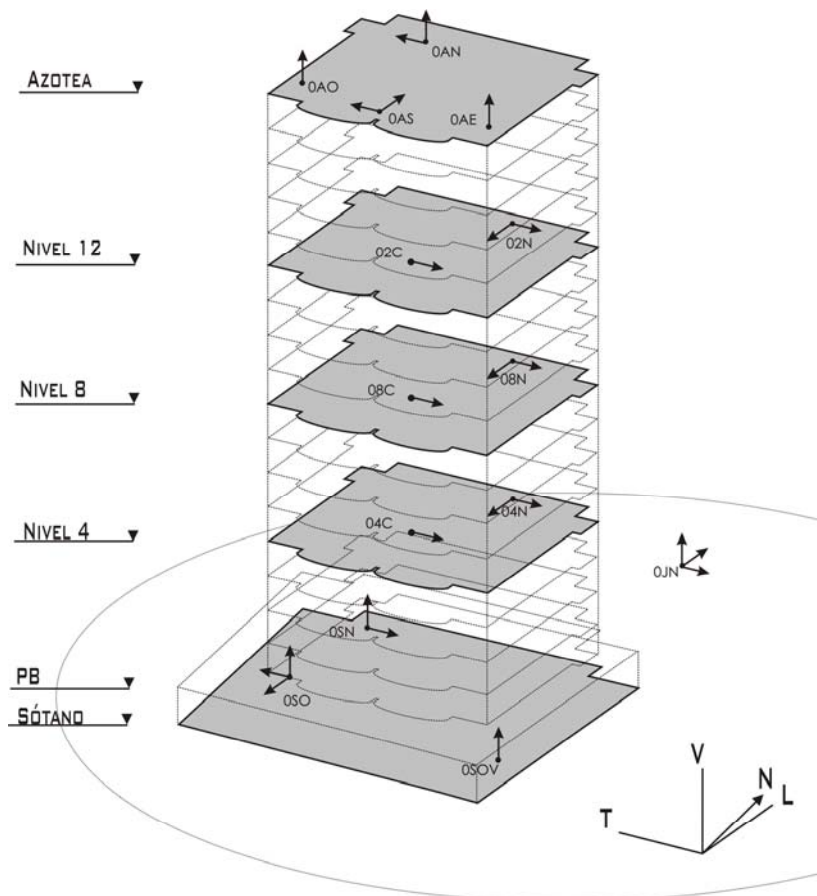


Figura 3.19.- Croquis de ubicación y dirección de los sensores

Tabla 3.2.- Claves, ubicaciones y orientaciones de los sensores del edificio Oasis

CLAVES DE LOS SENSORES EN EL EDIFICIO OASIS			
SENSORES	CLAVE	DIRECCIÓN	ORIENTACIÓN
AZOTEA	0ASL	L	+
	0AST	T	+
	0ASV	V	+
	0AEV	V	+
	0ANV	V	+
	0ANT	T	-
NIVEL 12	02CT	T	+
	02NL	L	-
	02NT	T	+
NIVEL 8	08NT	T	+
	08CT	T	+
	08NL	L	-
NIVEL 4	04CT	T	+
	04NL	L	-
	04NT	T	+
SOTANO	0SOT	T	-
	0SOL	L	-
	0SOV	V	+
	0SNV	V	+
	0SNT	T	+
	0SEV	V	+
TERRENO	0JNL	L	+
	0JNV	V	+
	0JNT	T	+

La red empleada esta integrada por tres registradores digitales de modelo K2 de 12 canales de alta resolución marca Kinematics, 18 acelerómetros uniaxiales modelo FBA-11 y dos acelerómetros triaxiales modelo FBA-23 de la misma marca. Cada uno esta conectado por medio de cable Belden tipo multipar resguardado en tubo conduit, desde cada punto de medición al puerto central de registro, para ello se emplean varias cajas de interconexión (Figura 3.20). El centro de registro esta ubicado en el sótano del edificio. La orientación de cada sensor se especifica en la tabla 3.2 (Alcantara, et al., 2003, 2004).



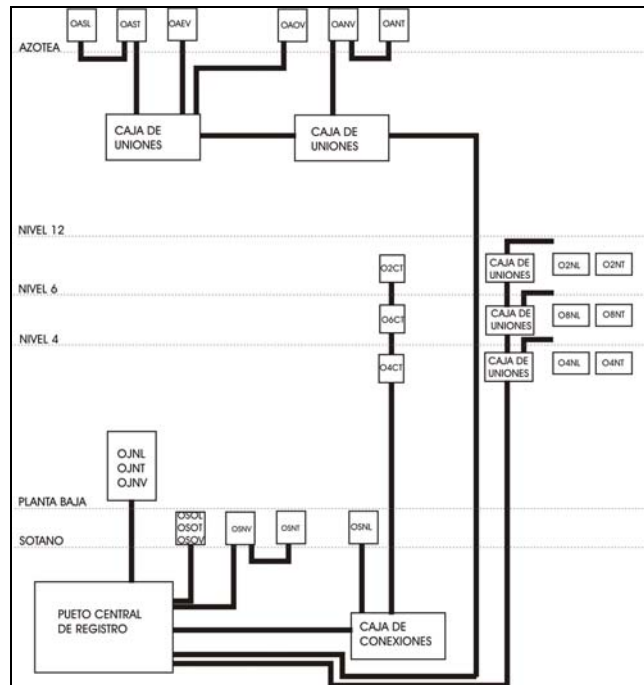


Figura 3.20.- Diagrama de la tubería de conexiones del edificio Instrumentado

### 3.2.3 DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN EN EL EDIFICIO TELECOMM

Este edificio ha sido recientemente instrumentado, el monitoreo de la red acelerográfica que se le ha instalado está a cargo del Instituto de Ingeniería de la UNAM. En abril de 2004 se le instaló una instrumentación provisional que constó de tres acelerómetros triaxiales ubicados en los siguientes puntos; el primero en el sótano centro, el segundo se ubicó en la azotea centro y el tercero se colocó en el terreno, a ras de piso, aledaño al edificio, con el fin de evaluar sismos que se presentasen antes de que se tuvieran cubiertos todos los puntos de interés para instrumentación permanente en la estructura (figura 3.21).

La instrumentación fija quedó terminada a mediados del año 2004 y consta de 23 acelerógrafos uniaxiales distribuidos en 6 niveles específicos de la estructura, orientados en las direcciones longitudinal ( $L$ ) y transversal ( $T$ ) como se muestra en la figura 3.21, se colocaron además dos acelerómetros triaxiales uno de ellos ubicado en el terreno, en la zona aledaña a la estructura y otro más de pozo, a nivel de los depósitos profundos. Lo que nos lleva a inferir en la cantidad de información que se obtiene mediante este tipo de instrumentación, en total se pueden tener 26 registros de este edificio, con direcciones distintas, direcciones  $T$  o trasversales,  $L$  o longitudinales y  $V$  verticales.

La red instalada consta de 2 registradores digitales del tipo K2 con capacidad de entrada para 12 canales y uno más con capacidad de entrada para 6 canales, en este último se encuentran conectados los sensores de terreno y de pozo (Figura 3.22). Los sensores uniaxiales son modelo tipo ES-U, el sensor de terreno es un modelo ES-T y el sensor de pozo es un modelo SBEP1 (Alcántara, et al., 2004).

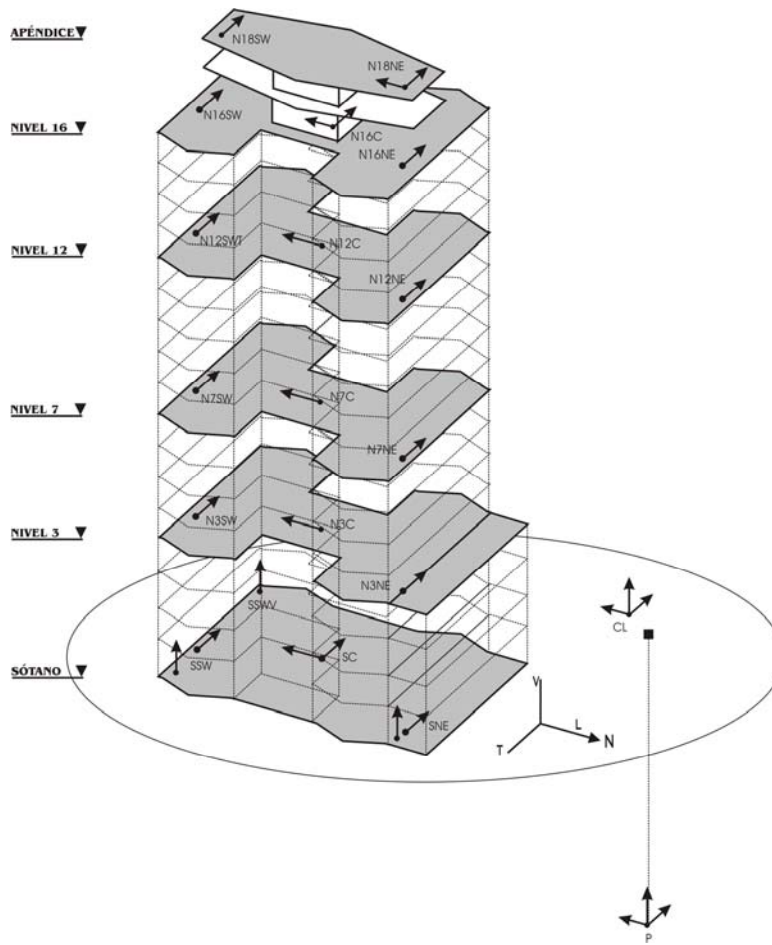


Figura 3.21.- Croquis de ubicación y dirección de los sensores

La configuración que se estableció para la captura de información está configurada con un sistema llamado maestro-esclavo, este sistema cuenta con un control de tiempo GPS, que permite poner a tiempo cada registrado cada cierto tiempo, ello permite establecer la hora exacta en la cual se presenta el evento sísmico al momento de comenzar a capturarlo. El sistema maestro-esclavo permite que cada registrador tenga la opción de mandar la orden de captura de la señal del sismo, siempre y cuando al menos tres de los sensores conectados a cualquiera de los registradores rebasen el umbral de disparo o encendido que se haya establecido.

Las claves que se han empleado para este edificio, así como la localización de los sensores se encuentran descritas en la tabla 3.3.

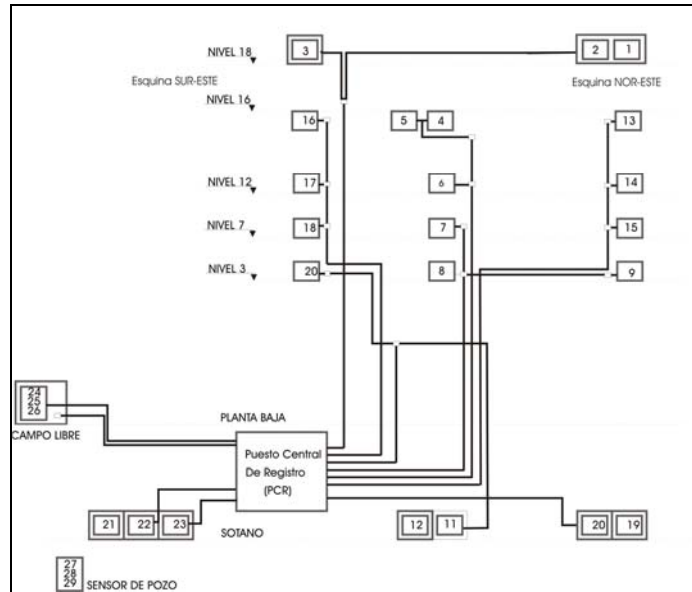


Figura 3.22.- Diagrama de la tubería de conexiones del edificio Instrumentado

Tabla 3.3.- Claves, ubicaciones y orientaciones de los sensores del edificio Telecomm

CLAVES DE LOS SENSORES EN EL EDIFICIO TELECOMM			
SENSORES	CLAVE	DIRECCIÓN	ORIENTACIÓN
AZOTEA	N16CL	L	-
	N16CT	T	-
	N16SWT	T	-
	N16NET	T	-
NIVEL 12	N12CL	L	-
	N12NET	T	-
	N12SWT	T	-
NIVEL 7	N7CL	L	-
	N7NET	T	-
	N7SWT	T	-
NIVEL 3	N3CL	L	-
	N3NET	T	-
	N3SWT	T	-

Tabla 3.3.- Claves, ubicaciones y orientaciones de los sensores del edificio Telecomm (continuación)

CLAVES DE LOS SENSORES EN EL EDIFICIO TELECOMM			
SENSORES	CLAVE	DIRECCIÓN	ORIENTACIÓN
SÓTANO	SSEV	V	+
	SSWT	T	-
	SSWV	V	+
	SCL	L	-
	SCT	T	-
	SNEV	V	+
	SNET	T	-
POZO	P1L	L	+
	P2T	T	+
	P3V	V	+
TERRENO	CLL	L	-
	CLT	T	+
	CLV	V	+
APÉNDICE	N18NEL	L	-
	N18NET	T	-
	N18SWT	T	-

### 3.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISMOS ESTUDIADOS

Para el análisis realizado durante el presente trabajo se han contemplado eventos sísmicos de mediana intensidad, mismos cuyas características se encuentran desglosadas en las tablas 3.4 a 3.6. La elección de los eventos sísmicos estudiados se ha realizado con base en su magnitud y fecha de ocurrencia a partir de la instrumentación de cada edificio.

Los epicentros de los sismos que se contemplan, se han localizado en diferentes regiones, información que nos sirve para conocer el alcance de estos fenómenos, así como sus efectos en estructuras localizadas en zonas diferentes y en suelos distintos, particularmente blandos o cercanos a las zonas de epicentro.

Las características que presentan las estructuras ante un determinado evento sísmico han sido recabadas en los informes preliminares ya mencionados en el capítulo anterior. Las tablas 3.4 a 3.6 muestran las características principales que se han obtenido a partir de la información registrada posterior a la ocurrencia de los eventos sísmicos, tales como: fecha del evento, Intensidad de Arias (1973), magnitud, distancia epicentral, coordenadas geográficas, aceleraciones máximas en azotea y terreno para cada edificio estudiado.

Tabla 3.4.- Características de los sismos estudiados para el caso del edificio Jalapa

Evento	Localización	Fecha	Hora (GMT)	M <sub>w</sub>	Coordenadas		Distancia Epicentral (km)	Intensidad de Arias (cm/s)	Amáx Terreno (cm/s <sup>2</sup> )	Amáx Edificio (cm/s <sup>2</sup> )
					Latitud Norte	Longitud Oeste				
93-1	Guerrero	15/05/1993	03:09:39 a.m.	5.8	16.43	98.74	334	0.257	4.491	11.309
95-1	Guerrero	14/09/1995	02:04:30 p.m.	7.2	16.31	99.88	353	19.297	37.500	129.347
99-1	Puebla	15/06/1999	08:42:07 p.m.	6.5	18.18	97.51	222	13.957	20.470	175.340
99-2	Oaxaca	30/09/1999	04:31:15 p.m.	7.5	15.95	97.03	446	14.632	33.606	284.309
04-1	Guerrero	14/06/2004	10:54:23 p.m.	5.8	16.03	97.84	401	0.961	8.803	79.397

Tabla 3.5.- Características de los sismos estudiados para el caso del edificio Oasis

Evento	Localización	Fecha	Hora (GMT)	M <sub>w</sub>	Coordenadas		Distancia Epicentral (km)	Intensidad de Arias (cm/s)	Amáx Terreno (cm/s <sup>2</sup> )	Amáx Edificio (cm/s <sup>2</sup> )
					Latitud Norte	Longitud Oeste				
01-1	Guerrero	08/10/2001	03:39:20 a.m.	6.1	16.98	100.16	37	16.432	101.910	165.847
02-1	Guerrero	17/02/2002	04:10:19 a.m.	4.6	16.92	99.91	16	1.491	47.752	40.487
04-1	Guerrero	14/06/2004	10:54:23 p.m.	5.8	16.03	97.84	233	0.380	5.884	49.143

Tabla 3.6.- Características de los sismos estudiados para el caso del edificio Jalapa

Evento	Localización	Fecha	Hora (GMT)	M <sub>w</sub>	Coordenadas		Distancia Epicentral (km)	Intensidad de Arias (cm/s)	Amáx Terreno (cm/s <sup>2</sup> )	Amáx Edificio (cm/s <sup>2</sup> )
					Latitud Norte	Longitud Oeste				
04-1	Guerrero	14/06/2004	10:54:23 p.m.	5.8	16.03	97.84	392	0.0004	1.4663	2.9990
04-2	Guerrero	18/08/2004	09:03:10 a.m.	5.7	16.33	95.14	543	1.0303	8.7601	1.3541

Para la obtención y diferenciación de los registros que se obtienen en cada uno de los edificios en estudio, se han empleado convenciones diferentes de acuerdo a su ubicación y dirección como se verá a continuación.

### 3.4 EL CASO DEL EDIFICIO JALAPA

Este edificio, como se ha descrito con anterioridad, ha sido objeto de dos rehabilitaciones debido a daños en sus elementos estructurales (grietas y desprendimientos), posteriores a eventos sísmicos de mediana intensidad. Vale la pena resaltar que, de manera implícita, con la rehabilitación se han derivado factores de interés en el análisis de registros sísmicos. Uno de los principales han sido las modificaciones en las frecuencias de vibrar de la estructura, mismas que están asociadas no sólo a la geometría de la estructura, en el entendido de que se trate de una estructura flexible, o particularmente esbelta, sino más bien al hecho de que la frecuencia de las estructuras esta estrechamente ligada con la rigidez que presente en conjunto la estructura.

Las estructuras particularmente rígidas, presentan frecuencias altas (periodos pequeños) en relación con estructuras flexibles cuya frecuencia es relativamente baja (periodos altos) en comparación con éstas, las estructuras que experimentan excitación producida por los sismos sufren un decremento en la frecuencia (el periodo se incrementa), debido a que durante la excitación, el edificio pierde rigidez en sus elementos estructurales, ello a su vez propicia que la frecuencia disminuya (el periodo se elonga), es decir, se hace más largo (periodos altos).

Así mismo, el edificio Jalapa presenta variaciones en dichas frecuencias luego de realizadas las rehabilitaciones y después de estar expuesto a eventos sísmicos de mediana intensidad, como los estudiados en este trabajo, mismos que han llegado a causar daños en sus elementos estructurales y no estructurales. En la tabla 3.4 se resumen las características de los sismos estudiados para el caso del edificio Jalapa.

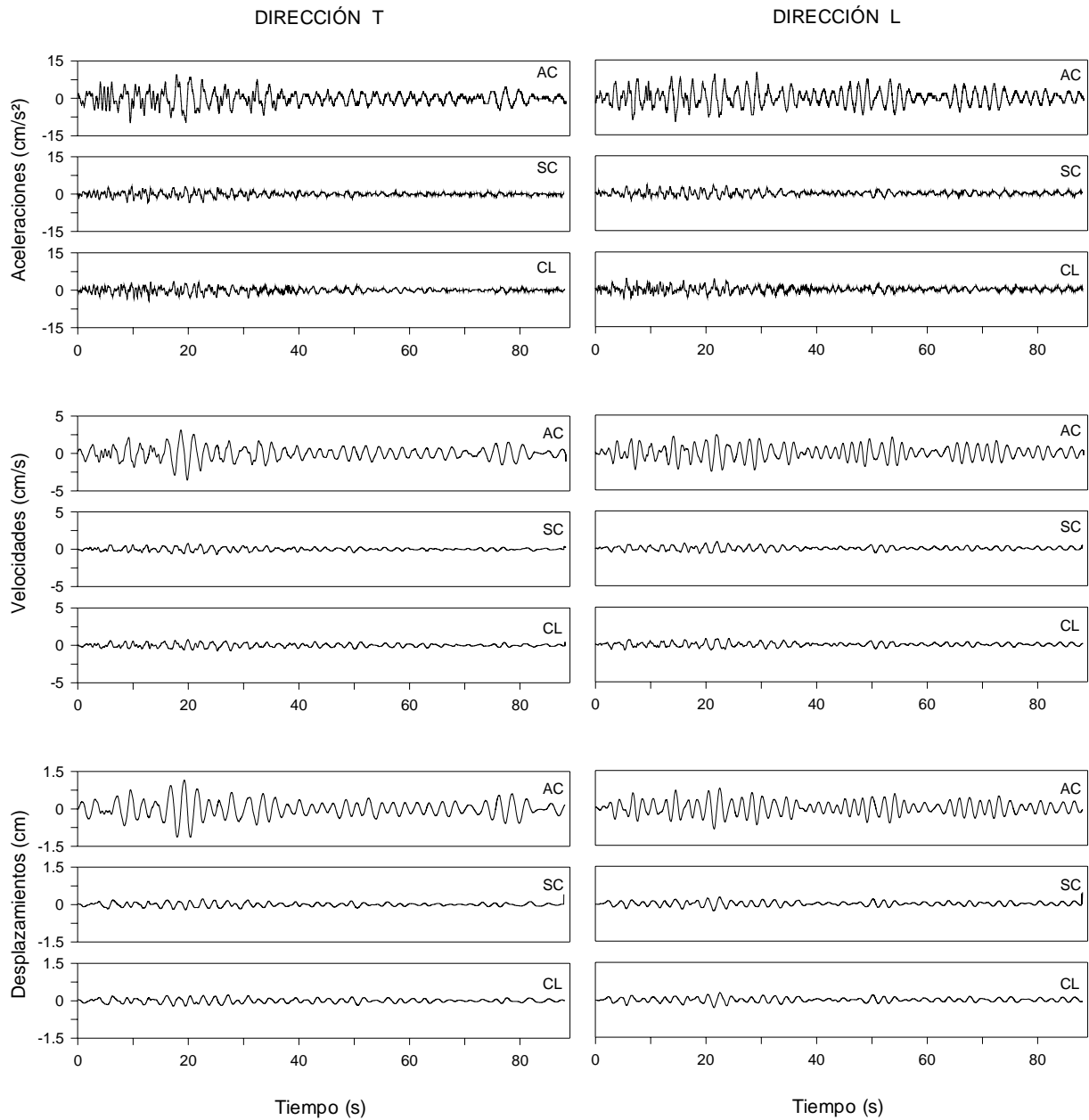
Como parte del análisis realizado en el dominio del tiempo las herramientas elaboradas permitieron obtener las respuestas máximas de la estructura, empleando los registros de aceleración, velocidad y desplazamiento para cada evento sísmico en cada dirección ( $T$  y  $L$ ), como se muestra en la figura 3.23, en ella se han consignado gráficas de dichas historias y adicionalmente se ha incorporado una tabla resumen de las respuestas máximas identificadas para cada caso (tabla 3.6), cabe hacer mención que este análisis se llevó a cabo empleando la metodología propuesta a base de la automatización y exploración de los mismos, explicada en el capítulo 2 de este trabajo.

Para la obtención de las historias de aceleración, velocidad y desplazamiento, se emplearon los registros correspondientes a azotea centro ( $AC$ ), sótano centro ( $SC$ ) y terreno ( $CL$ ), hay que hacer

mención que para el análisis de la respuesta de la estructura, es deseable contar con señales que se encuentren localizados al centro de masas de la estructura, ello permitirá idealizar a la estructura como un oscilador de N-niveles, cuya concentración de masas se localiza sobre el mismo eje, evitando que la respuesta se sobreestime y se puedan eliminar efectos asociados a la torsión de la estructura o a la excentricidad para cada nivel.

A continuación se presentan las gráficas correspondientes a las historias de aceleración, velocidad y desplazamientos para cada uno de los eventos sísmicos citados presentados en el edificio Jalapa, así las distorsiones de entrepiso y la descomposición del movimiento que se efectuó para los registros de azotea centro y este (figuras 3.23 a 3.36).

Se ha graficado la información de historias de aceleración, velocidad y desplazamiento, seguidas de las historias de distorsiones del sistema considerando los efectos suelo-estructura y se han graficado las distorsiones excluyendo estos efectos, de igual manera se han obtenido gráficas de descomposición de los movimientos en azotea en las direcciones T y L, para los registros de aceleración y desplazamiento, como se muestra a continuación.



**Figura 3.23.- Historia de aceleraciones, velocidades y desplazamientos, para las componentes T y L del evento 93-1 del edificio Jalapa**

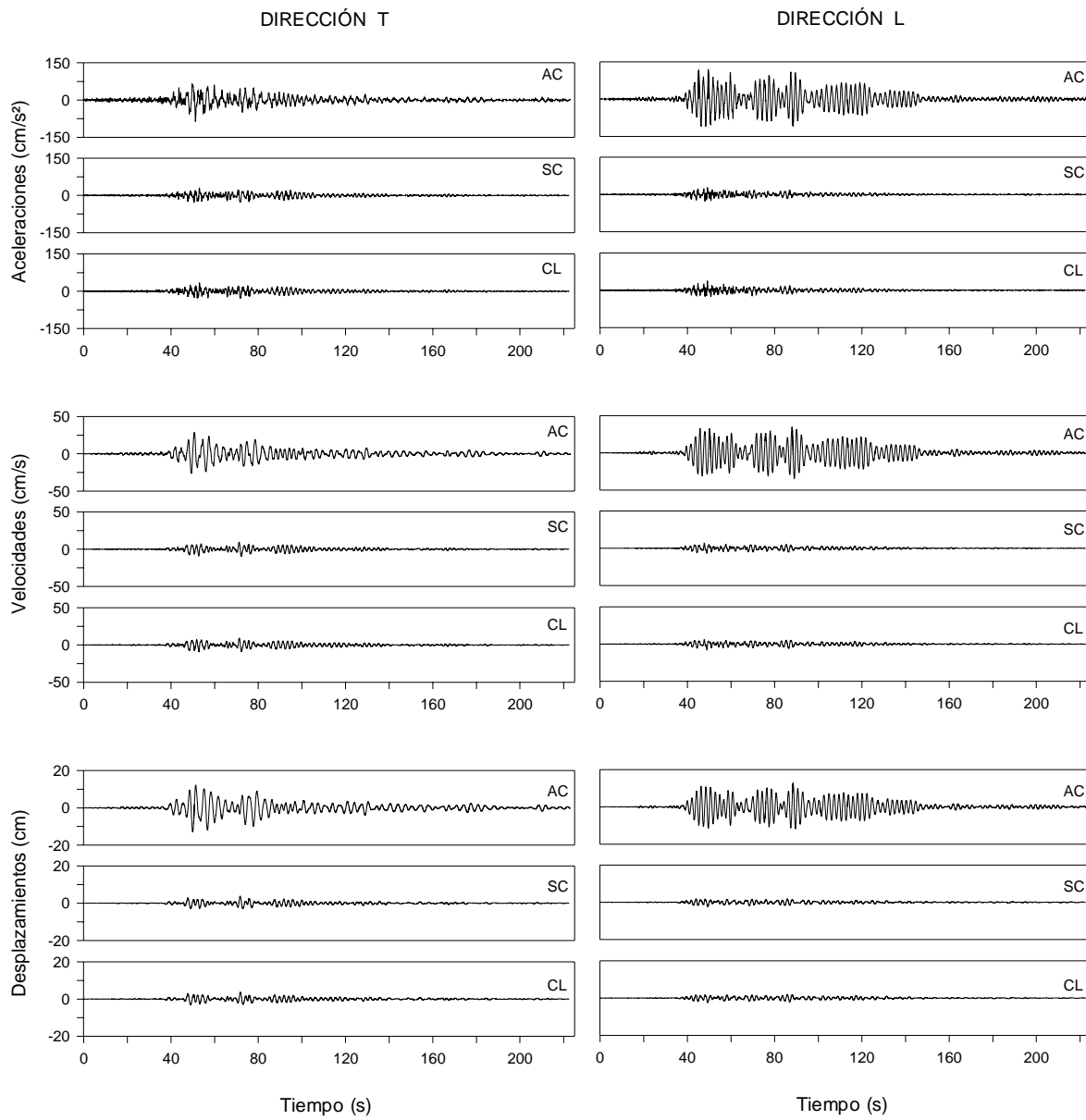
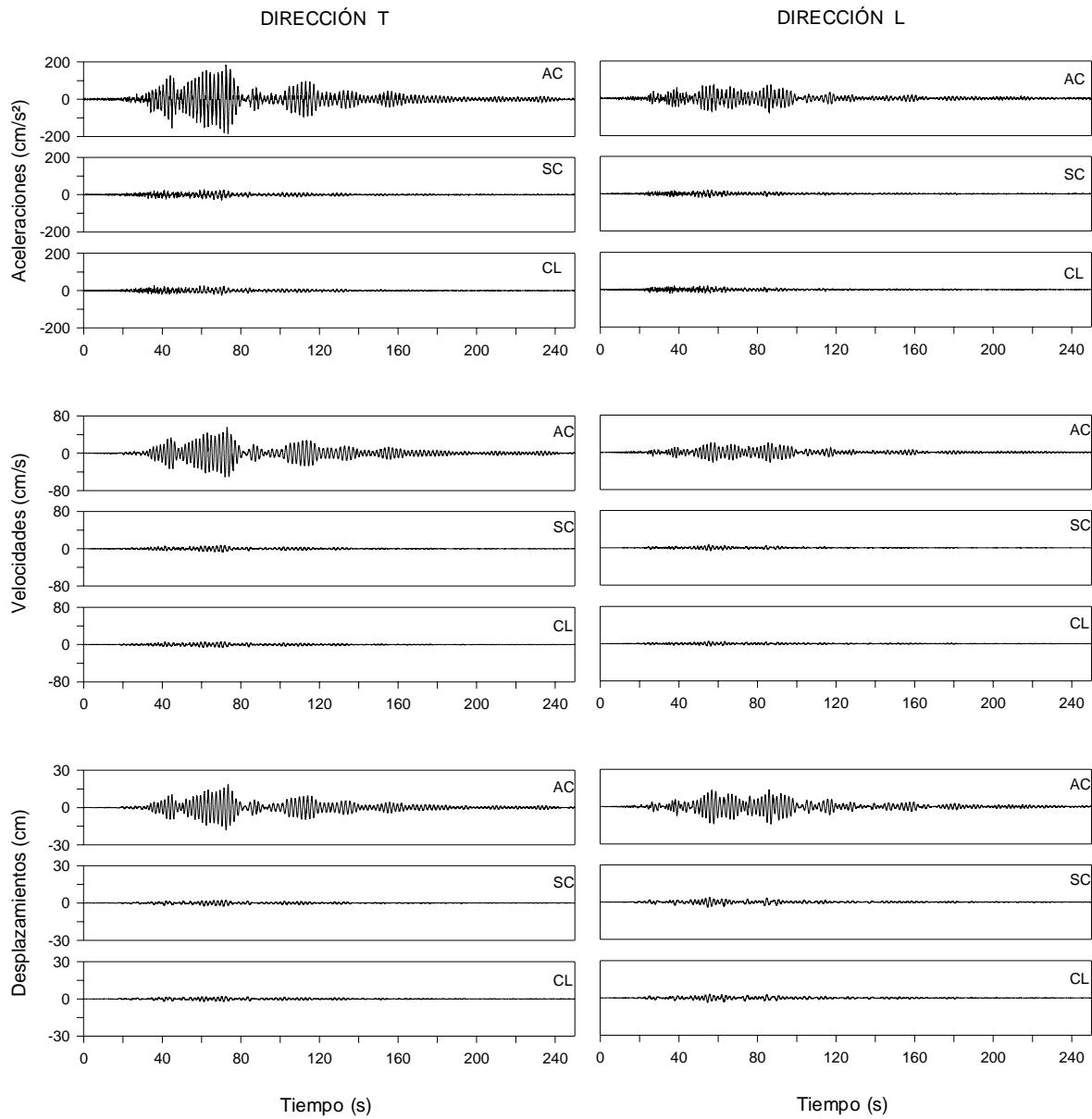


Figura 3. 24.- Historia de aceleraciones, velocidades y desplazamientos del edificio Jalapa, para las componentes T y L del evento 95-1





*Figura 3.25.- Historia de aceleraciones, velocidades y desplazamientos, para las componentes T y L del evento 99-1 del edificio Jalapa*

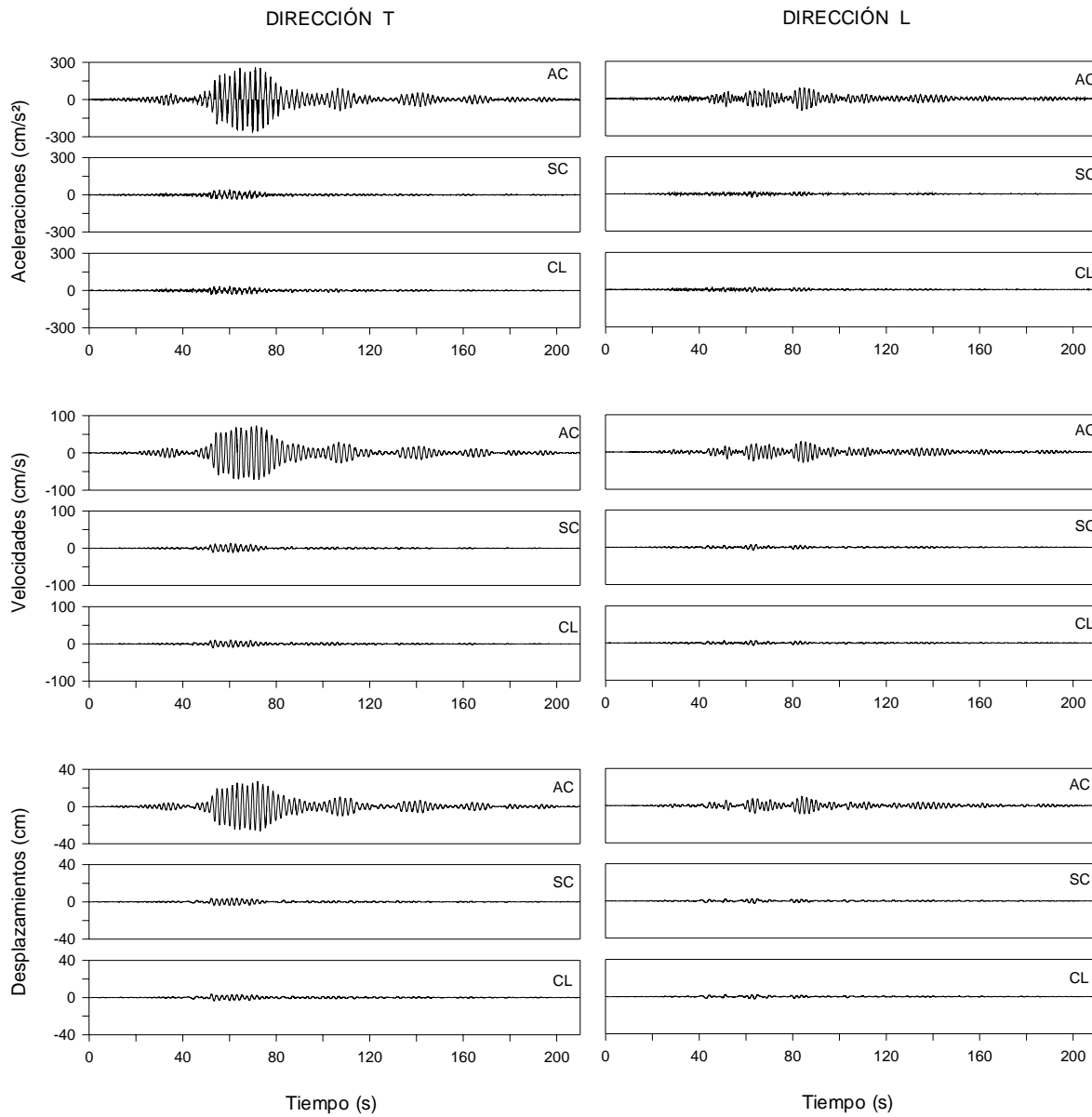
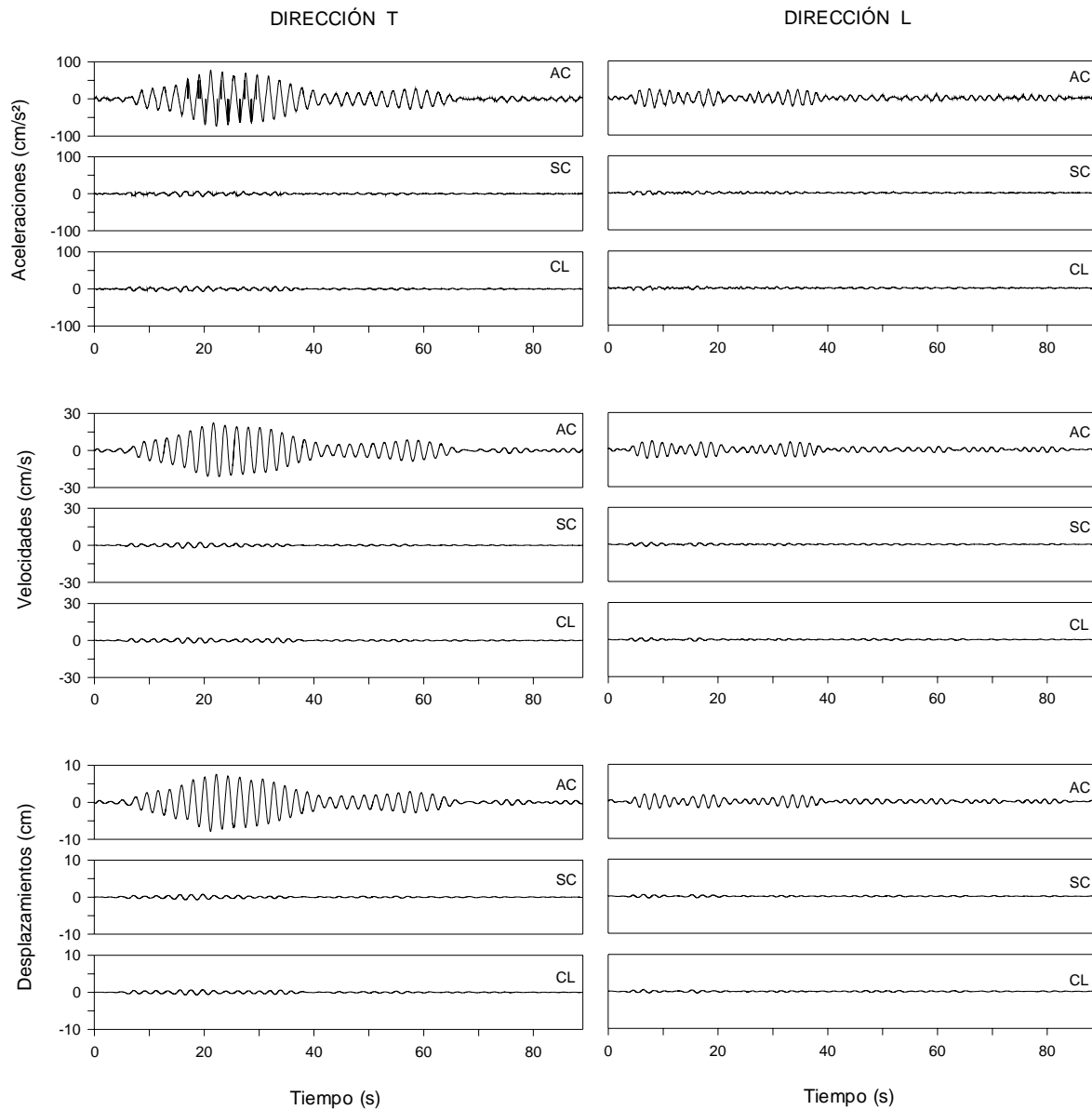


Figura 3.26.- Historias de aceleraciones, velocidades y desplazamientos de azotea, sótano y terreno en las direcciones T y L del edificio Jalapa para el evento 99-2



**Figura 3.27.- Historias de aceleraciones, velocidades y desplazamientos de azotea, sótano y terreno del evento 04-1, edificio Jalapa**

Como primer termino, se logró obtener información concerniente a las respuestas máximas en aceleración, velocidad y desplazamiento. Estos resultados se observan a manera de resumen en las tablas 3.7 a 3.11, para las direcciones T (*Trasversal*), L (*Longitudinal*) y V (*Vertical*). La información de respuestas máximas para el resto de los puntos instrumentados se encuentra en Apéndice A de este trabajo.

**Tabla 3.7.- Respuestas máximas obtenidas en las estaciones de azotea, sótano y terreno durante el evento 93-1, edificio Jalapa**

clave	Aceleraciones(maximas)-(cm/s <sup>2</sup> )			Velocidades(maximas)-(cm/s)			Desplazamientos(maximas)-(cm)		
	L	T	V	L	T	V	L	T	V
AC	10.25	9.73	2.60	2.52	3.56	0.26	0.84	1.15	0.09
SC	3.56	3.42	1.49	0.88	0.76	0.25	0.29	0.23	0.07
CL	4.49	3.87	3.43	0.79	0.79	0.40	0.31	0.23	0.07

**Tabla 3.8.- Respuestas máximas obtenidas en las estaciones de azotea, sótano y terreno durante el evento 95-1, edificio Jalapa**

clave	Aceleraciones(maximas)-(cm/s <sup>2</sup> )			Velocidades(maximas)-(cm/s)			Desplazamientos(maximas)-(cm)		
	L	T	V	L	T	V	L	T	V
AC	118.78	87.01	20.61	32.43	28.23	2.89	11.07	12.87	1.24
SC	26.96	29.37	11.17	6.55	9.09	2.13	2.33	2.91	1.00
CL	37.50	34.96	15.81	7.36	9.17	2.82	2.43	2.86	0.95

**Tabla 3.9.- Respuestas máximas obtenidas en las estaciones de azotea, sótano y terreno durante el evento 99-1, edificio Jalapa**

clave	Aceleraciones(maximas)-(cm/s <sup>2</sup> )			Velocidades(maximas)-(cm/s)			Desplazamientos(maximas)-(cm)		
	L	T	V	L	T	V	L	T	V
AC	75.62	155.67	21.21	21.41	43.78	1.62	6.84	14.06	0.44
SC	21.38	22.93	9.08	6.35	5.67	1.39	2.08	2.33	0.42
CL	20.47	18.29	19.03	5.15	5.61	2.03	1.78	2.21	0.41

**Tabla 3.10.- Respuestas máximas obtenidas en las estaciones de azotea, sótano y terreno durante el evento 99-2, edificio Jalapa**

clave	Aceleraciones(maximas)-(cm/s <sup>2</sup> )			Velocidades(maximas)-(cm/s)			Desplazamientos(maximas)-(cm)		
	L	T	V	L	T	V	L	T	V
AC	65.57	238.11	26.65	22.08	68.40	1.89	7.34	25.06	0.57
SC	27.51	40.93	12.27	7.32	12.97	2.13	2.76	3.74	0.73
CL	21.86	33.61	13.99	6.28	10.78	1.85	2.55	3.61	0.56

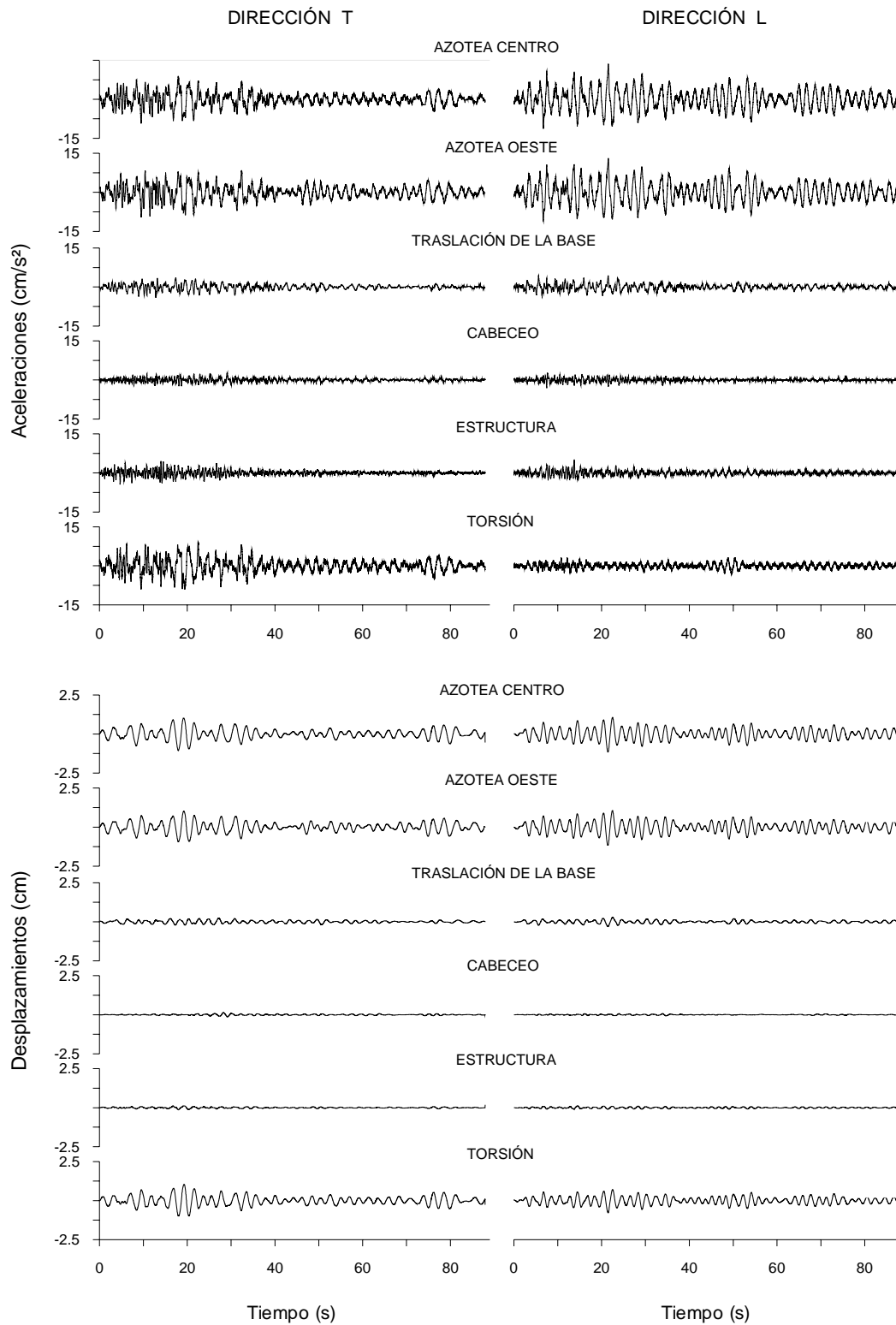
**Tabla 3.11.- Respuestas máximas obtenidas en las estaciones de azotea, sótano y terreno durante el evento 04-1, edificio Jalapa**

clave	Aceleraciones(maximas)-(cm/s <sup>2</sup> )			Velocidades(maximas)-(cm/s)			Desplazamientos(maximas)-(cm)		
	L	T	V	L	T	V	L	T	V
AC	26.83	77.67	4.42	7.08	22.39	0.66	2.15	7.81	0.22
SC	5.77	8.55	2.49	1.65	2.37	0.51	0.50	0.78	0.18
CL	6.50	8.80	4.34	1.39	2.28	0.58	0.48	0.71	0.13

Las mayores aceleraciones en el edificio Jalapa se han registrado en azotea, para el caso especial del evento 99-2 con 238.11 cm/s<sup>2</sup> de aceleración, 68.40cm/s en velocidades y 25.06cm en desplazamientos, en el centro de ésta en dirección T, como observación adicional podemos citar que el sismo se presentó después de la segunda rehabilitación.

Con excepción del evento 99-2, no se alcanzaron valores de este tipo en azotea centro para el resto de los eventos estudiados.

Las siguientes figuras muestran las gráficas que se obtienen de los tipos de movimiento que componen la respuesta en aceleración y desplazamiento en la azotea correspondientes a las direcciones T y L del evento 93-1, 95-1, 99-1,99-2 y 04-1 para el caso del edificio Jalapa.



**Figura 3.28.- Tipos de movimiento que componen la respuesta en aceleración y desplazamiento en la azotea correspondientes a las direcciones T y L del evento 93-1, edificio Jalapa**

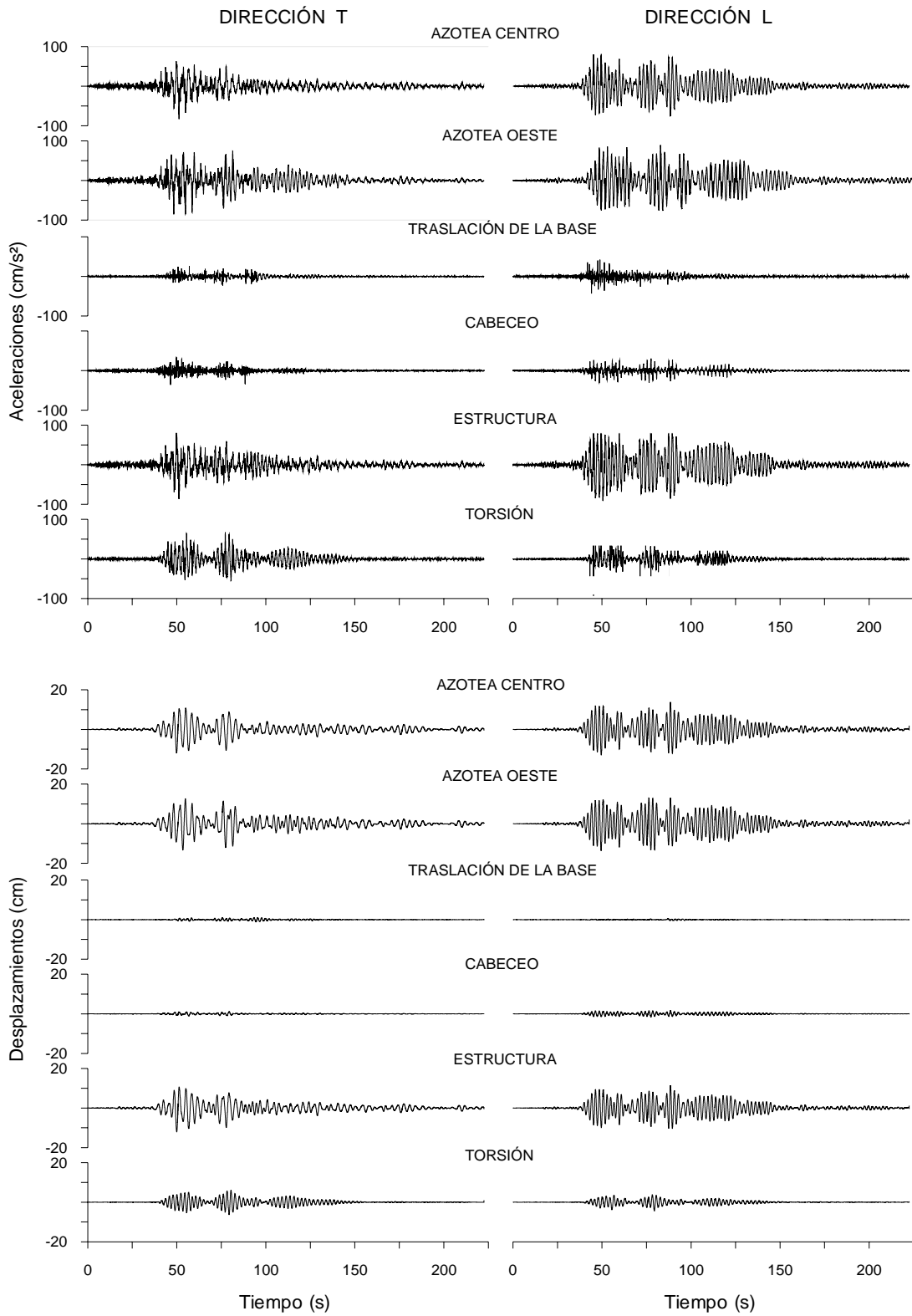


Figura 3.29.- Tipos de movimiento que componen la respuesta en aceleración en azotea correspondientes a las direcciones T y L del evento 95-1, edificio Jalapa

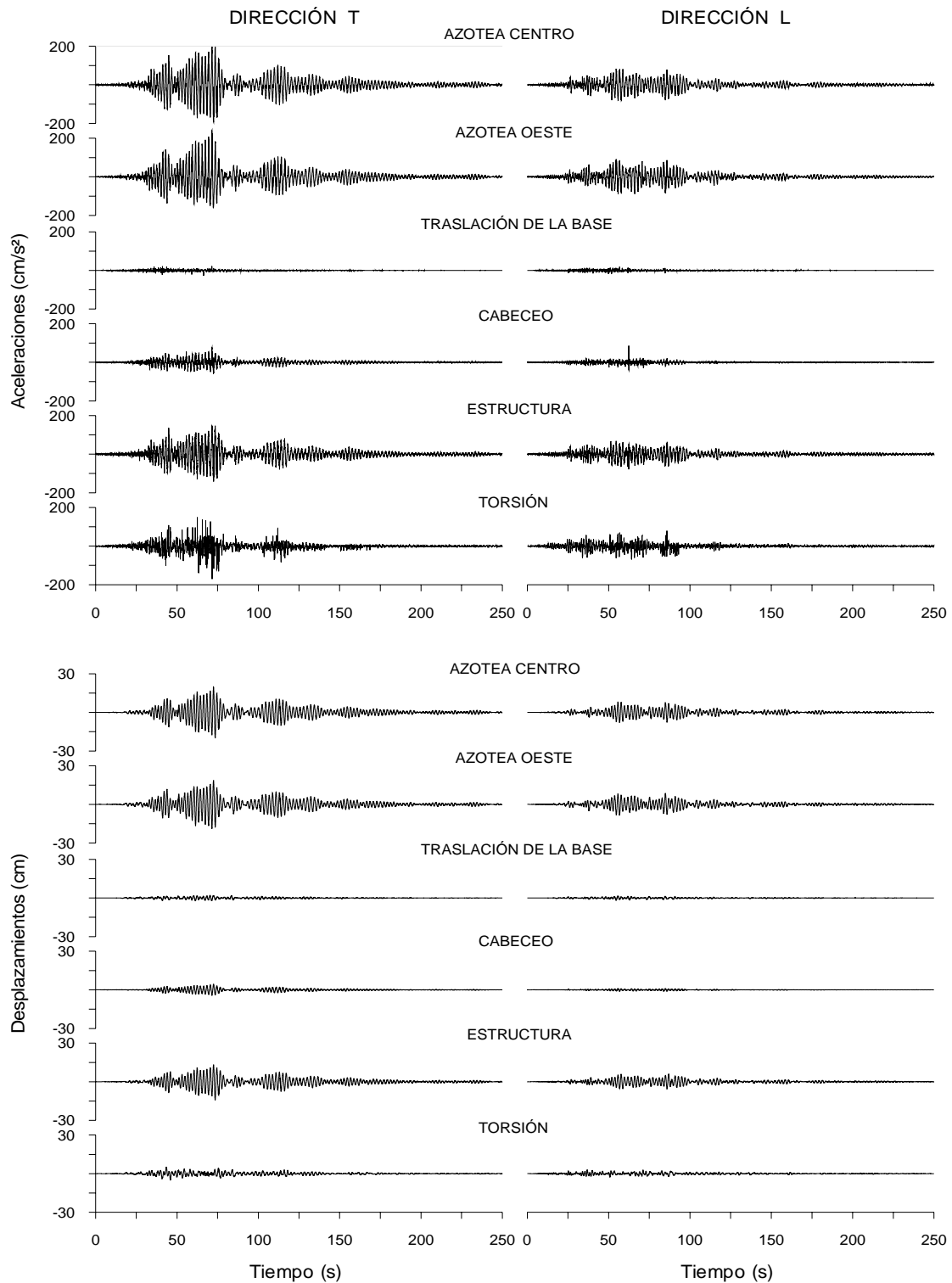


Figura 3.30.- Tipos de movimiento que componen la respuesta en azotea correspondientes a las direcciones T y L del evento 99-1, edificio Jalapa

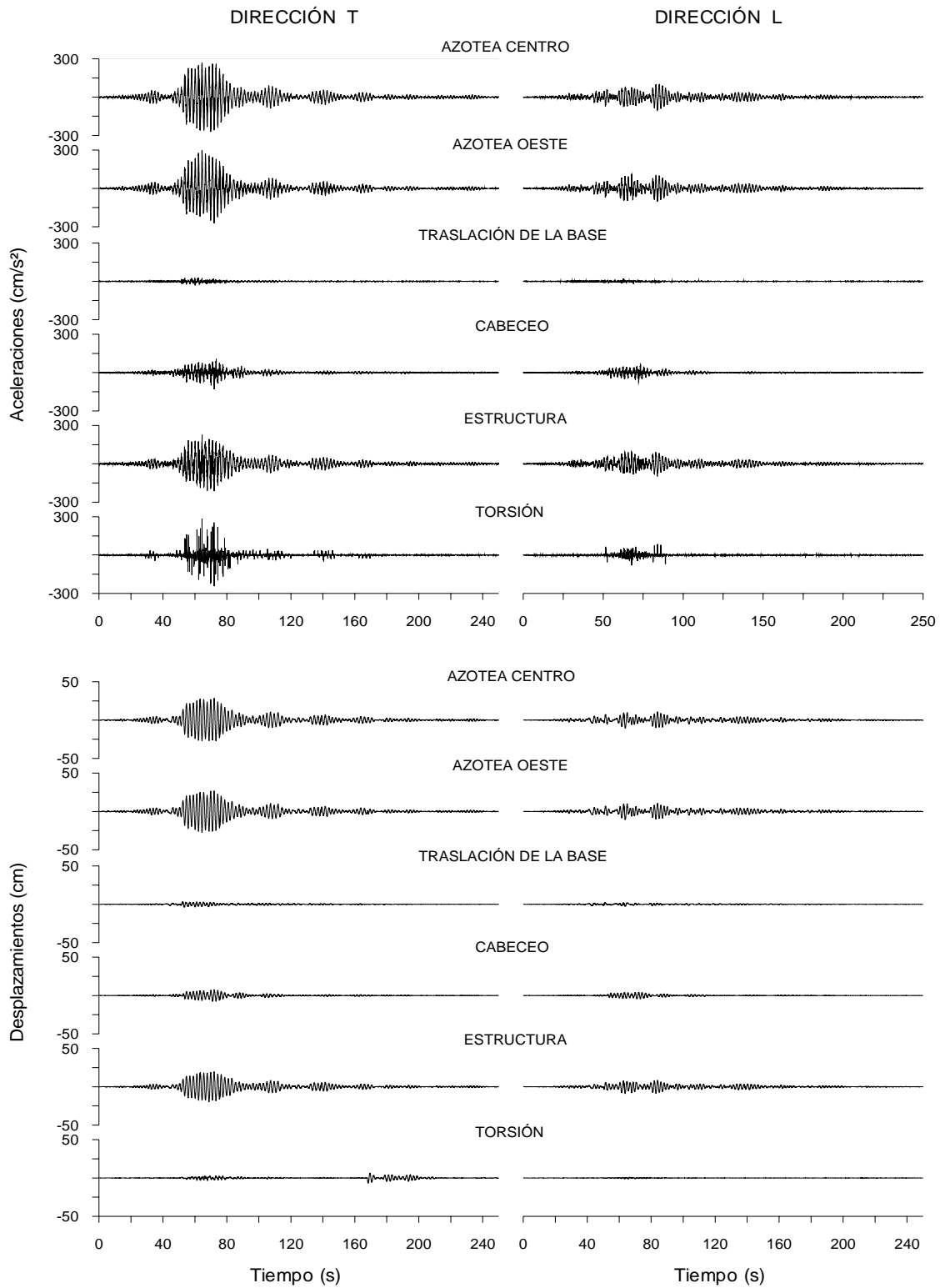


Figura 3.31.- Tipos de movimiento que componen la respuesta en aceleración en azotea correspondientes a las direcciones T y L del evento 99-2, edificio Jalapa



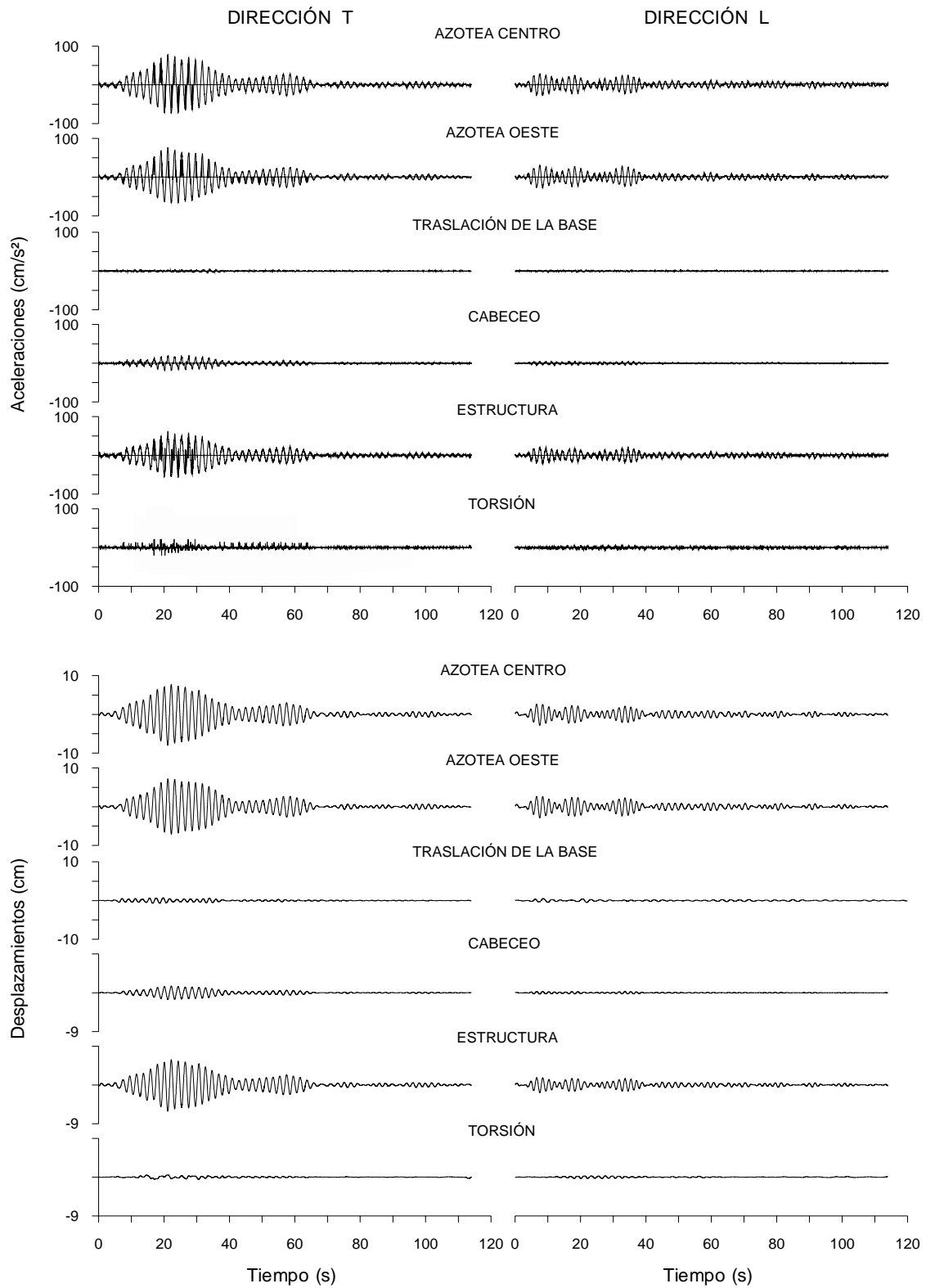
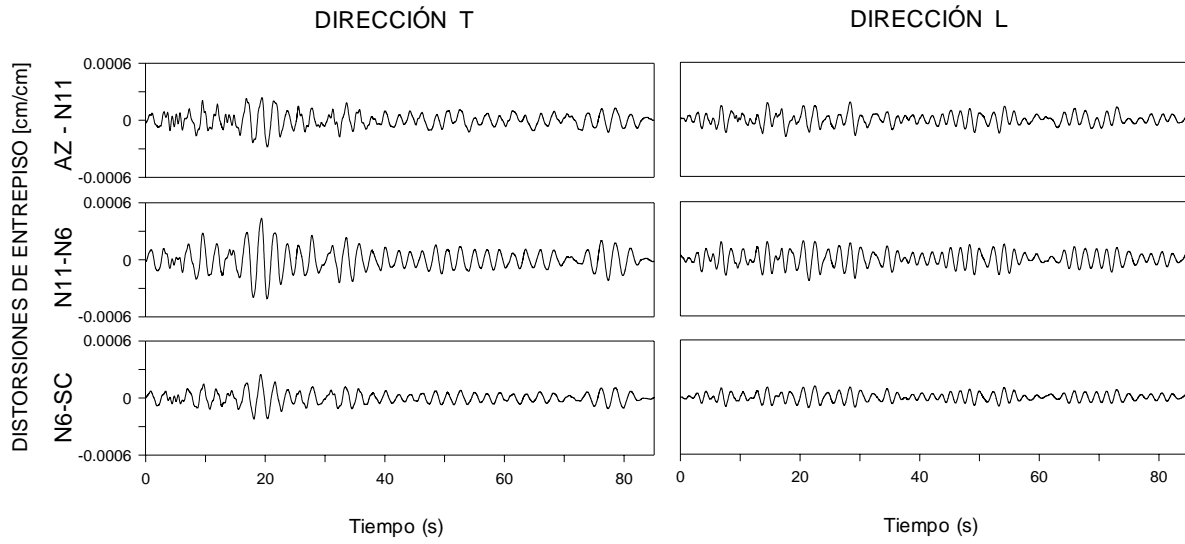


Figura 3.32.- Tipos de movimiento que componen la respuesta en aceleraciones y desplazamientos para evento 04-1 el edificio Jalapa

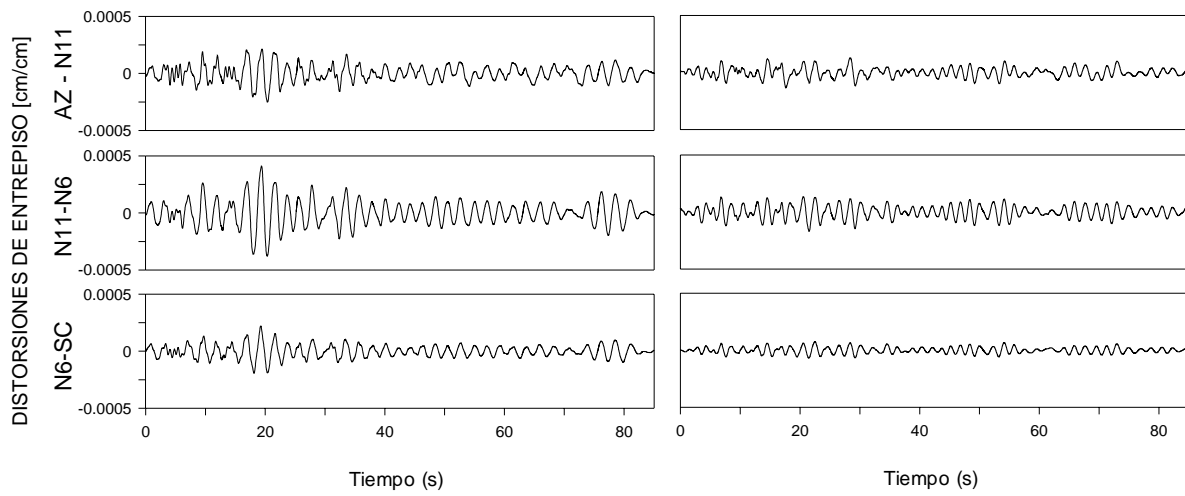
De las gráficas 3.29 y 3.32, se observa que el cabeceo que se presenta es perceptible y conforma un porcentaje pequeño de la señal total. Los eventos 95-1 y 04-1 presentan una participación de este movimiento por debajo de los que se aprecian en el resto de los eventos para el edificio Jalapa (eventos 93-1, 99-1 y 99-2).

Por otro lado se ha logrado identificar que para estos mismos eventos la torsión que se ha presentado en dirección T, es perceptible, no ha sí en el resto de los eventos en este edificio, en donde se observa que ésta es prácticamente imperceptible. Sin embargo, la presencia de estos efectos ante sismos de mayor intensidad como el caso del evento 95-1, nos dicen que en la estructura, los efectos de cabeceo pueden crecer, con lo que han de ser tomados e cuenta para futuros análisis. Estos resultados son más evidentes para la descomposición del movimiento en aceleraciones que para desplazamientos.

A continuación se muestran las graficas que se obtuvieron para el cálculo de las distorsiones de entrepiso para el edificio jalapa en los cinco eventos estudiados (figuras 3.33 a 3.37).

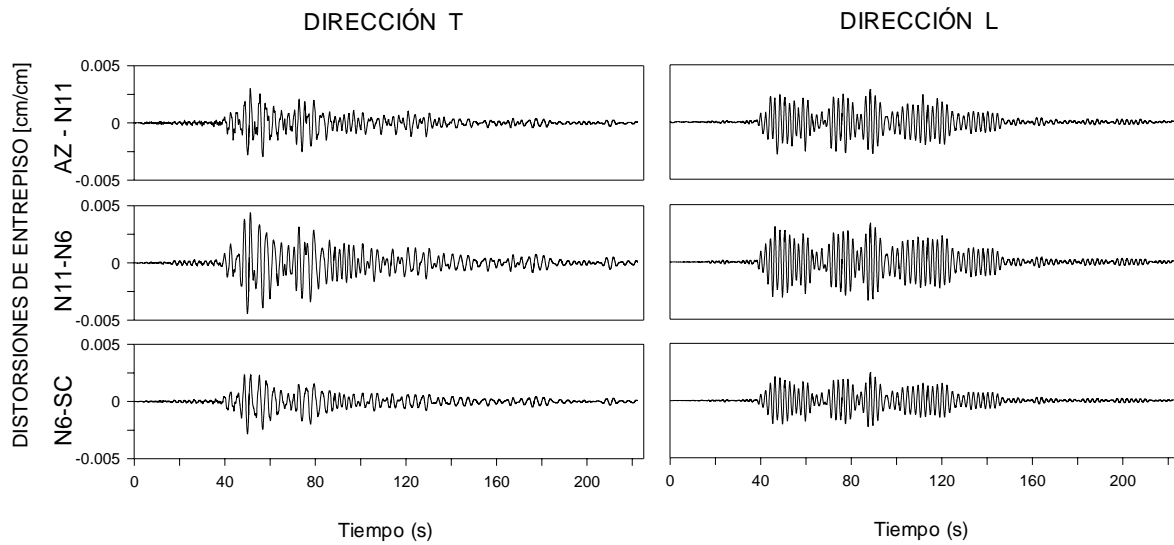


a)

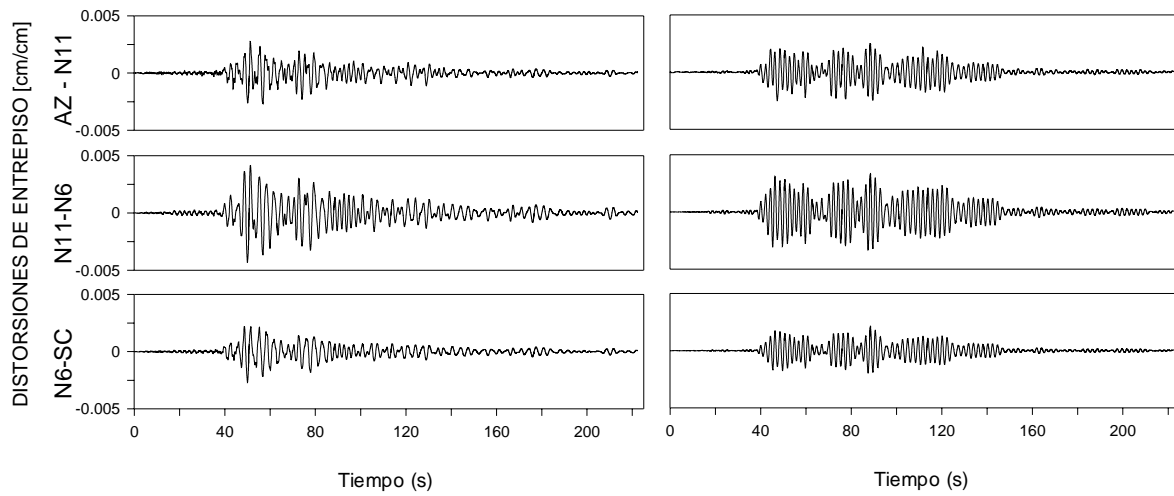


b)

**Figura 3.33.- Distorsiones de entrecapiso calculadas considerando los efectos de ISE a) y considerando sólo la estructura con base rígida b), e viento 93-1 edificio Jalapa**



a)



b)

Figura 3.34.- Distorsiones de entepiso calculadas considerando los efectos de ISE a) y considerando sólo la estructura con base rígida b), evento 95-1 edificio Jalapa

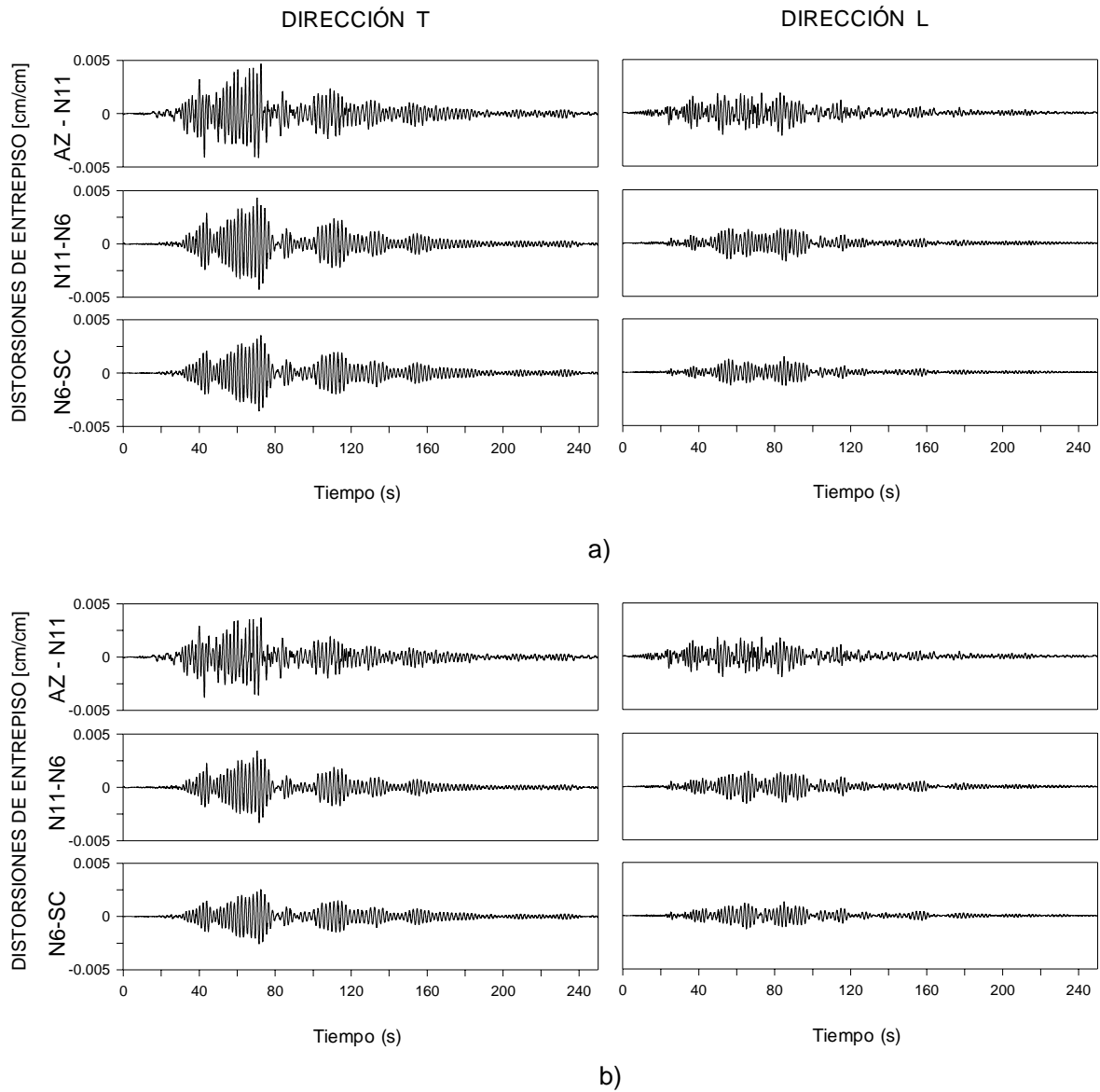


Figura 3.35.- Distorsiones de entepiso calculadas considerando los efectos de ISE a) y considerando sólo la estructura con base rígida b), evento 99-1 edificio Jalapa

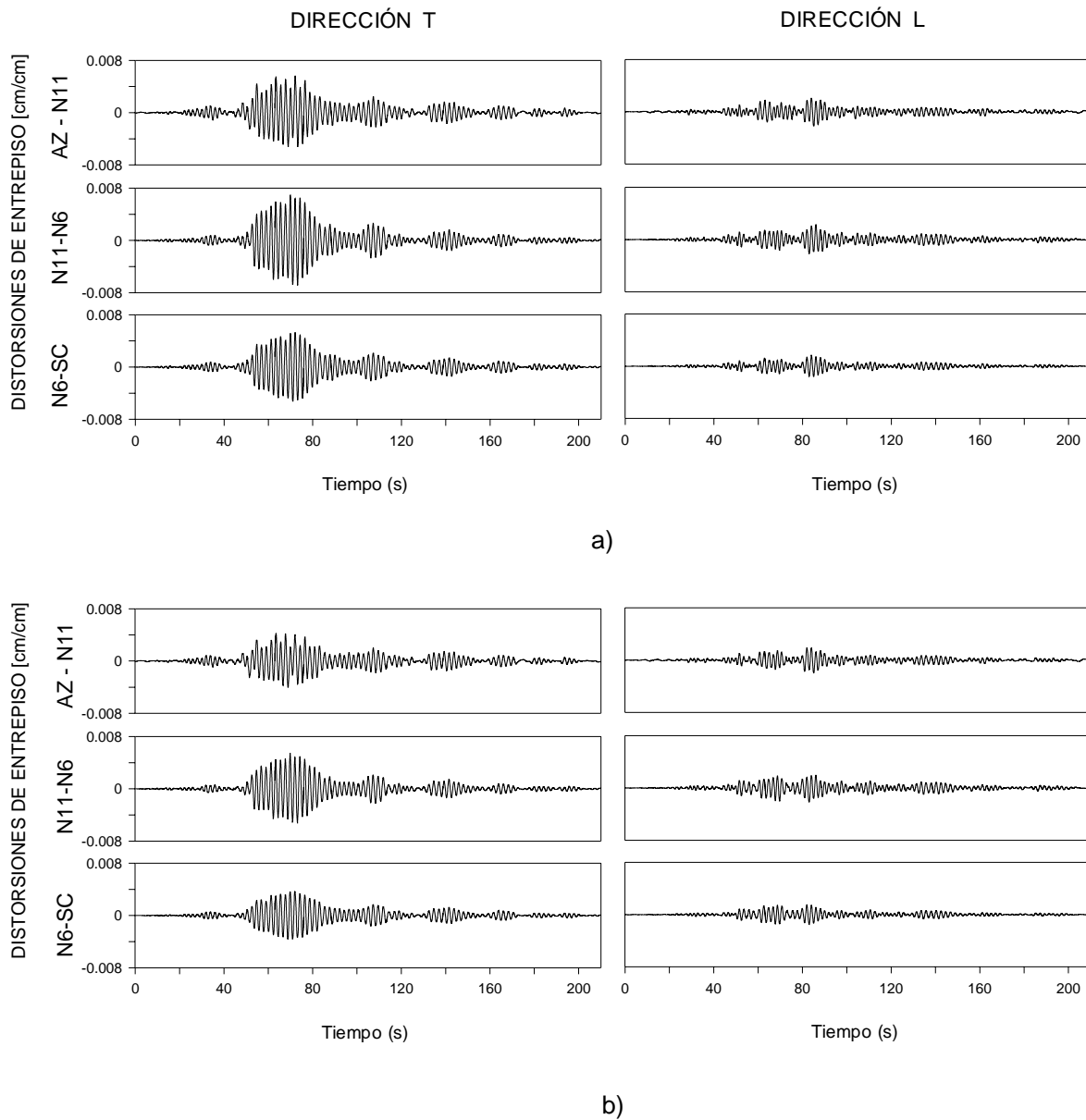


Figura 3.36.- Distorsiones de entrecapiso calculadas considerando los efectos de ISE a) y considerando sólo la estructura con base rígida b), evento 99-2 edificio Jalapa

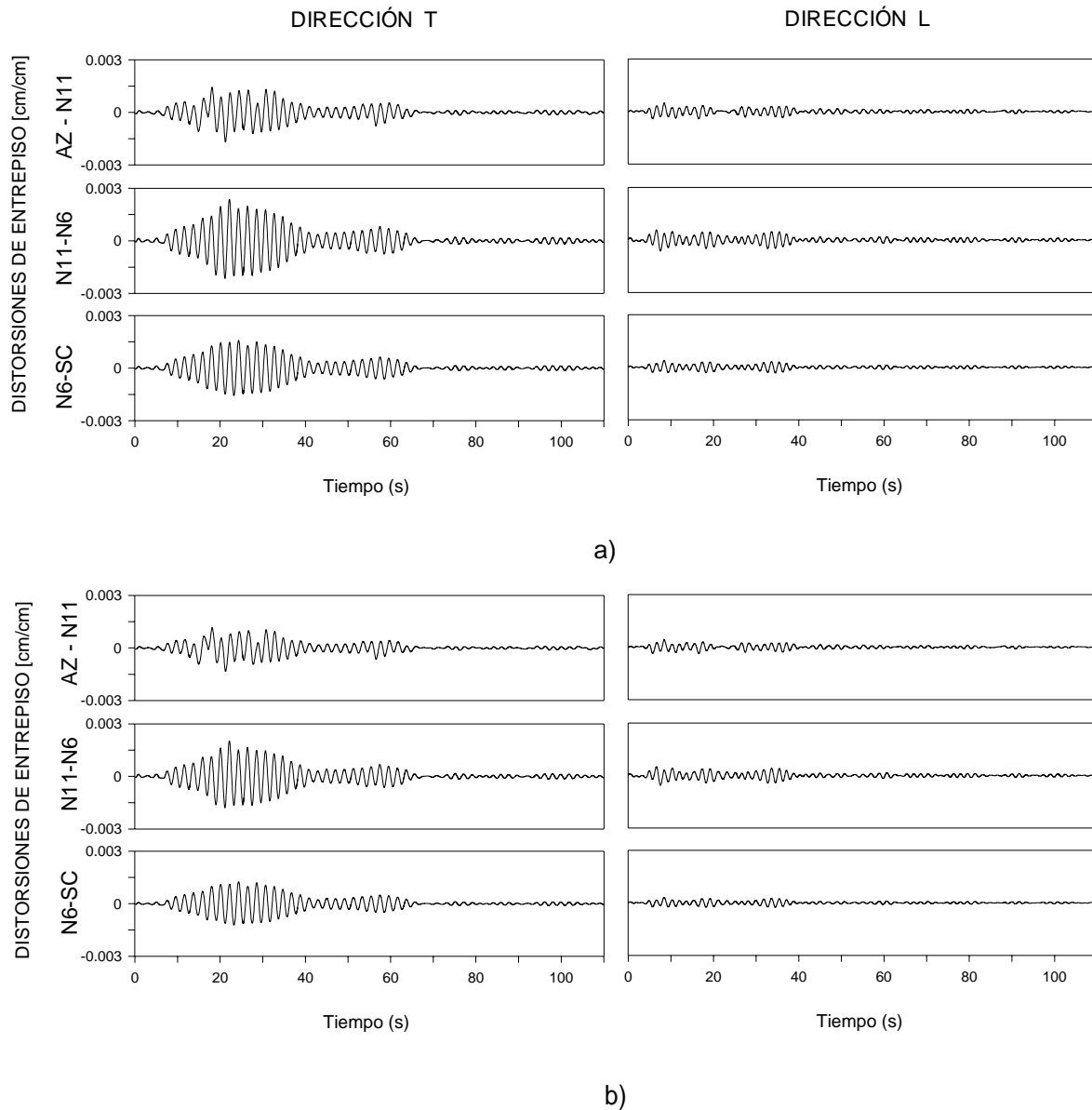


Figura 3.37.- Distorsiones de entrepiso calculadas considerando los efectos de ISE a) y considerando sólo la estructura con base rígida b), evento 04-1 edificio Jalapa

Las tablas 3.12 y 3.13 muestran los resultados de las distorsiones máximas que se presentaron durante los eventos 93-1, 95-1, 99-1, 99-2 y 04-1, en los entrepisos donde se contaba con instrumentación permanente. Podemos mencionar que para el evento 93-1 las distorsiones máximas se presentaron en los niveles 11 y 6 (N11-N6), en el caso del evento 95-1, estos valores máximos estuvieron presentes de igual manera entre los niveles 11 y 6 y en azotea y nivel 11 (AZ-N11), este

ultimo resultado se presento luego de haber realizado la segunda rehabilitación estructural en el edificio.

*Tabla 3.12.- Distorsiones de entrepiso del edificios Jalapa, en la dirección T*

		DISTORSIONES DIRECCIÓN T					
FECHA	EVENTO	SISTEMA			ESTRUCTURA		
		AZ-N11	N11-N6	N6-SC	AZ-N11	N11-N6	N6-SC
15/05/93	93-1	0.000278	0.000436	0.000247	0.000250	0.000411	0.000221
14/09/95	95-1	0.003008	0.004462	0.002832	0.002782	0.004320	0.002690
15/06/99	99-1	0.004679	0.004339	0.003561	0.003758	0.003445	0.002580
30/019/99	99-2	0.005669	0.006939	0.005309	0.004209	0.005494	0.003673
14/06/04	04-1	0.001672	0.002392	0.001587	0.001322	0.002032	0.001250

*Tabla 3.13.-Distorsiones de entrepiso del edificios Jalapa, en la dirección L*

		DISTORSIONES DIRECCIÓN L					
FECHA	EVENTO	SISTEMA			ESTRUCTURA		
		AZ-N11	N11-N6	N6-SC	AZ-N11	N11-N6	N6-SC
15/05/93	93-1	0.000150	0.000191	0.000097	0.000134	0.000169	0.000076
14/09/95	95-1	0.002829	0.003354	0.002454	0.002499	0.003328	0.002097
15/06/99	99-1	0.002130	0.001689	0.001467	0.001925	0.001581	0.001290
30/019/99	99-2	0.002169	0.002285	0.001671	0.001946	0.002146	0.001543
14/06/04	04-1	0.000496	0.000626	0.000389	0.000423	0.000555	0.000316

Las herramientas empleadas durante el desarrollo del presente trabajo han permitido manejar la información de registros de manera simultánea. Se han logrado generar reportes preliminares del estado estructural que han permitido evaluar de manera rápida su respuesta ante cada uno de los sismos involucrados. El formato de estos reportes se muestra en el Apéndice C de este trabajo. Para fines prácticos en el desarrollo de este capítulo se ha involucrado la parte que concierne a las funciones de transferencia de azotea y sótano, azotea y terreno, para las direcciones T y L y los cocientes espectrales entre esquinas opuestas para la determinación de las frecuencias de torsión.

Las frecuencias identificadas a continuación, son mostradas en las figuras 3.38 a 3.42, corresponden a los primeros tres modos de vibrar de la estructura para lo cual se empleó el cociente espectral (función de transferencia), entre azotea y terreno ( $AZ/CL$ ), este procedimiento se llevó a cabo para ambas direcciones.



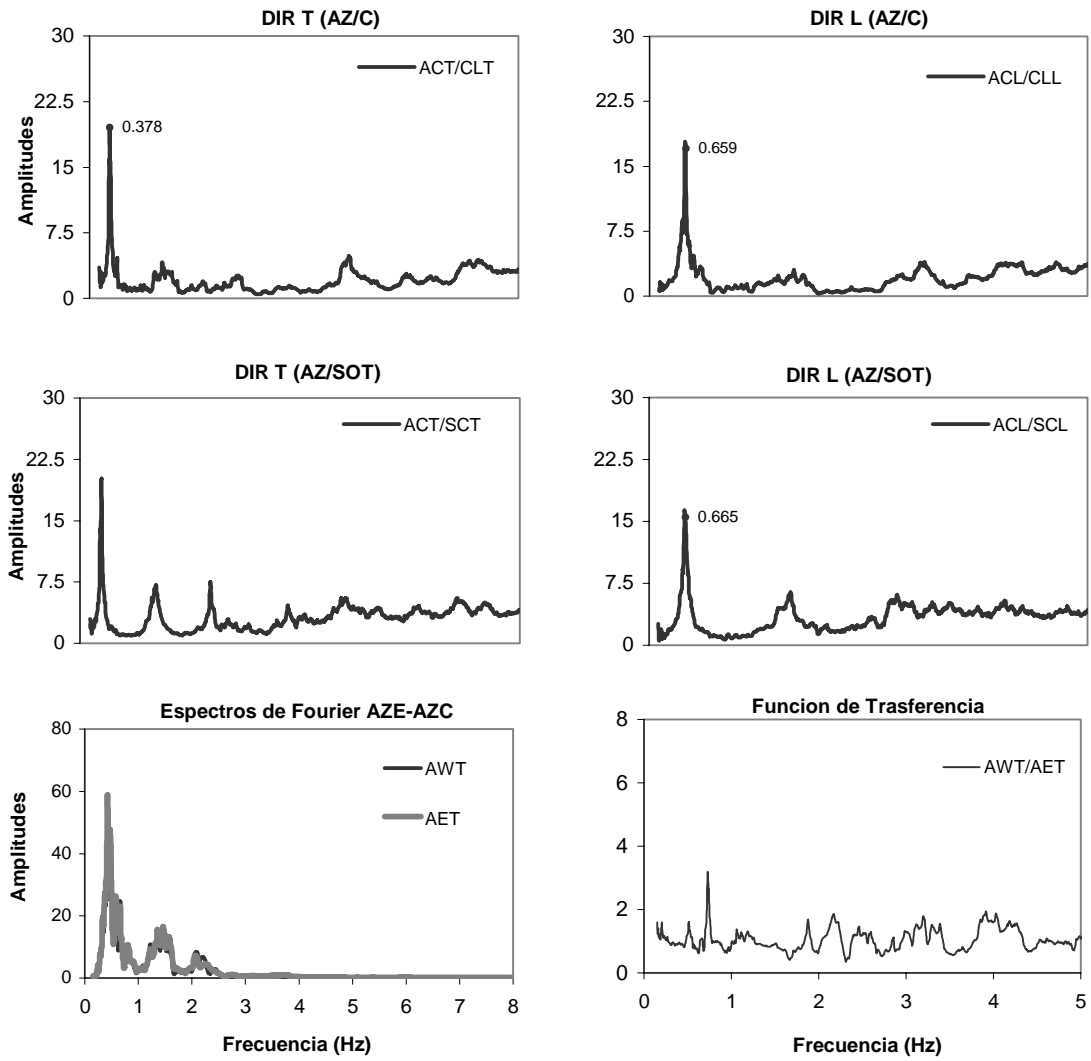


Figura 3.38.- Funciones de trasferencia para los registros de azotea (AZ), sótano (SOT), terreno (CL) y las esquinas oeste (AWT) y este (AET) en direcciones T y L para el evento 93-1, edificio Jalapa

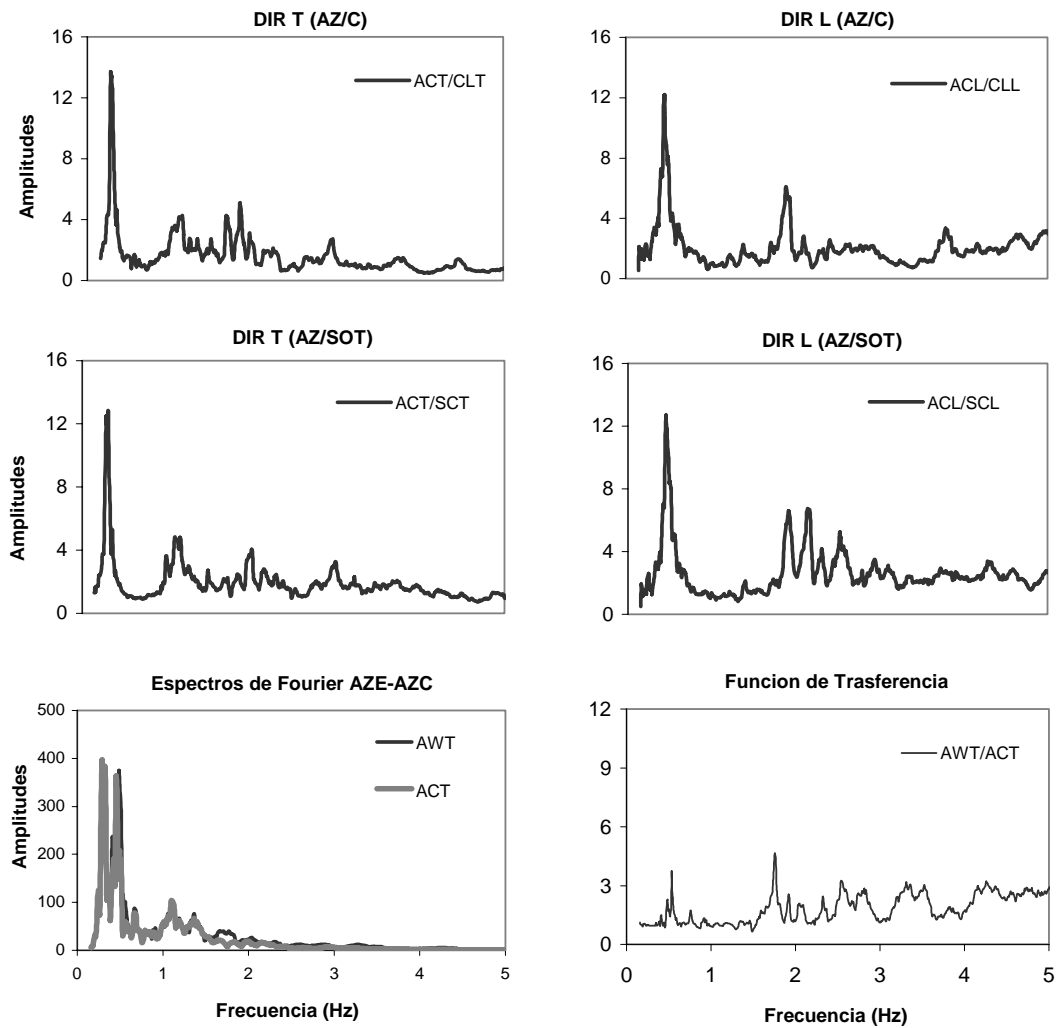


Figura 3.39.- Funciones de trasferencia para los registros de azotea (AZ), sótano (SOT), terreno (CL) y las esquinas oeste (AWT) y este (AET) en direcciones T y L para el evento 95-1, edificio Jalapa

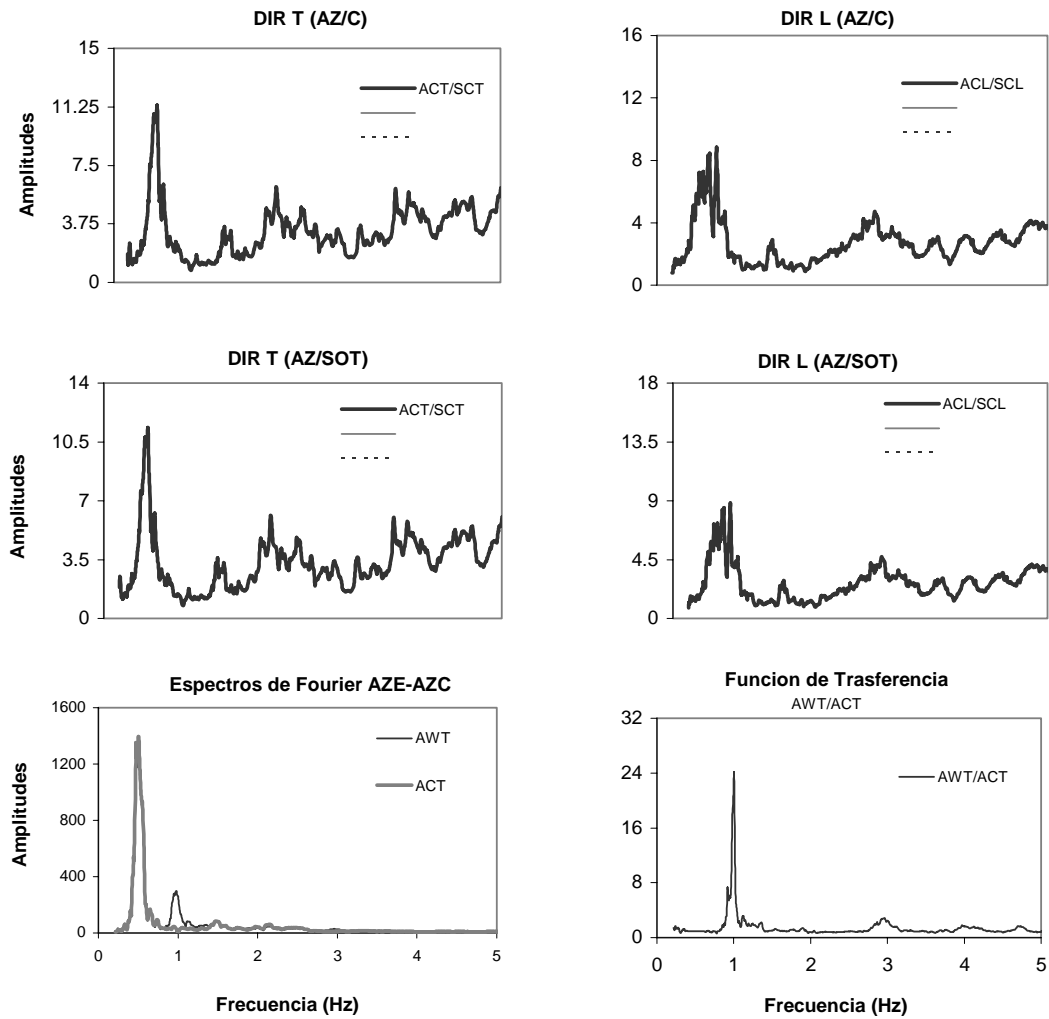


Figura 3.40.- Funciones de trasferencia para los registros de azotea (AZ), sótano (SOT), terreno (CL) y las esquinas oeste (AWT) y este (AET) en direcciones T y L para el evento 99-1, edificio Jalapa

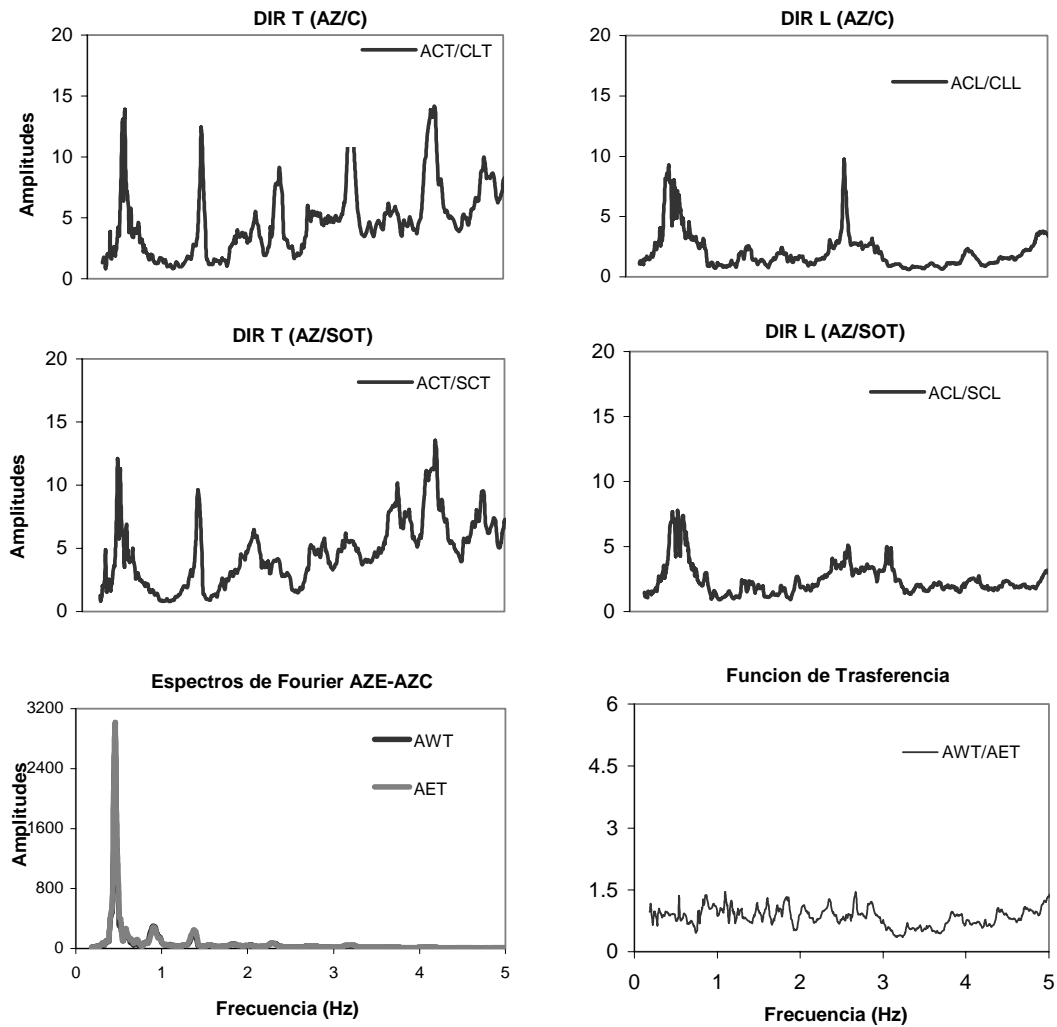


Figura 3.41.- Funciones de trasferencia para los registros de azotea (AZ), sótano (SOT), terreno (CL) y las esquinas oeste (AWT) y este (AET) en direcciones T y L para el evento 99-2, edificio Jalapa

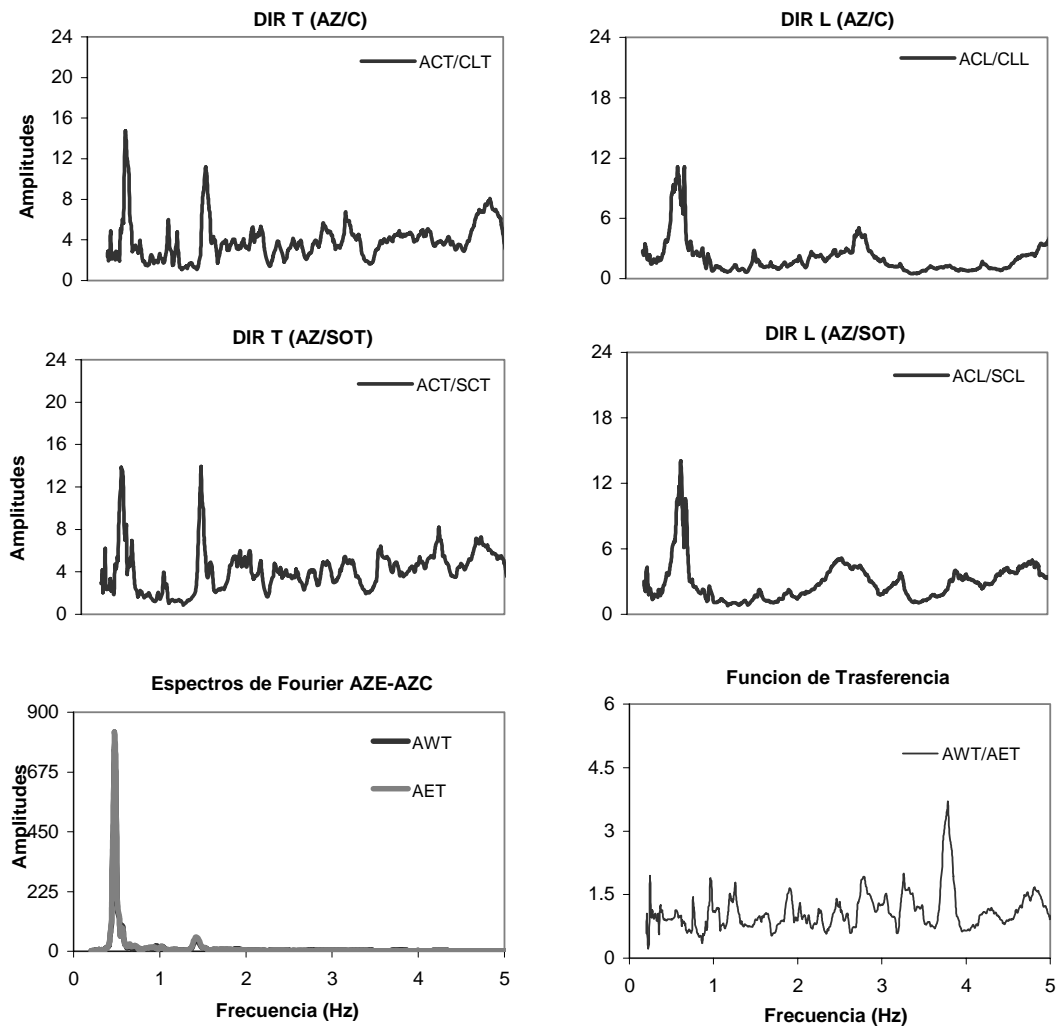


Figura 3.42.- Funciones de trasferencia para los registros de azotea (AZ), sótano (SOT), terreno (CL) y las esquinas oeste (AWT) y este (AET) en direcciones T y L para el evento 04-1, edificio Jalapa

**Tabla 3.14.- frecuencias en (Hz) y periodos en (s) correspondiente a los primeros modos de vibrar, en dirección T, L y torsión para el caso del edificio Jalapa**

EVENTO	MODO	DIRECCIÓN T		DIRECCIÓN L		TORSION	
		f (Hz)	T (s)	f (Hz)	T (s)	f (Hz)	T (s)
93-1	1	0.380	2.632	0.653-0.665	1.53-1.51	0.5-0.549	2-1.85
	2	1.25-1.58	0.8-0.63	2.64-2.69	0.378-0.371	1.86-1.95	0.53-0.51
	3	2.370	0.422	4.49-4.84	0.22-0.20	3.05-3.43	0.32-0.29
95-1	1	0.293	3.414	0.450	2.222	0.530	1.887
	2	1.116-1.165	0.89-0.85	1.930	0.518	1.757	0.569
	3	1.525-1.66	0.655-0.60	3.71-3.918	0.269-0.255	3.25-3.55	0.31-0.28
99-1	1	0.550	1.818	0.64-0.78	1.56-1.28	0.670	1.493
	2	1.44-1.52	0.69-0.65	2.75-2.83	0.36-0.35	1.930	0.518
	3	2.110	0.474	4.26-4.68	0.23-0.21	2.98-3.25	0.33-0.31
99-2	1	0.270	3.704	0.54-0.689	1.85-1.45	0.600	1.667
	2	1.379	0.725	2.45-2.65	0.41-0.37	1.390	0.719
	3	2.060	0.485	4.06-4.278	0.24-2.33	3.18-3.3	0.31-0.30
04-1	1	0.480	2.083	0.641	1.561	0.570	1.754
	2	1.410	0.709	2.48-2.72	0.40-0.367	1.39-1.45	0.72-0.69
	3	1.849-2.12	0.54-0.47	3.92-4.14	0.255-0.241	3.25-3.405	0.31-0.29

f (Hz) = frecuencias identificadas para los primeros modos de vibrar de la estructura  
 T (s)= periodos correspondientes a los primeros modos de vibrar

La tabla 3.42 muestra los resultados de frecuencias identificadas para los eventos 93-1, 95-1, 99-1, 99-2 y 04-1 para el edificio Jalapa. Los eventos 95-1 y 99-1, 99-2 y 04-1 se presentaron luego de la segunda rehabilitación hecha al edificio el 10 de diciembre de 1994, de tal forma que se puede apreciar un cambio en los intervalos de frecuencia provenientes del evento 93-1.

Para el evento 93-1 se observan frecuencias del orden de 0.38Hz (periodo de 2.63 segundos), para el primer modo en dirección T y de 0.653 a 0.665Hz (periodos de 1.053 a 1.52 segundos), para la dirección L, en cambio estas frecuencias para el evento 95-1, en las mismas componentes, son del orden de 0.29Hz para la dirección T y de 0.64 a 0.78 Hz para la dirección L (periodos de 3.45 y 1.56 a 1.28 segundos respectivamente).

Por otro lado, para el evento 99-1, se observan frecuencias del orden de 0.27 Hz (periodo de 3.7 segundos), para la dirección T y de 0.54 a 0.68Hz (periodos de 1.85 a 1.47 segundos), para la dirección L. para el evento 99-1, se observan frecuencias del orden de 0.27 Hz para la dirección T y de 0.54 a 0.68Hz para la dirección L (periodos de 3.70 y 1.85 a 1.47 segundos respectivamente).

Para el evento 04-1 se identificaron frecuencias de primer modo del orden de 0.48 y 0.641 Hz (periodos de 2.08 y 1.56 segundos), para las direcciones T y L respectivamente.

**3.5 EL CASO DEL EDIFICIO OASIS**

En las Figuras 3.43 a 3.45 se muestran las gráficas de resultados para los eventos 10-1, 02-1 y 04-1 concerniente a las historias en el tiempo para el edificio Oasis. Se ha empleado la metodología de operación propuesta, mediante rutinas de programación para conseguir los resultados que a continuación se muestran.

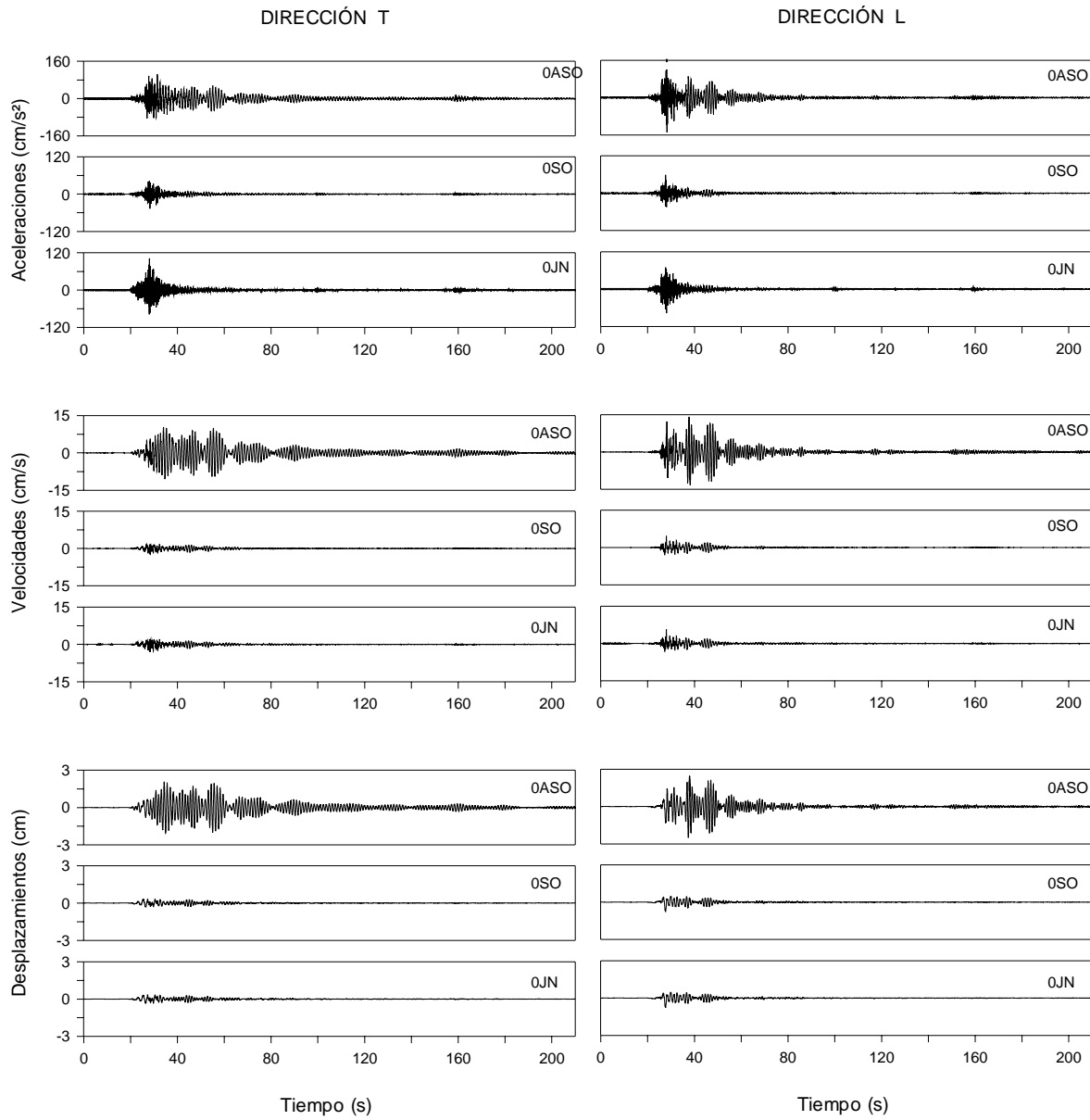


Figura 3.43.- Historia de aceleraciones, velocidades y desplazamientos para las componentes T y L del evento 01-I, edificio Oasis

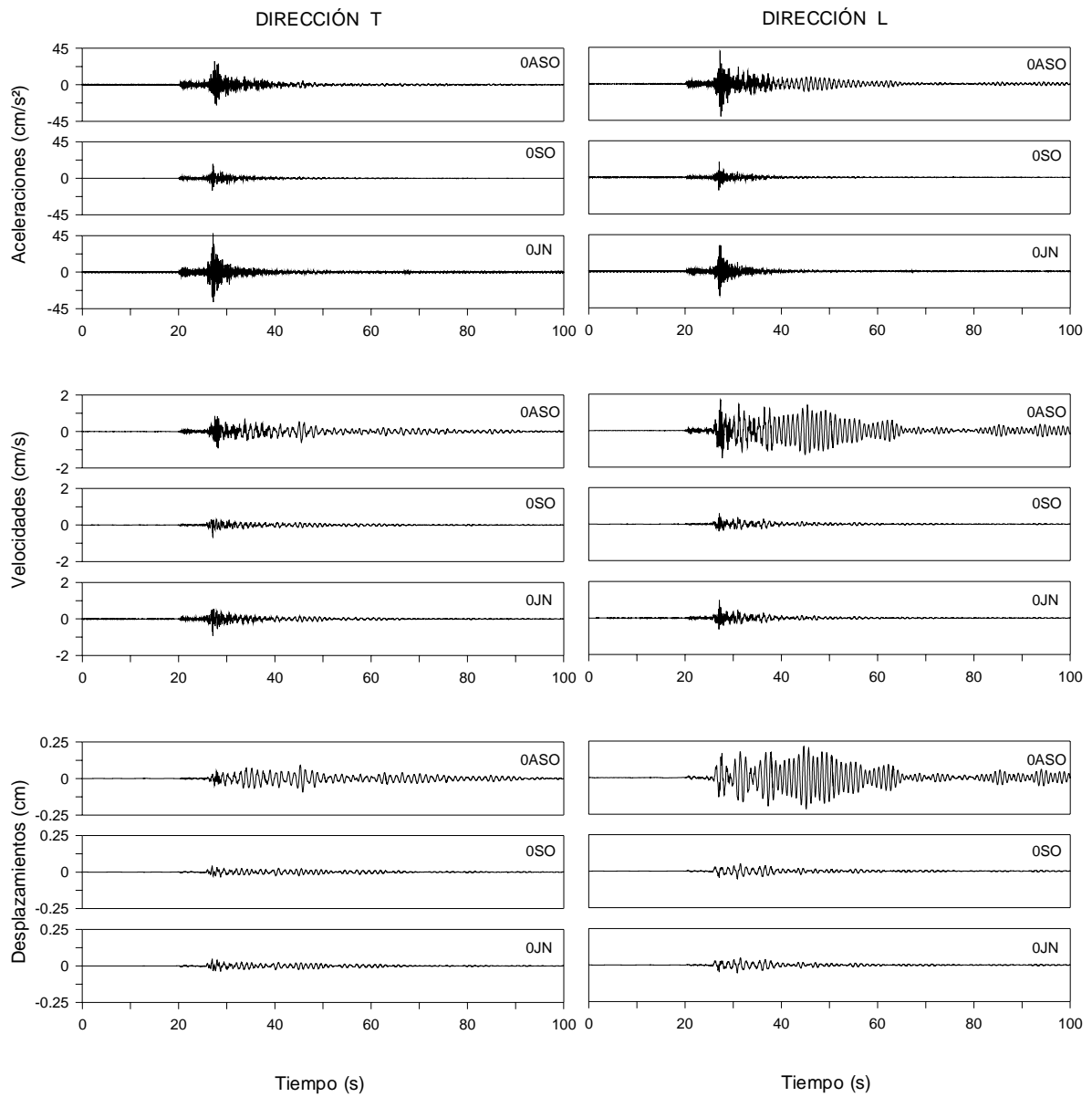
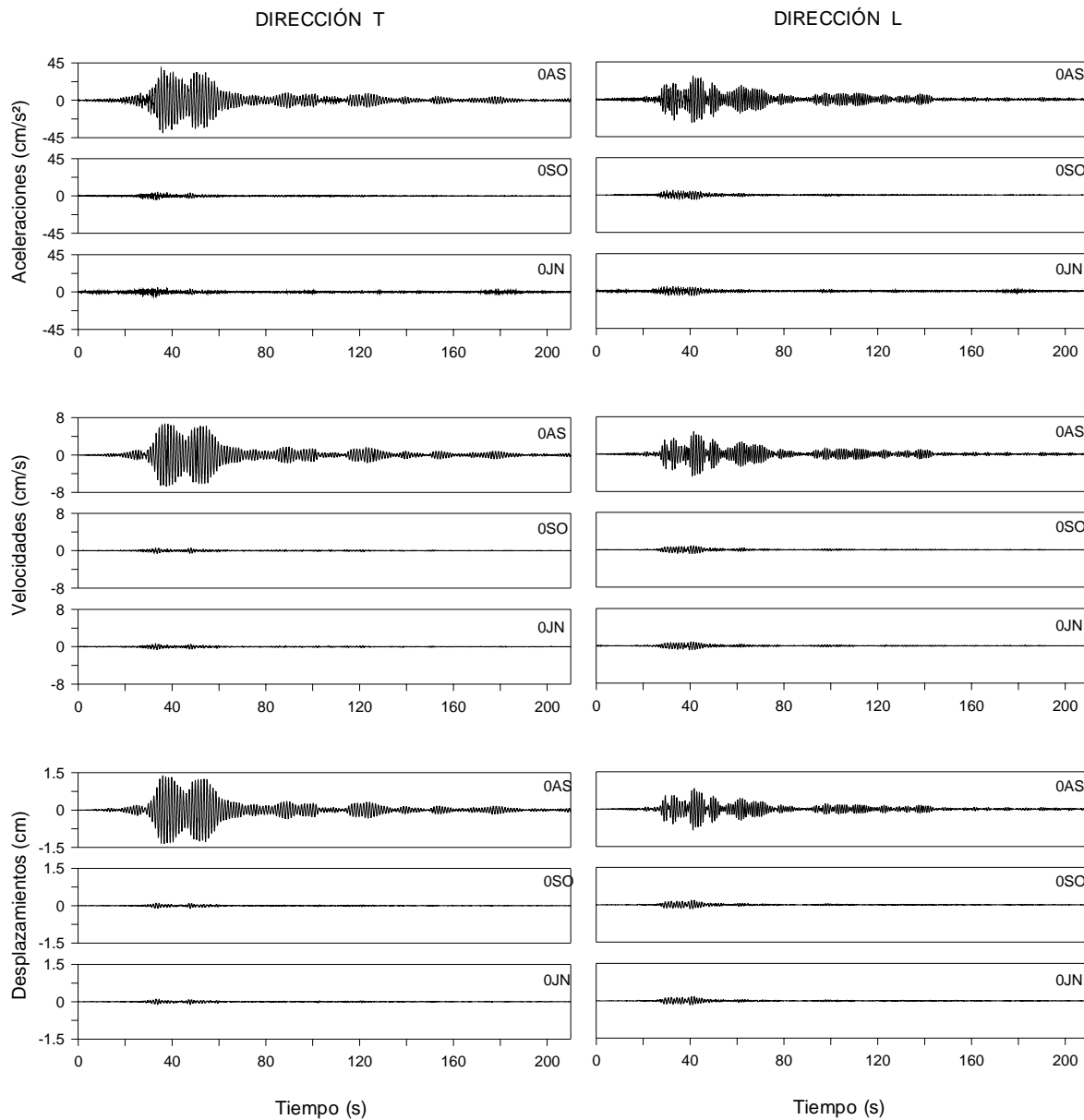


Figura 3.44.- Historia de aceleraciones, velocidades y desplazamientos para las componentes T y L del evento 02-1 edificio Oasis





*Figura 3.45.- Historias de aceleraciones, velocidades y desplazamientos, para las componentes T y L del evento 04-1, edificio Oasis*

De las figuras 3.43-3.45 a Los valores máximos que se registraron en el edificio Oasis, para los sismos estudiados, se identificaron en el evento 01-1 en dirección L, teniéndose valores de aceleración velocidad y desplazamiento del orden de 165.85 cm/s<sup>2</sup>, 14.13 cm/s y 2.51 cm, respectivamente, en azotea.

Las tablas 3.15 a 3.17 resumen los máximos resultados para el edificio Oasis en cada uno de los tres eventos evaluados en esta estructura, en este caso el máximo resultado en las historias de aceleración, velocidad y desplazamiento en azotea, sótano y terreno, son las registradas durante el evento 01-1.

**Tabla 3.15.- Respuestas máximas obtenidas en las estaciones de azotea, sótano y terreno durante el evento 01-1, edificio Oasis**

clave	Aceleraciones(maximas)-(cm/s <sup>2</sup> )			Velocidades(maximas)-(cm/s <sup>2</sup> )			Desplazamientos(maximas)-(cm/s <sup>2</sup> )		
	L	T	V	L	T	V	L	T	V
0AS	165.85	164.65	87.61	14.13	12.66	2.91	2.51	2.40	0.31
OSO	57.61	47.97	21.30	4.61	2.39	1.39	0.78	0.33	0.23
0JN	77.48	101.91	72.71	5.64	3.09	1.72	0.78	0.33	0.21

**Tabla 3.16.- Respuestas máximas obtenidas en las estaciones de azotea, sótano y terreno durante el evento 02-1, edificio Oasis**

clave	Aceleraciones(maximas)-(cm/s <sup>2</sup> )			Velocidades(maximas)-(cm/s <sup>2</sup> )			Desplazamientos(maximas)-(cm/s <sup>2</sup> )		
	L	T	V	L	T	V	L	T	V
0AS	40.49	32.76	29.67	1.69	2.39	0.64	0.21	0.43	0.04
OSO	19.38	19.25	9.83	0.58	0.69	0.19	0.05	0.04	0.03
0JN	32.15	47.75	23.55	0.98	0.92	0.33	0.05	0.05	0.02

**Tabla 3.17.- Respuestas máximas obtenidas en las estaciones de azotea, sótano y terreno durante el evento 04-1, edificio Oasis**

clave	Aceleraciones(maximas)-(cm/s <sup>2</sup> )			Velocidades(maximas)-(cm/s)			Desplazamientos(maximas)-(cm)		
	L	T	V	L	T	V	L	T	V
0AS	28.05	49.14	5.27	4.83	8.02	0.65	0.84	1.59	0.13
OSO	5.50	5.16	2.75	0.84	0.72	0.33	0.17	0.12	0.06
0JN	5.88	5.78	2.37	0.82	0.71	0.21	0.16	0.11	0.03

Se muestra en seguida los resultados gráficos de la descomposición del movimiento, para el caso del edificio Oasis (figuras 3.46 a 3.48). Como dato importante, el análisis se llevo a cabo de forma conjunta para las distorsiones del sistema y estructura, obteniendo los resultados de forma inmediata, de tal forma que el tiempo invertido se simplificó de manera notable.

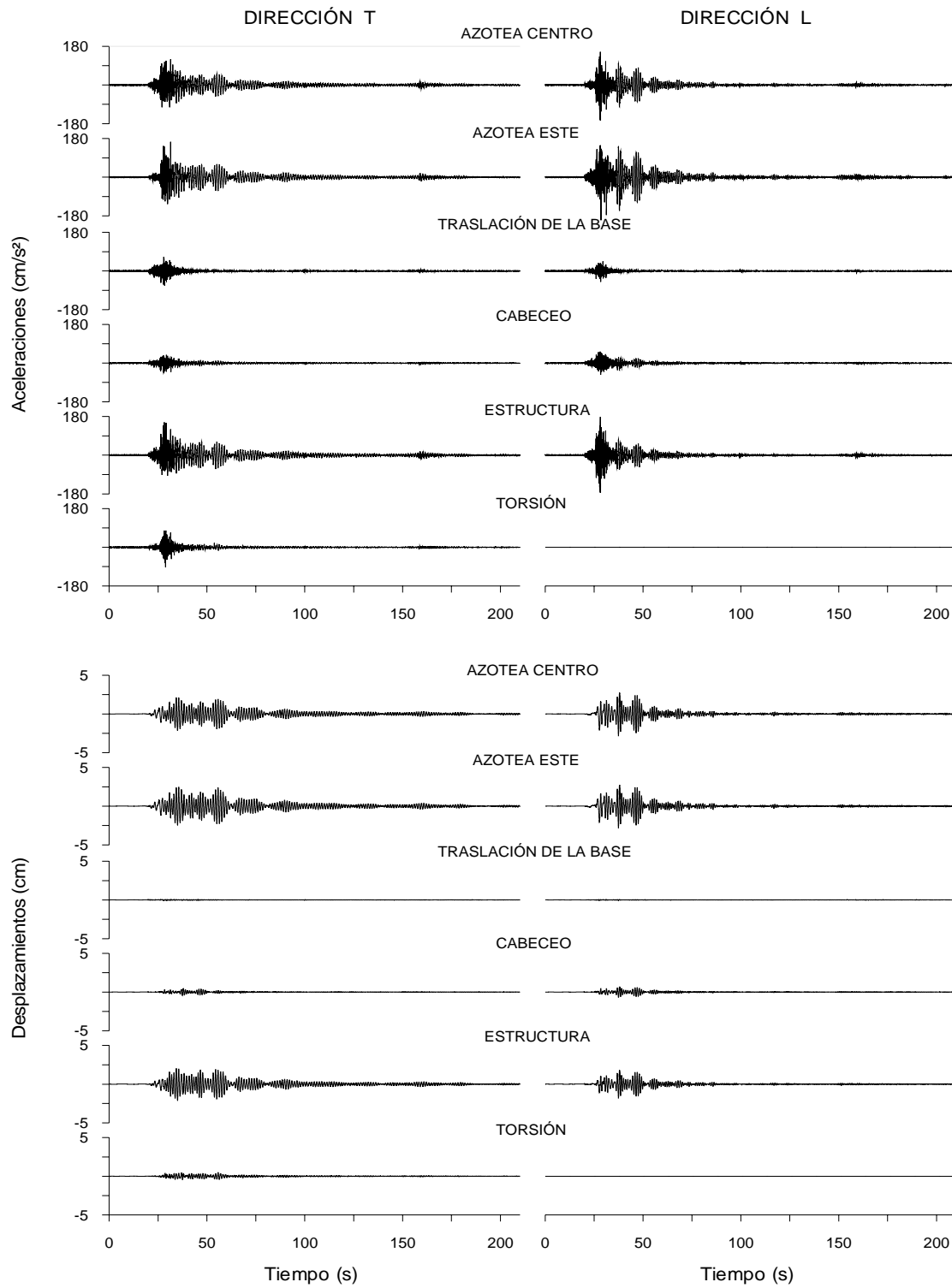


Figura 3.46.- Tipos de movimiento que componen la respuesta en azotea correspondientes a las direcciones T y L del evento 01-1, edificio Oasis

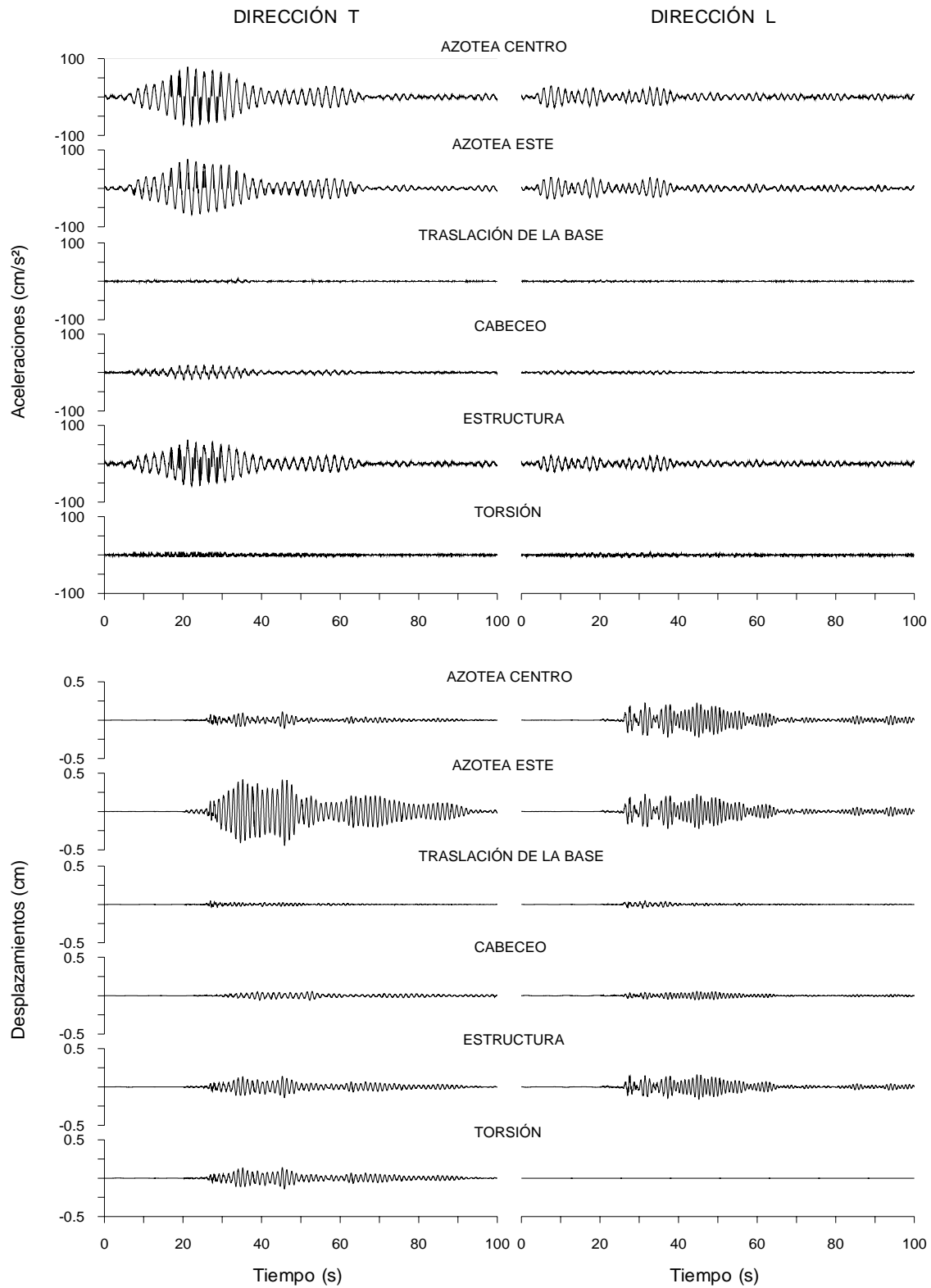


Figura 3.47.- Tipos de movimiento que componen la respuesta en aceleración en la azotea correspondientes a las direcciones T y L del evento 02-1, edificio Oasis

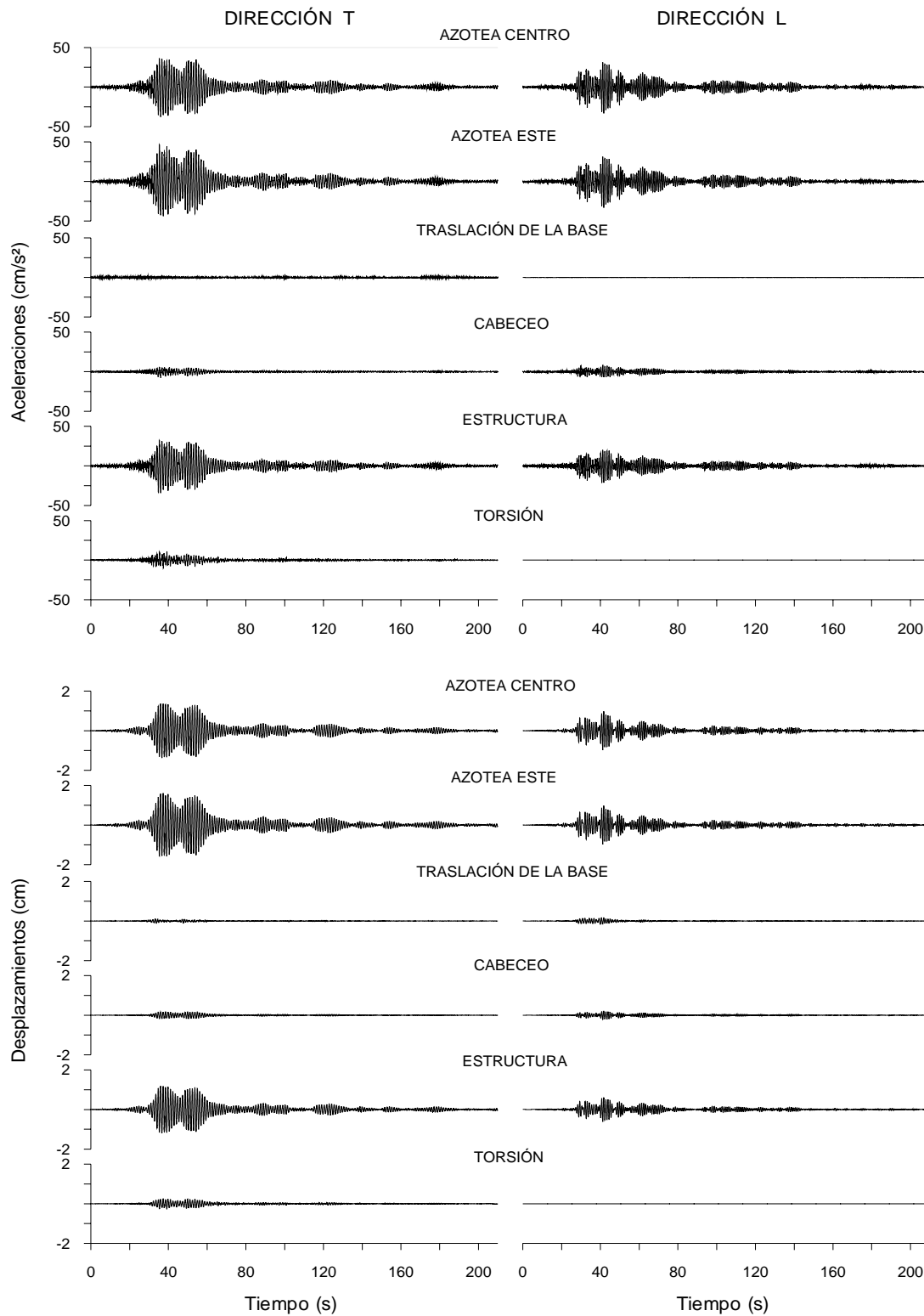


Figura 3.48.- Tipos de movimiento que corresponden a la respuesta en aceleración en la azotea correspondientes a las direcciones T y L del evento 04-1 edificio Oasis

Se observa que la mayoría de los movimientos que conforman la respuesta total de la estructura son en su mayoría poco perceptibles para los tres eventos, sin embargo la percepción de estos efectos en la señal, se va atenuando al diferenciar ciertos movimientos como el cabeceo, torsión, flexión y desplazamiento de la base, de los eventos 02-1 y 04-1 (figuras 3.47 y 3.48), en donde se observa una presencia prácticamente nula, no así en el caso del evento 01-1, de donde si se observa mayor participación del cabeceo y de la torsión en dirección T. Ya que no se cuenta con sensores longitudinales en azotea, no se ha estimado la respuesta de ésta en dicha dirección.

Para el evento 01-1 (figura 3.46), la respuesta del cabeceo, en aceleración y desplazamiento, son casi imperceptibles, de baja amplitud, para el caso de los eventos 02-1 y 04-1 en este edificio estas respuestas son significativamente menores para efectos prácticos podemos decir que no se presentan de manera importante en la estructura.

Así mismo para el caso de la torsión, las lecturas que se obtienen son prácticamente nulas, en la grafica 3.47 se puede apreciar que para el evento 02-1, en particular, estas lecturas son imperceptibles.

Se presentan a continuación las gráficas de las distorsiones de entrepiso del edificio Oasis para los eventos 01-1, 02-1, 04-1 (figuras 3.49 a 3.51).

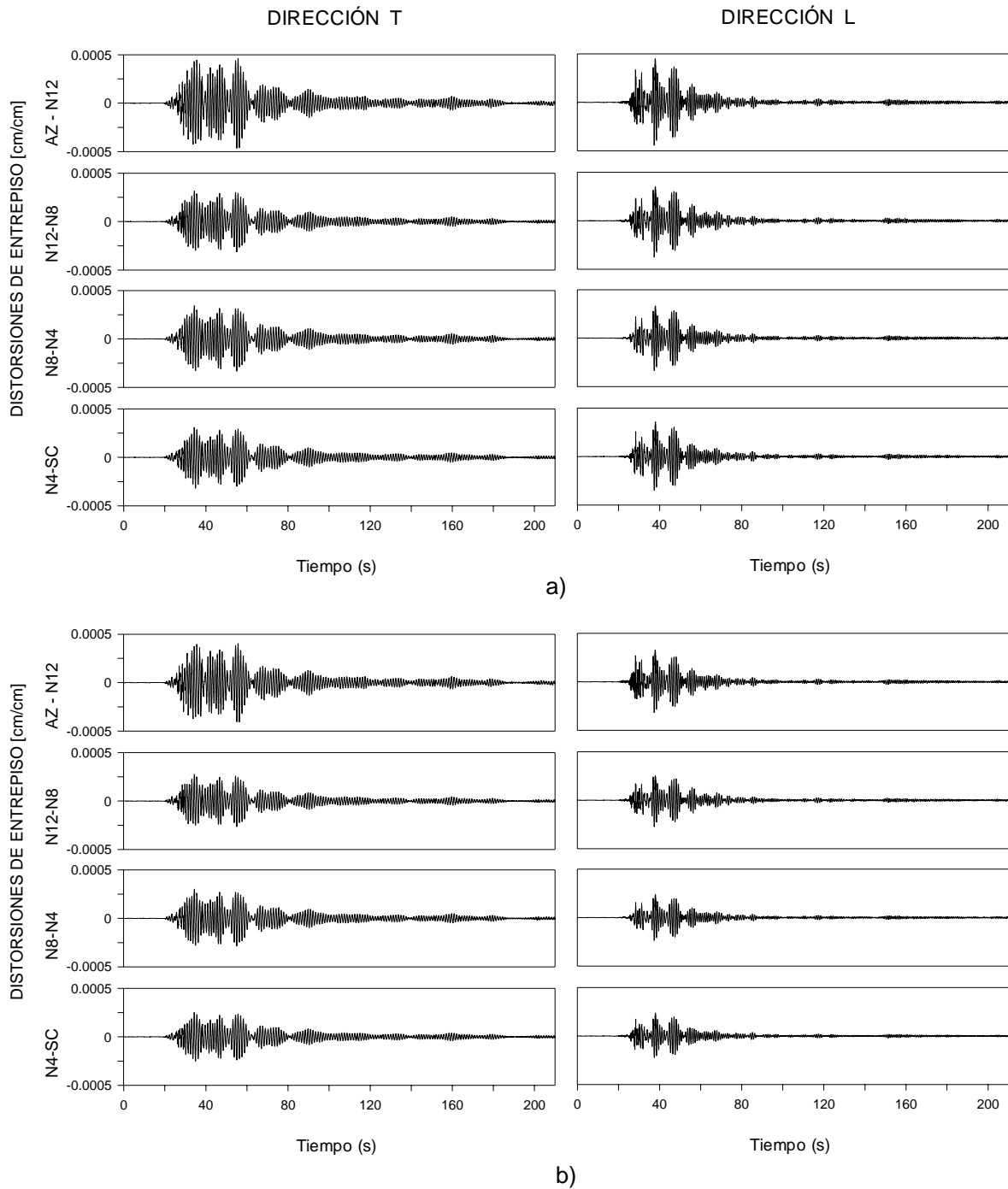


Figura 3.49.- Distorsiones de entrepiso calculadas considerando los efectos de ISE a) y considerando sólo la estructura con base rígida b), evento 01-1 edificio Oasis

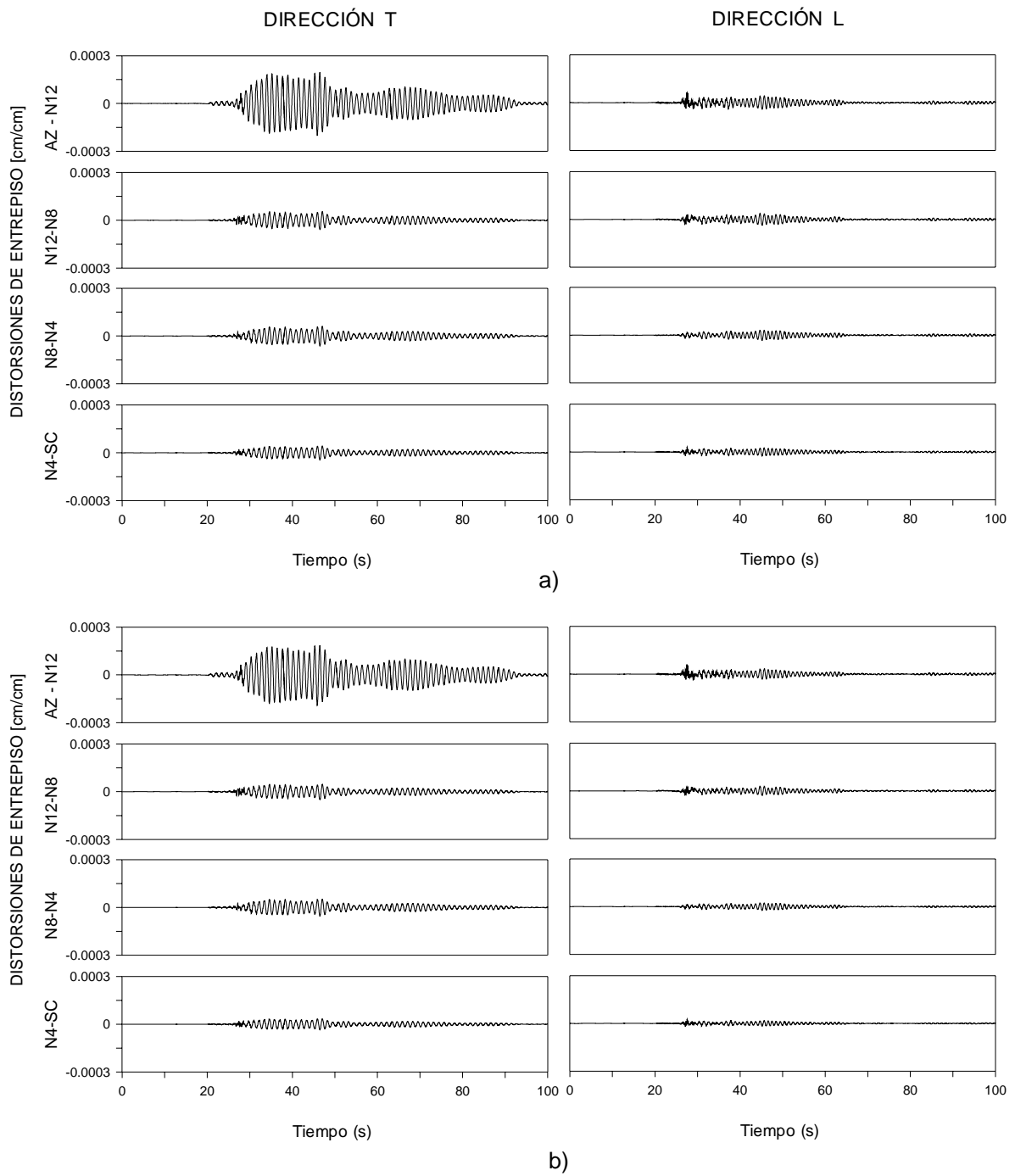
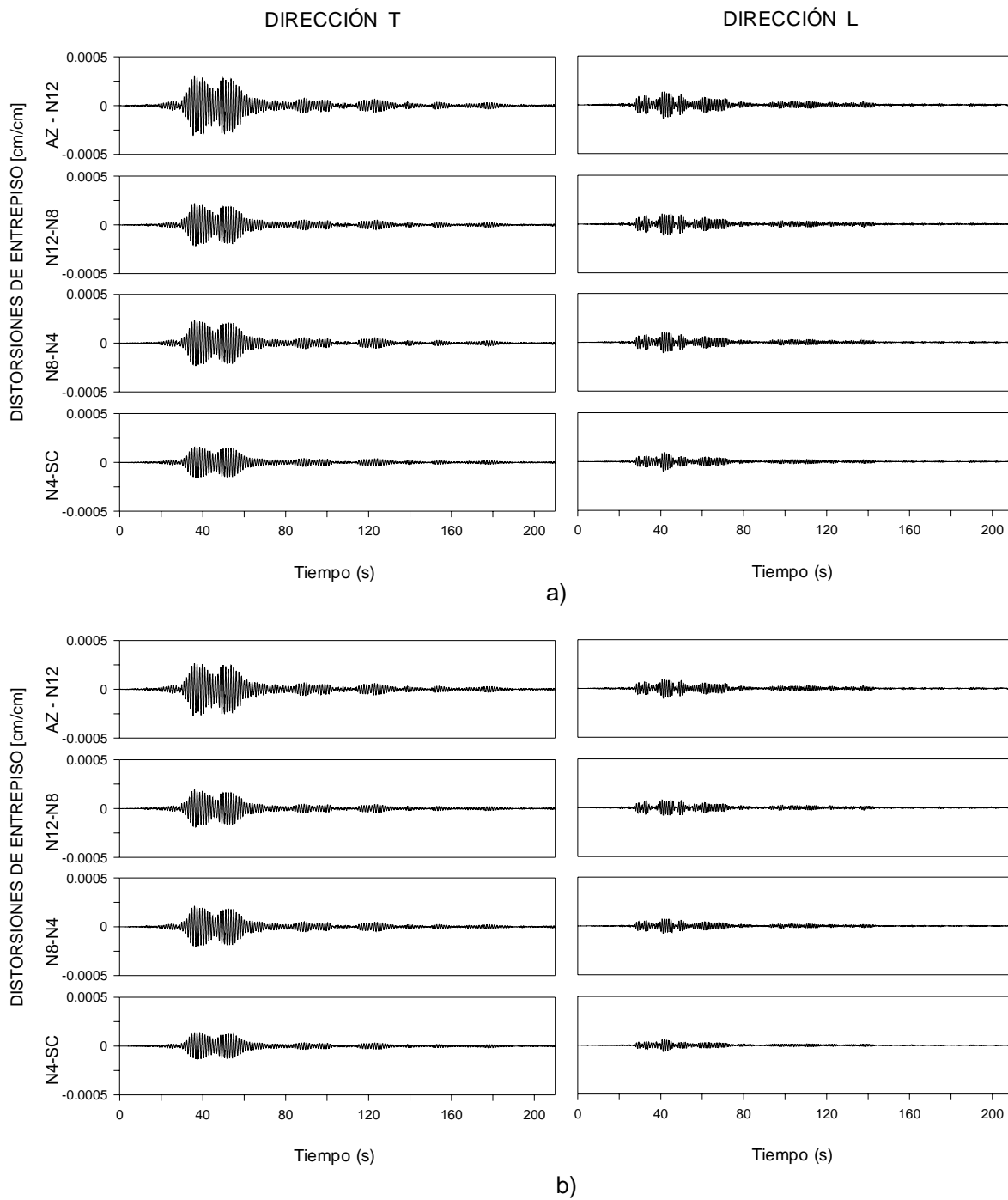


Figura 3.50.- Distorsiones de entrepiso calculadas considerando los efectos de ISE a) y considerando sólo la estructura con base rígida b), evento 02-1, edificio Oasis





*Figura 3.51.- Distorsiones de entrepiso calculadas considerando los efectos de ISE a) y considerando sólo la estructura con base rígida b), evento 04-1, edificio Oasis*

Para el caso del edificio, Oasis la tabla 3.18 y 3.19 muestran los resultados de las distorsiones máximas obtenidas entre los niveles instrumentados, en el evento 01-1 (figura 3.49), se observa que

las máximas distorsiones se encontraron entre los niveles de azotea y el nivel 8 (AZ-N12) en la dirección T y fue de 0.000463 [cm/cm].

Las distorsiones máximas obtenidas en los eventos 02-1 y 04-1 (figuras 3.50 y 3.51), en este edificio, considerando el sistema suelo-estructura, se ubicaron entre azotea y nivel 12 (AZ-N12), estas fueron de 0.0002 y 0.0003 respectivamente para la dirección T y de 0.000062 y 0.000138 para la dirección L.

No obstante, si se considera sólo la estructura empotrada con base rígida, se obtienen valores de 0.0047 para el evento 01-1 (figura 3.49), en dirección T y de 0.000324 para la dirección L. para los eventos 02-1 y 04-1 (figuras 3.50 y 3.51), donde los valores obtenidos son de 0.000050 y 0.000193 respectivamente en dirección T y de 0.000029 y 0.000078 en dirección L, para los eventos citados.

*Tabla 3.18.- Distorsiones de entrepiso del edificios Oasis, en la dirección T*

		DISTORSIONES DIRECCIÓN T							
FECHA	EVENTO	SISTEMA				ESTRUCTURA			
		AZ-N12	N12-N8	N8-N4	N4-SC	AZ-N12	N12-N8	N8-N4	N4-SC
08/10/01	01-1	0.000463	0.000317	0.000343	0.000312	0.000407	0.000272	0.000299	0.000250
17/02/02	02-1	0.000201	0.000058	0.000063	0.000045	0.000192	0.000050	0.000054	0.000036
14/06/04	04-1	0.000305	0.000219	0.000234	0.000159	0.000273	0.000193	0.000209	0.000134

*Tabla 3.19.- Distorsiones de entrepiso del edificios Oasis, en la dirección L*

		DISTORSIONES DIRECCIÓN L							
FECHA	EVENTO	SISTEMA				ESTRUCTURA			
		AZ-N12	N12-N8	N8-N4	N4-SC	AZ-N12	N12-N8	N8-N4	N4-SC
08/10/01	01-1	0.000445	0.000377	0.000338	0.000357	0.000324	0.000275	0.000235	0.000233
17/02/02	02-1	0.000062	0.000038	0.000032	0.000031	0.000059	0.000029	0.000024	0.000027
14/06/04	04-1	0.000138	0.000109	0.000107	0.000097	0.000098	0.000078	0.000074	0.000064

A continuación se presentan gráficas de funciones de transferencia entre azotea, sótano y terreno para las direcciones T y L, de las cuales se han identificado frecuencias y periodos fundamentales para los primeros tres modos de vibrar de la estructura (figuras 3.52 a 3.54).

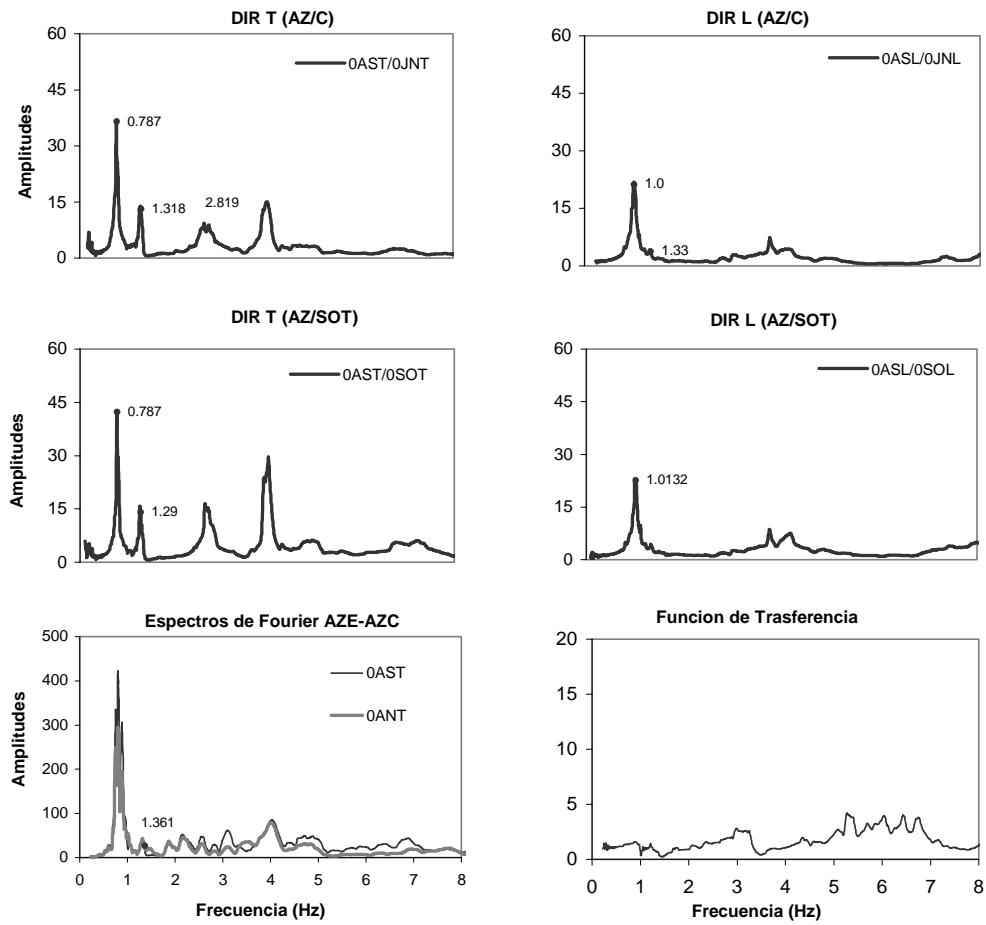


Figura 3.52.- Funciones de transferencia para los registros de azotea (0AZ), sótano (0SOT), terreno (0JL) y las esquinas oeste (0AST) y norte (0ANT) en direcciones T y L para el evento 01-1, edificio Oasis

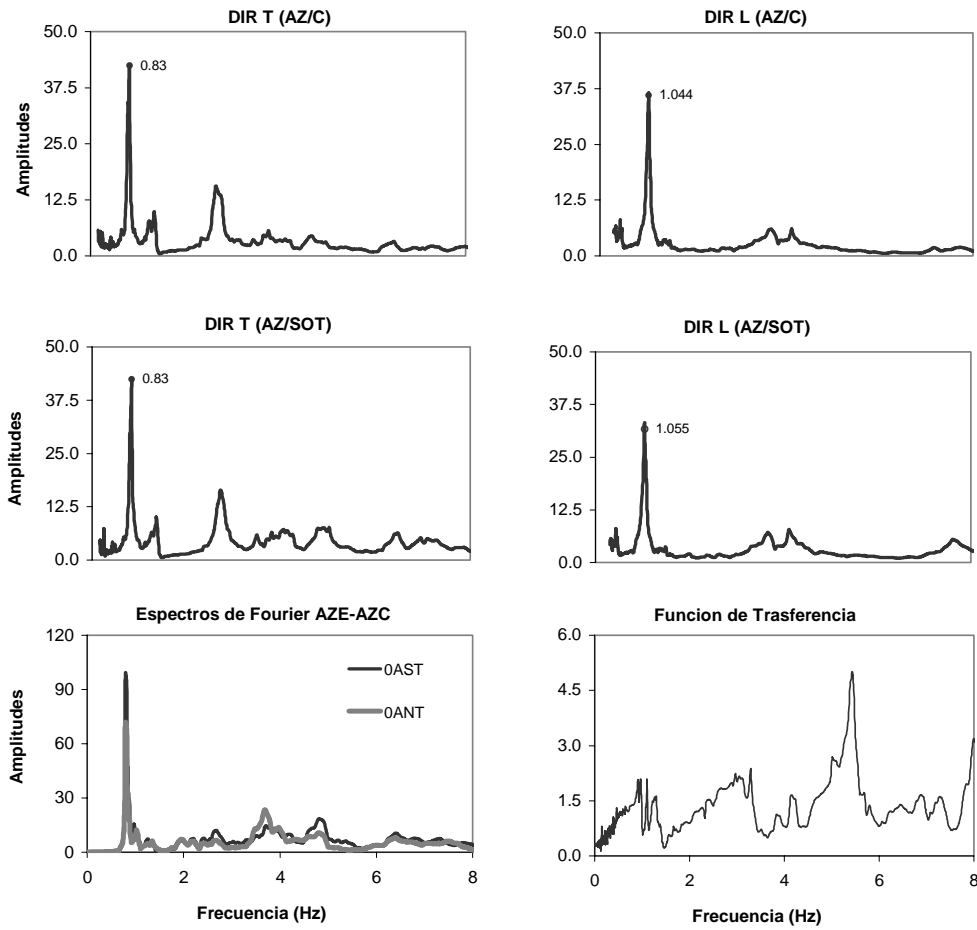


Figura 3.53.- Funciones de trasferencia para los registros de azotea (0AZ), sótano (0SOT), terreno (0JL) y las esquinas oeste (0AST) y norte (0ANT) en direcciones T y L para el evento 02-1, edificio Oasis

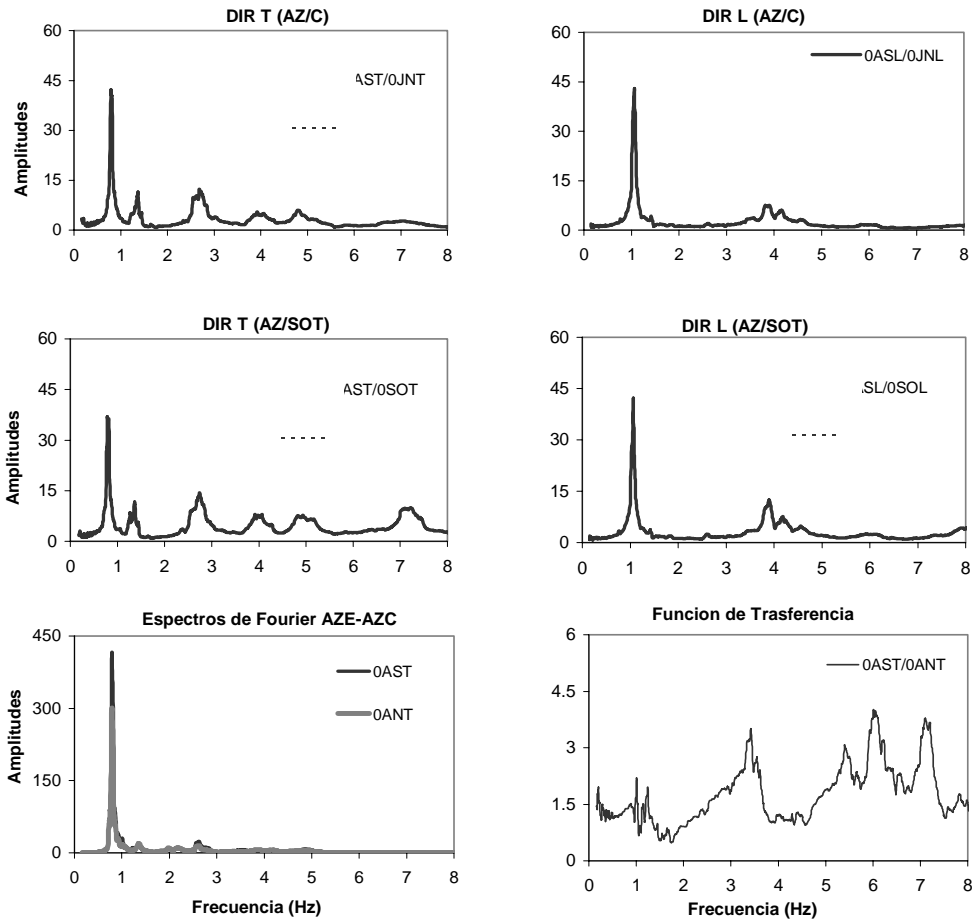


Figura 3.54.- Funciones de transferencia para los registros de azotea (0AZ), sótano (0SOT), terreno (0JL) y las esquinas oeste (0AST) y norte (0ANT) en direcciones T y L para el evento 04-1, edificio Oasis

En las figuras 3.52 y 3.53 se observan las mayores lecturas de frecuencias fundamentales para el primer modo de la estructura en las direcciones T y L, siendo estas de 0.78 y 0.019 Hz (periodos de 1.27 y 0.98 segundos respectivamente), para el evento 01-1 (figura 3.52), y de 0.83 y 1.05 Hz (periodos de 1.21 y 0.26 segundos respectivamente), para el evento 02-1 (figura 3.53), en las direcciones T y L. En el caso del evento 04-1 (figura 3.54), las lecturas de los tres primeros modos, son intermedias en comparación con las lecturas de los eventos citados siendo de 0.81 y 1.06 Hz (periodos de 1.22 y 0.94 segundos), en las direcciones T y L.

La tabla 3.20 resume los resultados de frecuencias y periodos estimados para los eventos 01-1, 02-1 y 04-1 para el caso del edificio Oasis. En este caso se apreció durante el análisis de frecuencias que estas se presentan en un intervalo mayor para esta estructura, mismas que no varían en gran medida, es decir, el intervalo de identificación es prácticamente el mismo.

**Tabla 3.20.- frecuencias en (Hz) y periodos en (s) correspondiente a los primeros modos de vibrar, en dirección T, L y torsión para el caso del edificio Oasis**

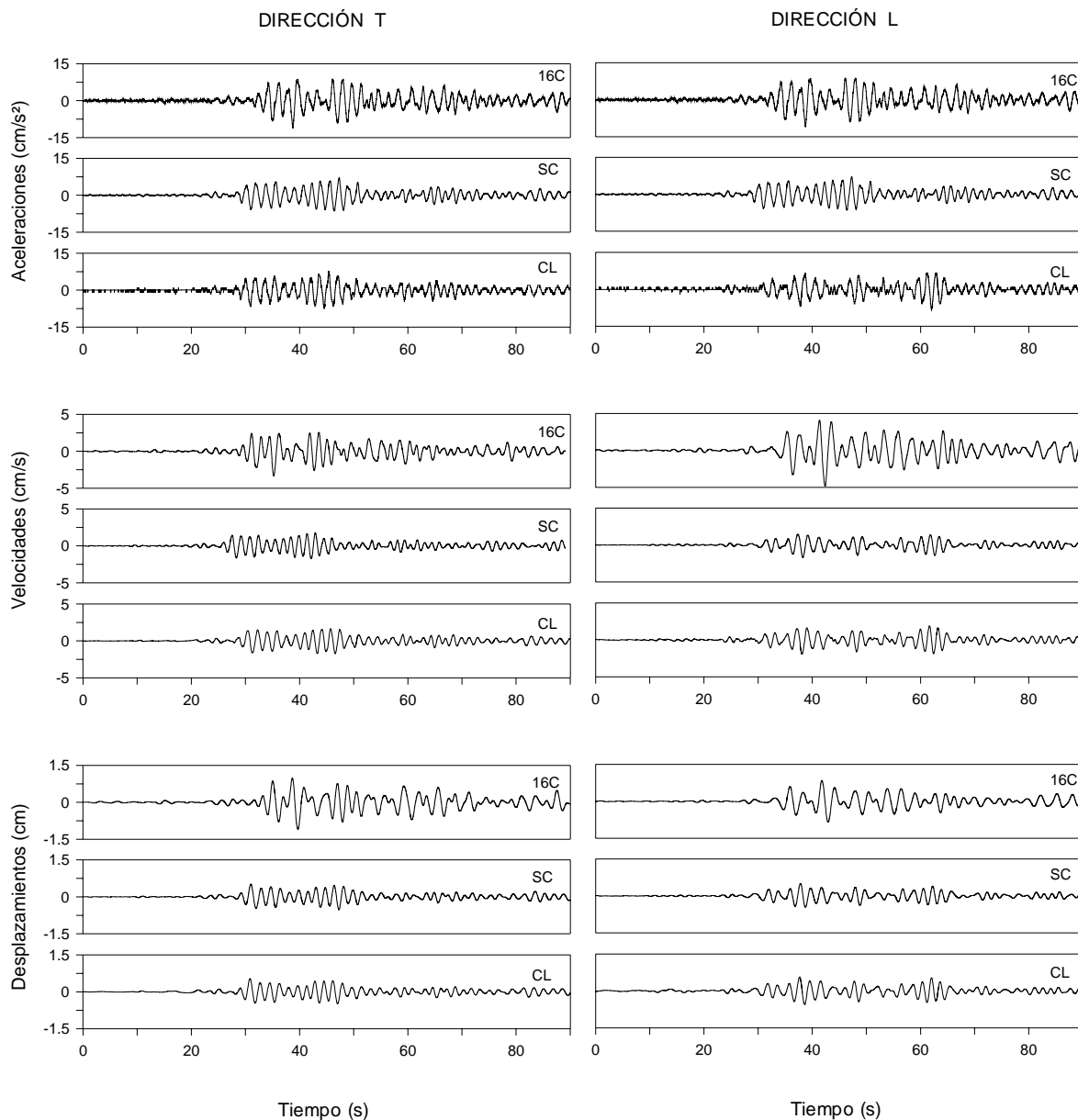
EVENTO	MODO	DIRECCIÓN T		DIRECCIÓN L		TORSION	
		f (Hz)	T (s)	f (Hz)	T (s)	f (Hz)	T (s)
01-1	1	0.787	1.271	1.019	0.981	1.361	0.735
	2	2.819	0.355	3.772	0.265	3.97-4.15	0.251-0.24
	3	4.07-4.089	0.245-0.244	8.08-8.39	0.123-0.119	6.3781-6.549	0.157-0.152
02-1	1	0.830	1.205	1.055	0.948	1.27-1.35498	0.78-0.738
	2	2.7-2.81	0.37-0.356	3.74-4.14	0.26-0.241	3.92-4.235	0.255-0.236
	3	3.802-4.27	0.26-0.234	7.75-8.12	0.129-0.123	6.38-7.098	0.156-0.14
04-1	1	0.818	1.223	1.060	0.943	1.2268-1.4526	0.815-0.688
	2	2.69-2.86	0.37-0.349	3.95-3.98	0.253-0.251	3.9-4.1565	0.256-0.24
	3	4.04-4.3	0.247-0.232	8.05-8.72	0.124-0.114	5.877-6.5979	0.17-0.151

f (Hz) = frecuencias identificadas para los primeros modos de vibrar de la estructura

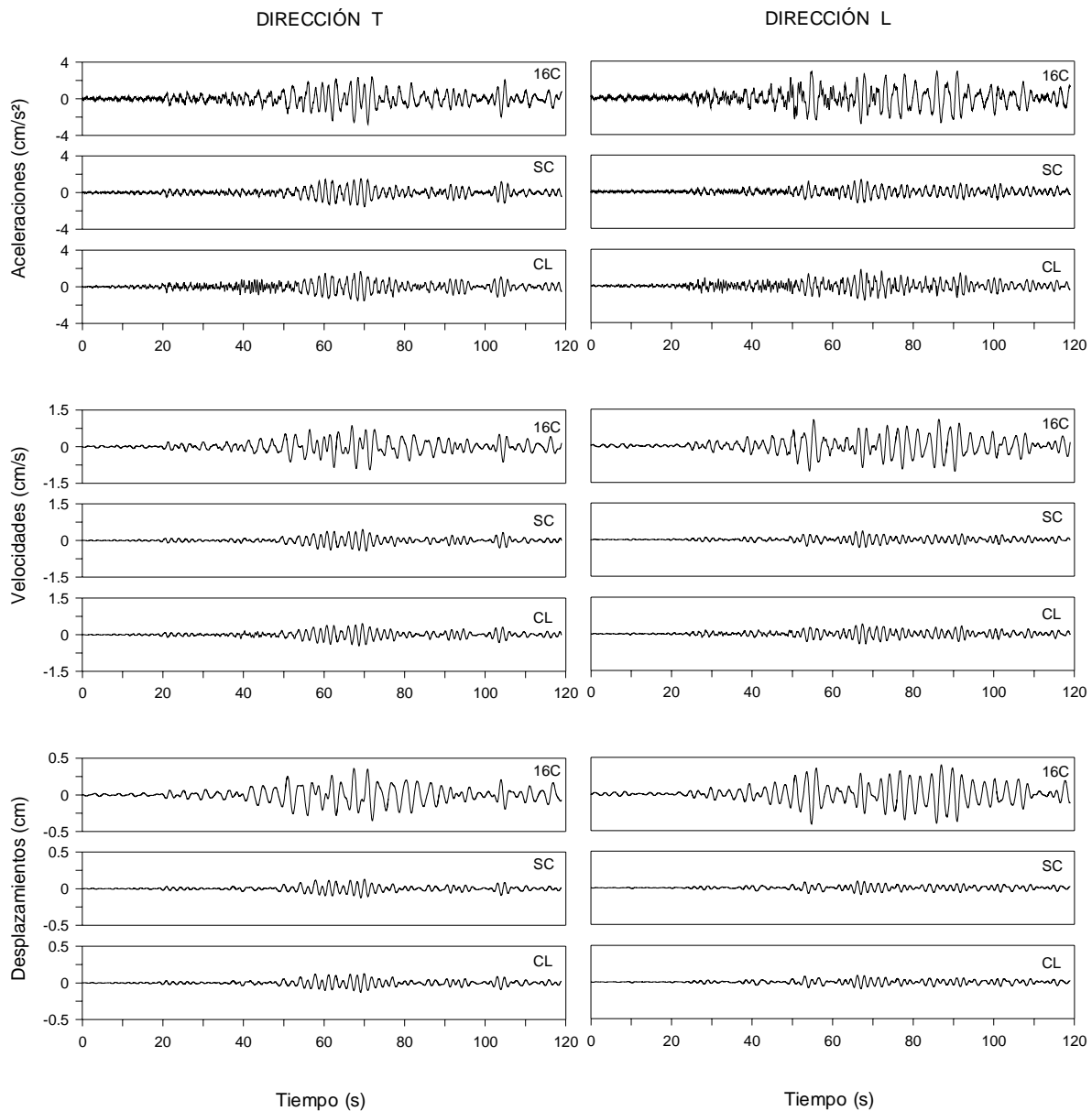
T (s)= periodos correspondientes a los primeros modos de vibrar

### 3.6 EL CASO DEL EDIFICIO TELECOMM

Para este edificio se ha obtenido la información concerniente a los eventos 04-1 y 04-2 el primero de los cuales se registro bajo una instrumentación provisional, contando con sensores en azotea centro, sótano centro y terreno, más adelante se da lugar a la alternativa a seguir para este evento en particular. Las figuras 3.55 a 3.56 contienen las gráficas elaboradas con la información de los registros de aceleración, velocidad y desplazamiento de los eventos mencionados.



**Figura 3.55.- Historia de aceleraciones, velocidades y desplazamientos para las componentes T y L del evento 04-1, edificio Telecomm**



**Figura 3.56.- Historia de aceleraciones, velocidades y desplazamientos para las componentes T y L del evento 04-2, edificio Telecomm**

Las tablas 3.21 y 3.22 contienen la información obtenida para los eventos 04-1 y 04-2 proveniente del edificio Telecomm, en las cuales se logró obtener la información concerniente a la respuesta máxima en aceleración, velocidad y desplazamiento en el evento 04-2 (figura 3.56), estas lecturas son del orden de 2.80cm/s<sup>2</sup> en aceleración, 1.07cm/s en velocidad y 0.41cm en desplazamiento para la dirección L.



**Tabla 3.21.- Respuestas máximas obtenidas en las estaciones de azotea, sótano y terreno en el edificio Telecomm durante el evento 04-2**

clave	Aceleraciones(maximas)-(cm/s <sup>2</sup> )			Velocidades(maximas)-(cm/s)			Desplazamientos(maximas)-(cm)		
	L	T	V	L	T	V	L	T	V
16C	2.80	2.36		1.07	0.85		0.41	0.27	
CL	1.32	1.47	0.60	0.32	0.39	0.07	0.09	0.10	0.02
SC	1.15	1.29		0.22	0.37		0.08	0.12	

**Tabla 3.22.- Aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos absolutos registrados en el edificio Telecomm durante el evento 04-1**

	Aceleraciones(maximas)-(cm/s <sup>2</sup> )			Velocidades(maximas)-(cm/s <sup>2</sup> )			Desplazamientos(maximas)-(cm/s <sup>2</sup> )		
	L	T	V	L	T	V	L	T	V
16C	1.35	1.16	0.98	0.27	0.21	0.06	0.09	0.10	0.01
SC	1.00	1.41	0.49	0.21	0.33	0.05	0.06	0.08	0.01
CL	8.76	7.73	4.02	1.92	1.73	0.75	0.56	0.53	0.21

Ahora se muestran las gráficas correspondientes a los movimientos que describen la respuesta total de la estructura en azotea para el evento 04-2(figura 3.57). El evento 04-1 no se realizó la descomposición del moviendo ya que se trataba de una instrumentación provisional con tres sensores triaxiales como ya se ha mencionado.

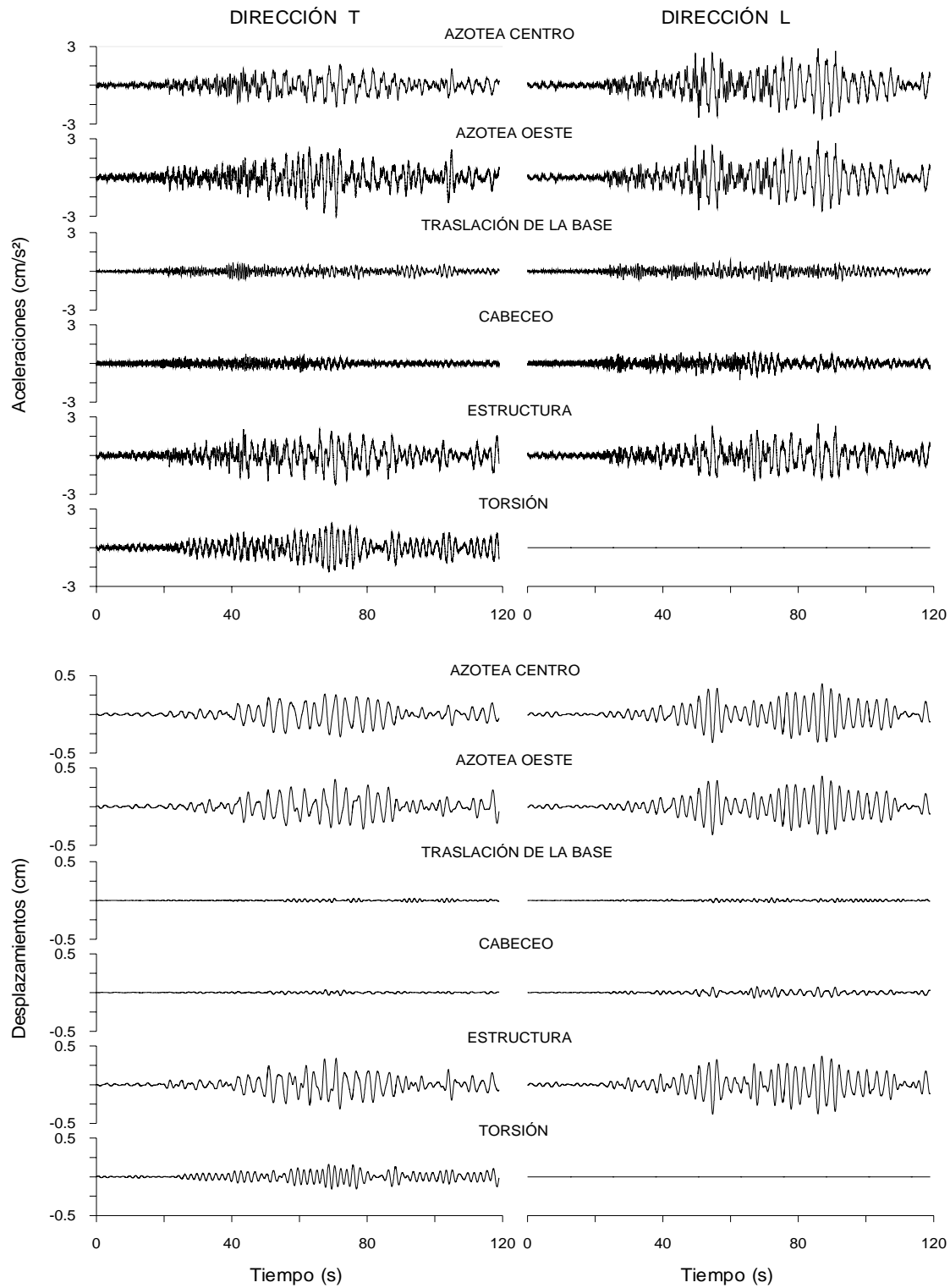


Figura 3.57.- Tipos de movimiento que componen la respuesta en aceleraciones en la azotea correspondientes a las direcciones T y L del evento 04-2, edificio Telecomm

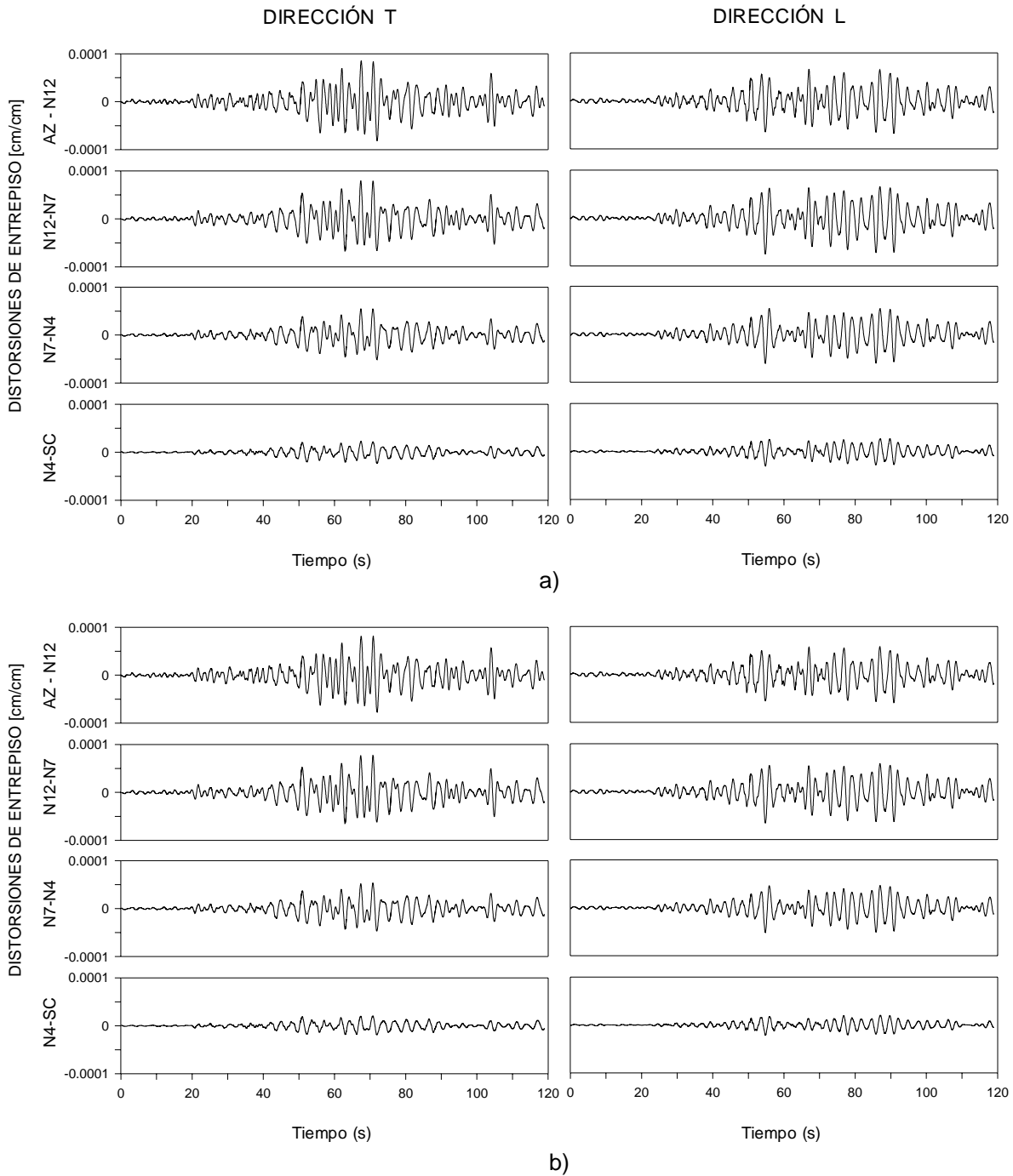


Figura 3.58.- Distorsiones de entrepiso calculadas considerando los efectos de ISE a) y considerando sólo la estructura con base rígida b), evento 04-2, edificio Telecom.

En la figura 3.58 se observa que las distorsiones obtenidas, tomando en cuenta sólo a la estructura y luego al sistema completo, son similares siendo las máximas las obtenidas para el último entrepiso dirección T y del orden de 0.000085 para el sistema y de 0.000081 únicamente para la estructura, como se resume en la tablas 3.23 y 3.24 para el resto de los entrepisos inferiores.

Tabla 3.23.-Distorsiones de entrepiso del edificios Telecomm, en la dirección T

		DISTORSIONES DIRECCIÓN T							
FECHA	EVENTO	SISTEMA				ESTRUCTURA			
		AZ-N12	N12-N7	N7-N3	N3-SC	AZ-N12	N12-N7	N7-N3	N3-SC
18/08/04	04-2	0.000085	0.000079	0.000055	0.000023	0.000081	0.000077	0.000053	0.000020
		AZ-SC				AZ-SC			
14/06/04	04-1	0.001918				---	---	---	---

Tabla 3.24.- Distorsiones de entrepiso del edificios Telecomm, en la dirección L

		DISTORSIONES DIRECCIÓN L							
FECHA	EVENTO	SISTEMA				ESTRUCTURA			
		AZ-N12	N12-N7	N7-N3	N3-SC	AZ-N12	N12-N7	N7-N3	N3-SC
18/08/04	04-2	0.000068	0.000075	0.000061	0.000031	0.000059	0.000066	0.000052	0.000022
		AZ-SC				AZ-SC			
14/06/04	04-1	0.001709				---	---	---	---

Se puede observar que las máximas distorsiones se obtuvieron en la dirección T, siendo de 0.000085 y de 0.000068 para la dirección L (tabla 3.23), para el evento 04-2 (figura 3.58). En cambio para el evento 04-1 se observan valores máximos de 0.0019 y 0.0017 para las direcciones T y L respectivamente (tablas 3.23 y 3.24).

Ahora de se muestran enseguida las gráficas de las funciones de trasferencia, así como la identificación de las frecuencias naturales de los primeros tres modos en la estructura.

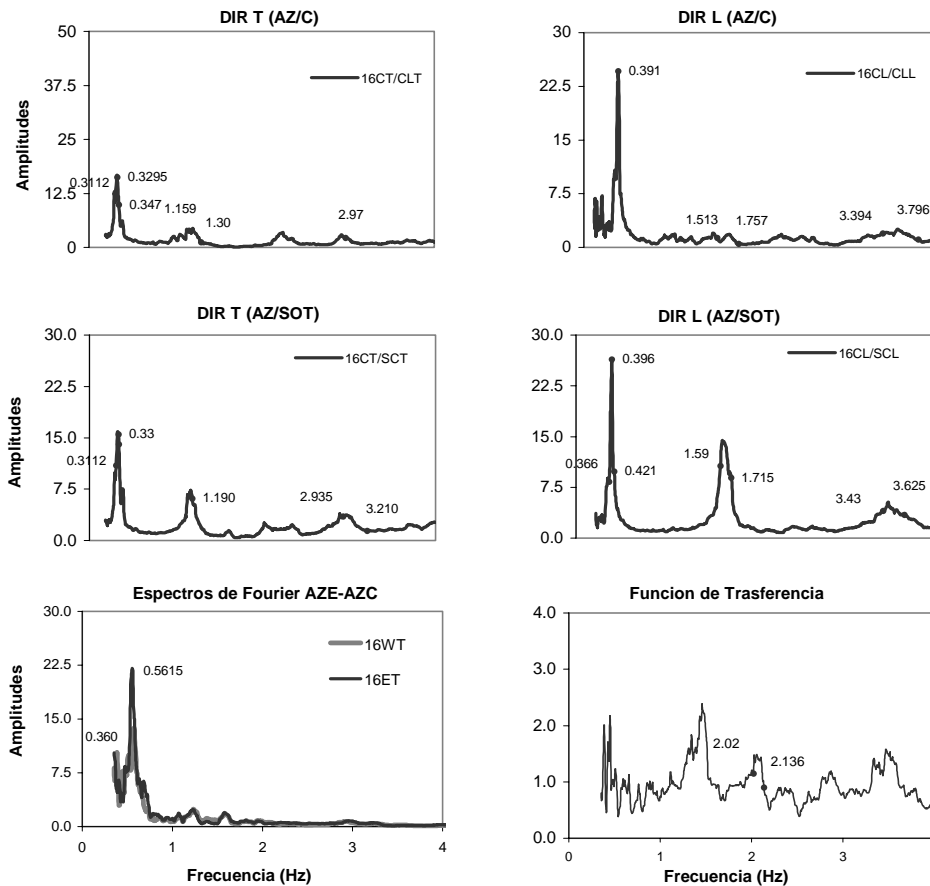


Figura 3.59.- Funciones de trasferencia para los registros de azotea (16), sótano (SOT), terreno (CL) y las esquinas oeste (16WT) y este (16ET) en direcciones T y L para el evento 04-2, edificio Telecomm

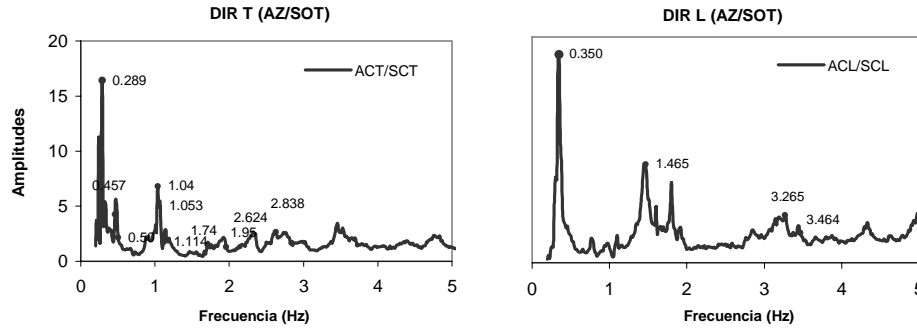


Figura 3.60.- Funciones de trasferencia para los registros de azotea (AC), sótano (SCT), en las direcciones T y L para el evento 04-1 del edificio Telecomm con instrumentación provisional, por lo que ha adoptado esta convención en particular.

Las figuras 3.59 y 3.60 muestran las frecuencias que se lograron identificar para los eventos 04-2 y 04-1, en ambos casos las frecuencias fundamentales del primer momo para las direcciones T y L fueron de 0.29 y de 0.35 Hz (periodos de 3.45 y de 2.85 segundos) para el evento 04-1 y de 0.311-0.33 y 0.39Hz (periodos de 3.21 a 3.03 y 2.56 segundos), para el evento 04-2 en las direcciones T y L, respectivamente. Estos resultados se muestran en la tabla 3.25 para los tres primeros modos.

En la tabla 3.25 se resume el resto de los resultados obtenidos durante el análisis, para las direcciones T y L, así como los periodos correspondientes a estas frecuencias.

Tabla 3.25.- frecuencias en (Hz) y periodos en (s) correspondiente a los primeros modos de vibrar, en dirección T, L y torsión para el caso del edificio Telecomm

EVENTO	MODO	DIRECCIÓN T		DIRECCIÓN L		TORSIÓN	
		f (Hz)	T (s)	f (Hz)	T (s)	f (Hz)	T (s)
04-1	1	0.290	3.448	0.350	2.857	0.45-0.50	2.22-0.2
	2	1.040	0.962	1.465	0.683	1.90-1.953	0.52-0.51
	3	2.340	0.427	3.265	0.306	3.460	0.289
04-2	1	0.311-0.33	0.32-0.03	0.390	2.564	0.562	1.781
	2	1.190	0.840	1.660	0.602	2.02-2.13	0.49-0.47
	3	2.087-2.46	0.47-0.41	3.43-3.625	0.290-0.27	3.31-3.60	0.30-0.28

f (Hz) = frecuencias identificadas para los primeros modos de vibrar de la estructura

T (s)= periodos correspondientes a los primeros modos de vibrar

### 3.7 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de los análisis que se desarrollaron con la propuesta metodológica, permitieron recabar una amplia gama de información, misma que se ha podido separar en aquellas que nos proporcionan las características dinámicas de las estructuras que ha sido expuesta a eventos sísmicos de variada intensidad, en este apartado se realiza una discusión de los resultados que se obtuvieron para cada edificio y para cada evento sísmico.

A continuación se muestra la información que se ha podido derivar a partir del resultado de los análisis y sobre los cuales se hace una discusión de estos resultados.

### 3.7.1 RESPUESTAS MÁXIMAS DE LAS HISTORIAS DE ACELERACIÓN, VELOCIDAD Y DESPLAZAMIENTO

En el caso del edificio Jalapa se observa que, posterior a la rehabilitación del edificio, se pueden encontrar lecturas de aceleración, velocidad y desplazamiento en cada evento sísmico que se encuentran dentro de un rango alto, el resultado de ello encuentra justificación no sólo en el hecho de ser un edificio sometido a excitaciones sísmicas de mediana intensidad, sino también debido a que se localiza en una zona de terreno blando.

Lo anterior, junto con el hecho de que las características dinámicas del edificio llevan una estrecha relación con la condición estructural del mismo, son factores que permiten darse cuenta, al evaluar los registros sísmicos, de cuándo una estructura está realmente recibiendo mayor daño del que debe recibir o para el cual fue diseñada y en base a ello estimar si la estructura requiere algún tipo de rehabilitación adicional. En gran medida estos factores describen la respuesta de la estructura, en este caso los valores máximos obtenidos.

Se puede citar que para el edificio Oasis las historias de aceleración, velocidad y desplazamiento, los valores máximos que se registraron en el edificio Oasis, para los sismos estudiados, se identificaron en el evento 01-1 en dirección L, teniéndose valores de aceleración velocidad y desplazamiento del orden de 165.85 cm/s<sup>2</sup>, 14.13 cm/s y 2.51cm, respectivamente, en azotea. En contraste con esto, las menores lecturas que se registraron en la azotea de la estructura se encontraron, para el evento 02-1, en 32.76 cm/s<sup>2</sup> para aceleración, 2.39 cm/s para velocidad y 0.43cm para desplazamiento, para la dirección T.

En el caso del edificio Telecomm, para el evento 04-1, ocurrido en el edificio Telecomm, se contaba con una instrumentación provisional, la cual cubría sólo 3 puntos en el edificio, lo anterior presentó una limitante en cuanto al cálculo de distorsiones, así como para el cálculo de lecturas relativas, es decir; señal de respuesta en cualquier punto de la estructura menos señal de excitación en el terreno, como se verá a continuación. Sin embargo, gracias a esta instrumentación se logró obtener lecturas de los puntos principales en una estructura (azotea, sótano y terreno), los valores máximos que se obtuvieron para el evento 04-1 fueron de 1.35 cm/s<sup>2</sup> en aceleración, 0.27cm/s velocidad y 0.10cm en desplazamiento, todas ellas lecturas absolutas en dirección L, a excepción de el desplazamiento máximo que se obtuvo en dirección T, en comparación con el evento 04-2 donde las lecturas máximas en azotea son del orden de 2.80 cm/s en aceleraciones, 1.07 en velocidades y 0.41 en desplazamientos, todas ellas en dirección L.

### 3.7.2 DESCOMPOSICIÓN DEL MOVIMIENTO

Como parte del análisis efectuado en los eventos sísmicos, se realizó la descomposición de los movimientos que conforman las respuestas en aceleración de la azotea de las estructuras. Este aspecto se logra comprender al estudiar el fenómeno (señal de excitación) que actúa en la estructura, de tal forma que provoca en ésta una serie de efectos en la estructura (señal de respuesta), dando lugar a una respuesta total como se explicó en el capítulo anterior.

Estos efectos se destacan de manera explícita al graficar cada uno de los movimientos que conforman la respuesta en azotea de cada edificio. Los efectos que son de nuestro particular interés son aquellos en donde se ponen de manifiesto los efectos de interacción suelo-estructura (efectos ISE), ya que al hablar de estos efectos nos referimos al cambio en el comportamiento dinámico de la estructura, esto influye de manera significativa en el periodo de la misma, ya que existe una clara correlación entre los daños que se llegan a presentar en las estructuras y el tipo de suelo (*Wakabayashi y Matinez, 1998*).

La importancia de estos efectos salta a la vista al tomar en cuenta la hipótesis de contar con una base empotrada e infinitamente rígida, esto es, que no se presente cabeceo por ejemplo, este aspecto es notorio en especial en estructuras erigidas en suelos blandos, en el caso del edificio Jalapa estos efectos están presentes.

En el caso del edificio Oasis, la participación de los efectos ISE en la respuesta total del edificio, son prácticamente imperceptibles en el cabeceo, es decir, que los efectos ISE no son significativos en vista de los resultados observados en las graficas de estos eventos (01-1, 20-1, 04-1).

Para el evento 01-1 (edificio Oasis), la respuesta del cabeceo, en aceleración y desplazamiento, son casi imperceptibles, de baja amplitud, para el caso de los eventos 02-1 y 04-1 en este edificio estas respuestas son significativamente menores aunque no dejan de ser perceptibles, por lo que son importantes desde el punto de vista estructural, ya que son estos factores lo que permiten modificar los diseños en las estructuras y nos ayudan a conocer la dinámica del suelo sobre el cual se erigen estas estructuras.

Por otro lado, el edificio Telecomm presenta una muy baja presencia de efectos de cabeceo, torsión y desplazamiento de la base, para el evento 04-2, en este caso el cabeceo en dirección L es notable, mientras que para la dirección T es prácticamente nulo.

Por otro lado, en el caso del efecto de torsión se logra apreciar una influencia notoria en la dirección T, este efecto es notorio tanto en aceleraciones como en desplazamientos, así mismo los efectos de cabeceo son notorios en la dirección T, este parámetro en particular acusa de la existencia de efectos de interacción suelo-estructura, puesto que la base no se conserva rígida y sí en cambio, gira en torno al eje de la dirección L, por lo que el resultado se aprecia en la dirección T.

Vale la pena hacer notar que este hecho se ve influenciado, no sólo por el tipo de suelo, sino también por la magnitud del fenómeno sísmico al que se vean expuestas las estructuras.

### 3.7.3 DISTORSIONES DE ENTREPISO

Las distorsiones de entrepiso se calcularon de dos formas distintas, la primera toma en cuenta únicamente el desplazamiento de la *estructura*, es decir, se eliminan los efectos producidos por cabeceo, torsión y desplazamiento del terreno en la estructura. El único efecto que se considera para este caso es el de una estructura empotrada sobre una base rígida que se desplaza de forma horizontal. Los desplazamientos medidos, en una sola dirección, son restados del nivel superior al inmediato inferior, en este caso, el nivel inferior que se ha instrumentado, posteriormente se divide este resultado entre la distancia que separa los niveles instrumentados, el resultado es la historia de distorsiones entre dos niveles.

La segunda forma que se ha empleado para el cálculo de distorsiones, consistió en restar las historias de desplazamiento relativo de cada nivel menos el inmediato inferior y dividir esta diferencia entre la distancia del entrepiso, es decir, el desplazamiento que se involucra es el del *sistema* completo. En este caso las historias de desplazamiento relativo llevan implícita una gama de efectos sísmicos que son producidos en el edificio durante la excitación: cabeceo, traslación de la base, torsión, etc.

Es de esperarse que los resultados obtenidos, por este método sean, en si, mayores en magnitud por el hecho de contener una serie de efectos como los mencionados, éstos reciben el nombre de efectos

ISE (efectos de Interacción Suelo-Estructura). De los cuales se puede inferir si son o no determinantes, al comparar los resultados de cada método.

Cabe destacar que este análisis se efectuó de manera análoga a los demás, empleando la metodología de análisis propuesta, lo anterior permitió obtener las comparaciones de los métodos citados de forma simultánea.

Para el evento 99-1 del edificio Jalapa, las distorsiones máximas se presentaron en azotea y nivel 11 (AZ-N11), paralelo a ello, en este evento se observa que los resultados, tomando en cuenta solo a la **estructura**, varían entre si hasta en un 38% para el caso del nivel 6 y el sótano (N6-SC), y en un 24% para el caso de azotea y nivel 11 (AZ-N11) para la dirección T y 17 y 22% para la dirección L, ello nos permite llegar a la conclusión de que para este evento en particular, los efectos de interacción suelo estructura son importantes o notorios en la estructura.

En el evento 99-2 del edificio Jalapa, estos efectos no son nulos puesto que se aprecian a simple vista, esto se manifiesta entre los resultados de distorsiones máximas encontrados entre azotea y el nivel 11 y entre el nivel 6 y el sótano en dirección T, ambos resultados difieren en un 44 a un 34% aproximadamente, si se consideran efectos del sistema completo y efectos de la estructura empotrada sobre base rígida respectivamente.

En el caso del evento 04-1 del edificio Jalapa, se observó que las distorsiones máximas se obtuvieron en dirección T, y que tanto el sistemas como la estructura, no rebasan entre si de un 26% de diferencia, lo que nos muestra que para este evento los efectos de ISE están presentes, pero no influyeron de forma considerable durante la presencia del sismo.

Ahora bien, los resultados antedichos se encuentran dentro de los límites establecidos en las normas técnicas de construcción para diseño por sismo (NTC-S-DF-2002), en las cuales se establece que, para el caso de tenerse un sistema estructural con muros de diafragma, el cual es nuestro caso, las distorsiones no deben exceder de 0.006. Una observación adicional se obtiene al encontrar que las distorsiones máximas para los eventos 95-1, 99-1, 99-2, 04-1, rebasaron el valor de 0.0015 (NTC-EM-DF-2002), que corresponde a la presencia de agrietamientos diagonales en muros de mampostería, ello indica la presencia de fuerzas cortantes de magnitud considerable.

Para el caso del edificio Oasis, eventos 01-1, 02-1, 04-1, la diferencia de distorsiones, entre un sistema y otro, es mínima, lo que indica que los efectos ISE son pequeños durante este evento y para esta estructura, lo mismo se observa, lo anterior nos da pie a pensar que pese al impacto de los eventos sísmicos de mediana intensidad, como los estudiados en este trabajo, la respuesta de la estructura es óptima, ello puede deberse por una lado, al hecho de ser una estructura regular cuyos elementos estructurales se han preservado en su totalidad y no ha existido pérdida de rigidez en los mismos, y por otro lado, al hecho de que su diseño estructural contempla dichas eventualidades, partiendo de las características de la zona en donde se encuentra ubicado.

Para los sismos estudiados de obtuvieron lecturas de distorsiones de entrepiso, empleando los dos criterios que se han descrito con antelación, las diferencias entre un criterios y otro, es decir, entre el sistema y la estructura, no exceden de un 13% para el evento 01-1 dirección T, 4% para el evento 02-1 dirección T, 11% para el evento 04-1 dirección T y 37% para el evento 01-1 en dirección L, 4% para el evento 02-1 en dirección L y 40% para el evento 04-1 en dirección L. los valores de distorsiones no exceden de la normatividad para este tipo de estructura.

Es de consideración el hecho de que para sismos de mediana a baja intensidad, las lecturas de distorsiones que se logran obtener, son muy pequeñas, sin embargo, vale la pena hacer la



observación en cuanto a los resultados que se obtuvieron para el caso del edificio Telecomm, en el evento 04-2, en donde se puede observar que las distorsiones obtenidas para un sistema en donde intervienen los efectos ISE y en donde se considera únicamente a la estructura, son muy similares, los resultados no difieren en gran medida, de lo que podemos deducir que para este evento en particular, los efectos ISE, son muy pequeños y, de forma similar a los edificios anteriormente citados, no influyen en gran manera en la respuesta total de la estructura.

Se observó que para el evento 04-2 las distorsiones del sistema son menores a las que se estipulan en las Normas Técnicas Complementarias Para Diseño Por Sismo (NTC-S-DF, 2002) de 0.006 para muros de diafragma. Se puede observar que las máximas distorsiones se obtuvieron en la dirección T, siendo de 0.000085 y de 0.000068 para la dirección L, variando en un 20.43% entre sí, esto para el caso de considerar un sistema con efectos ISE.

Si ahora tomamos en cuenta a la estructura empotrada con base rígida, como se ha hecho en los casos anteriores, se obtienen valores de 0.000081 en la dirección T y de 0.000059 en la dirección L, estos resultados varían entre sí en un 27.49%. Aunque se observa que las distorsiones obtenidas para el evento 04-2 son pequeñas, vale la pena centrar la atención en el hecho de que los resultados que se obtienen para un sistema con efectos ISE y una estructura con base rígida, son muy similares entre sí, lo que nos lleva a una conclusión más importante aún, esto es, que los efectos de Interacción Suelo-Estructura son pequeños, entonces, la base de la estructura se comporta *casi* como si realmente estuviese empotrada sobre una base infinitamente rígida..

La deducción anterior es interesante por el hecho de que la estructura se encuentra desplantada sobre suelo blando, es decir, que los resultados obtenidos pueden experimentar cambios muy sensibles y de magnitud considerable si la estructura se ve sometida a sismos de mayor intensidad.

Ahora bien, el evento 04-1 para el este edificio se ha procesado de forma distinta, debido al hecho de que para la fecha que se registró este sismo, sólo se contaba con una instrumentación provisional, de tal forma que se obtuvieron registros de azotea, en el sótano del edificio y en el terreno, en las direcciones transversal, longitudinal y vertical para cada caso.

Lo anterior implica que los cocientes entre espectros de Fourier, descritos en el siguiente subtema, para la determinación de frecuencias naturales de la estructura no fuesen directamente comparables, ya que tan sólo el intervalo de muestreo es mayor para el caso del registro de terreno, además de que el intervalo de frecuencia es distinto. De esta manera se optó por considerar, para el caso del cálculo de distorsiones, la diferencia entre las historias de desplazamiento máximo entre azotea y sótano, es decir, evento 04-1 para las direcciones T y L, son de la estructura completa.

En el caso del edificio Telecomm se observa que, aunque para la fecha de ocurrencia del evento sísmico del 16 de julio de 2004 (evento 04-1), no se contaba con una instrumentación que cubriera los puntos deseados en la estructura, fue posible obtener información relevante en los puntos importantes (azotea, sótano y terreno), para el caso de este evento en particular, esta información permitió conocer la respuesta en los puntos de azotea, sótano y terreno, es decir, lecturas de los puntos más esenciales en la estructura.

De esta manera, aunque la elección de puntos de instrumentación, así como la colocación de los sensores, no se habían culminado para entonces, el contar con una instrumentación provisional se evitó perder información de puntos importantes, por lo que el comportamiento de la estructura ante este sismo no resultó del todo desconocido.

Lo anterior nos permite contrastar las condiciones actuales de la ingeniería estructural y la relación que existe entre el conocimiento del comportamiento dinámico de estas ante eventos sísmicos. Ello nos permite orientar nuestra atención a la problemática de contar, en principio, con una instrumentación adecuada en estructuras como edificios, así como la cantidad de información que se pasa por alto es considerable.

De ahí la necesidad de contar, no sólo con una instrumentación adecuada, sino de contar con más edificios instrumentados.

### 3.7.4 FRECUENCIAS Y PERIODOS FUNDAMENTALES

Se lograron identificar para los edificios estudiados, frecuencias para los tres primeros modos de vibrar de la estructura en cada caso de los tres edificios estudiados, esta parte del análisis se realizó en el dominio de la frecuencia y se emplearon cocientes espectrales de azotea, sótano y terreno para cada estructura.

En el edificio Jalapa se identificaron diferencias significativas ante eventos sísmicos de mediana intensidad como los estudiados en este trabajo. Para el evento 93-1 se observan frecuencias del orden de 0.38 Hz (periodo de 2.3 s), para el primer modo en dirección T y de 0.653 a 0.665 Hz (periodos de 1.53 a 1.5 segundos respectivamente), para la dirección L de estos resultados se puede inferir que el edificio presentó un decremento en su frecuencia, consecuencia que se puede atribuir a una pérdida en la rigidez de su elementos estructurales.

Por otro lado para el evento 99-1, se observan frecuencias del orden de 0.27 Hz (periodo de 3.7 segundos), para la dirección T y de 0.54 a 0.68 Hz (periodos de 1.85 y 1.47 segundos respectivamente), para la dirección L, de donde se deduce que el edificio ha ido modificando su rigidez pese a la rehabilitación del 10 de diciembre de 1994. Se puede hacer hincapié en el hecho de que esta estructura presenta intervalos de frecuencia para los primeros tres modos, estos nos proporcionan un indicador en cuanto al comportamiento no lineal del edificio por presentar un contenido frecuencial conformado una serie de ordenadas en el intervalo donde se presentan frecuencias en la otra dirección.

No ha sido objeto de este trabajo determinar los efectos de pérdida de rigidez y de amortiguamiento para los edificios estudiados, así como la influencia de los efectos de interacción suelo estructura en estos, sin embargo se puede mencionar el hecho de que para los eventos elegidos se aprecia una significativa variación de estos factores, mismos que se infieren luego de observar el desplazamiento frecuencial que el edificio ha experimentado, ello asociado al hecho de que propiedades como la rigidez y el amortiguamiento van estrechamente ligadas (*Muriá, et al, 1998, 1998, 1995 y 1999; Hernández, 1998; Moreno, 1994*).

Un aspecto a señalar en los espectros de Fourier de los eventos sísmicos 01-1 y 02-2 del edificio Oasis, es que, a diferencia de los movimientos típicos de edificios en suelos blandos de la ciudad de México, en los cuales el contenido de energía y de ordenadas frecuenciales se concentra entre 0 y hasta 4 Hz (periodos de 0 hasta 0.25 segundos), para el caso del edificio Telecomm y del edificio Jalapa, esto reduce el intervalo de identificación de frecuencias o bien dificulta la identificación de las mismas, ya que más allá de este intervalo las amplitudes de las ordenadas espectrales son muy pequeñas.

En el caso del edificio Oasis, cuyo suelo es, en su mayoría, de tipo arenoso, se puede observar un importante contenido frecuencial entre 0.2 y 10 Hz (periodos de 5 a 0.1 segundos), lo que implica

contar con un intervalo de identificación de frecuencias fundamentales, amplio; esto es, que se cuenta con ordenadas espectrales más definidas y de mayor amplitud (*Taborda, 2004*).

Esta característica hace posible identificar con suficiente resolución las frecuencias fundamentales y de algunos modos superiores evitando las dificultades que se esperarían en otro tipo de estructuras instrumentadas en donde sólo se pueden determinar frecuencias asociadas a su primer y segundo modo de vibrar.

En estructuras como el edificio Telecom, ésta característica se hace evidente al tratar de determinar con más exactitud aquellas frecuencias asociadas al tercer modo en torsión de la estructura, de acuerdo con trabajo anteriores como el análisis realizado por Camargo y Cruz (2004), se evidencia el acoplamiento de los modos superiores, denotados por las ordenadas frecuenciales en las direcciones T y L, intervalos que se traslapan en sí y que impiden diferenciar un comportamiento único para este edificio en sus modos superiores y para un mismo intervalo de frecuencias ( 3<sup>er</sup> y 4<sup>o</sup> modo).

## CAPITULO 4

### CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES

Durante la realización de este trabajo fue necesario el desarrollo de herramientas de análisis que contuvieran una gama de opciones para el procesamiento de los registros sísmicos proporcionados por el departamento de instrumentación sísmica del Instituto de Ingeniería. De esta forma, se logró llegar a la elaboración de algoritmos de programación basados en rutinas que aunque precisas, resulta delicado su manejo en cuanto al tipo de datos que requiere, es decir, la elaboración de archivos de datos.

Además de esto, se desarrollaron rutinas de análisis para la determinación de la intensidad de de Arias. Se logró implementar estas herramientas en macros de Excel, ello permitió un fácil manejo de datos contenidos dentro de un mismo archivo, lo anterior en conjunción con el hecho de adaptar subrutinas hechas en Visual Basic para facilitar el manejo de las macros y dotarlas de velocidad de procesamiento.

Como primera herramienta, se desarrolló un importador de archivos en formato ASCII, el cual permitió extraer los registros de cada edificio estudiado, este se empleó para la extracción de los datos requeridos para realizar el análisis. Posteriormente, se desarrolló un algoritmo que permite sincronizar los registros de forma automática, de tal forma que dentro de la rutina programada se cuenta con constantes de conversión que le dan a éste una precisión de centésimas de segundo tomando como ejemplo que para una diferencia de 0.01 segundos entre registros se logre corregir una muestra en el registro a sincronizar.

También se logró implementar una herramienta de programación diseñada para visualizar las señales seleccionadas por el usuario, de tal forma que se contemplen detalles en cuanto a polaridad o signo en las señales obtenidas, con ello se buscó que esta herramienta se comportara de forma similar a las ya mencionadas, es decir, de forma autónoma.

Lo anterior tuvo aplicación en múltiples registros para cada uno de los edificios seleccionados, ya que se observaron características de orientación diferentes en la mayoría de estos, debido posiblemente a dificultades para fijar los sensores en la dirección deseada. Adicionalmente se desarrolló un algoritmo que proporciona las historias de distorsiones de la estructura, considerando un sistema, es decir; los efectos de interacción suelo estructura (*ISE*), así como sin considerarlos, es decir; considerando los de la estructura empotrada sobre una base infinitamente rígida.

Se implementaron herramientas de análisis para la obtención de respuestas máximas de aceleraciones, velocidades y desplazamientos, para las direcciones *T* y *L*, para cada edificio. De forma análoga se desarrolló un formato a modo de reporte preliminar que funciona de forma automática y que permite disponer de la información extraída de registros, tanto en el dominio del tiempo, como en el dominio de la frecuencia. Cabe destacar, que este formato fue elaborado partiendo de la necesidad de conocer las principales características dinámicas en cada sismo.

Se logró observar que la utilidad de esta metodología, conformada por el empleo de las herramientas diseñadas para el análisis de resultados, proporcionó resultados confiables, de tal

forma que se consiguió unificar toda una serie de procedimientos tradicionales en uno más eficiente. De esta forma, se obtuvieron resultados de análisis en pocos minutos.

Como parte del análisis en el dominio del tiempo, se emplearon registros de azotea y de sótano, así como de terreno, con el fin de obtener las respuestas máximas en las direcciones  $T$  y  $L$  para cada edificio. Adicional al estudio de las señales en el tiempo, se obtuvieron las distorsiones del sistema y de estructura para los registros de niveles intermedios y de azotea respectivamente, así como la descomposición de los movimientos en los registros de aceleración y desplazamiento para las señales correspondientes a azotea lateral y centro, en cada edificio.

Posteriormente, se obtuvieron para los registros de azotea, la descomposición de los movimientos en aceleración y desplazamiento, en las direcciones mencionadas. Para este análisis se obtuvieron y graficaron la participación de los movimientos asociados al cabeceo, torsión y flexión de cada uno de los edificios, así como de traslación relativa en la base de la misma. Sin embargo, vale la pena centrar la atención en aquellos movimientos que indican de forma directa la influencia de los efectos ISE, los cuales se estudian tanto en aceleraciones como en desplazamientos.

En este caso, se observaron, para el caso del edificio Jalapa eventos 93-1 y 95-1, que existen contribuciones importantes en cuanto a los movimientos que describen el cabeceo en la dirección  $T$  así como la torsión en ésta misma dirección, esta última sobresale en estos eventos de manera considerable, no así para los eventos 99-1, 99-2 y 04-1, en donde la presencia de estos movimientos en la respuesta total de la estructura, se observan con menores amplitudes, tanto en aceleraciones como en desplazamientos, para la dirección  $T$  y en mucha menor proporción para la dirección  $L$ , se puede, entonces, mencionar el hecho de que para esta estructura los efectos ISE están presentes y son importantes. Vale la pena hacer notar que los eventos 99-1, 99-2, 04-1, citados, fueron posteriores a la segunda rehabilitación del edificio, por lo que en los resultados se hace evidente el cambio en el comportamiento dinámico del edificio (por ejemplo: presencia de cabeceo y cambios en sus periodos fundamentales).

De forma similar, para el caso del edificio Oasis estos efectos se perciben de forma visible en la dirección  $T$  para los eventos 01-1, 02-1 y 04-1, en menor medida para el evento 01-1 y en mayor proporción para el evento 02-2 (figura 3.46), esto implica que los efectos ISE son mínimos aunque de importancia por el hecho de ubicarse este edificio en una zona sísmica, en mayor medida para la dirección  $T$  y para el caso de la torsión en la estructura, así también se concluye que los efectos de cabeceo presentes durante los eventos estudiados son mínimos en la estructura.

En el caso del edificio Telecomm, las contribuciones de los movimientos de cabeceo y torsión, son de importancia para el caso de la torsión en dirección  $T$ , y en menor medida para el caso de cabeceo en esta misma dirección, los resultados son más evidentes si se observa la respuesta en aceleraciones que en desplazamientos (figura 3.56).

En cuanto a los resultados de las distorsiones que se obtuvieron para cada edificio, la metodología de análisis a base de macros, permitió que obtener resultados simultáneos al considerar los efectos de interacción suelo-estructura en los desplazamientos y al considerar una estructura que está empotrada sobre una base rígida.

Los resultados de distorsiones máximas que se determinaron, se encuentran dentro de los límites que marcan las Normas Técnicas Complementarias para diseño por sismo que es de 0.0006. Sin embargo, se encontró que para los eventos 95-1, 99-1, 99-2, 04-1 en el edificio Jalapa, rebasaron el

valor de 0.0015 (*NTC-DF-2002*), que corresponde a la presencia de agrietamientos diagonales en muros de mampostería, ello indica la presencia de fuerzas cortantes de magnitud considerable durante el evento sísmico.

En el caso de las distorsiones calculadas en los edificio Oasis y Telecomm, para ambas estructuras, las mayores distorsiones se presentaron en la dirección T para el último entrepiso instrumentado, (*AZ-N12*). En el edificio Oasis la máxima distorsión que experimentó la estructura fue durante el evento 01-1 siendo ésta de 0.000463 y presentándose en la dirección T, en el caso del edificio Telecomm, la mayor lectura se presentó en la dirección T para el evento 04-1, siendo ésta de 0.000086, ambos resultados se encuentran dentro de la normativa.

Las propiedades dinámicas que se estimaron fueron las frecuencias de vibración, para los primeros tres modos en las direcciones *T*, *L* y *Torsión* de cada edificio, a partir de ello se enuncian los periodos de la estructura. Como dato importante cabe mencionar que los eventos estudiados se eligieron con base en la magnitud de los sismos registrados así como en la ocurrencia de estos a partir de la puesta en marcha de la red acelerográfica en cada edificio.

La característica de que dos de los edificios estudiados se encuentren en una zona de suelo blando en el Valle de México (caso de los edificios Telecomm y Jalapa), y que otro más se encuentre en una zona epicentral en las costas de Guerrero (caso del edificio Oasis), arroja interesantes resultados en cuanto al contenido de frecuencias naturales de la estructura y su intervalo en ordenadas frecuenciales.

A partir del análisis de los registros en el dominio de la frecuencia, se lograron estimar las frecuencias de vibración de las estructuras, observándose con ello que para cada edificio las frecuencias varían considerablemente, en el entendido de que independientemente de que se trate de estructuras totalmente diferentes en geometría y que han estado sujetas a eventos sísmicos de variada intensidad, presentan cambios en su rigidez estructural, y por ende en sus frecuencias naturales.

En este caso un ejemplo especial lo conforman los resultados derivados del análisis con cocientes espectrales entre azotea y sótano para el edificio Jalapa. El edificio ha experimentado dos rehabilitaciones luego de ocurridos eventos sísmicos de mediana intensidad, ante lo cual se esperaba que las frecuencias variaran a priori y a posteriori un evento sísmico, dando como resultado un incremento en las mismas debido al hecho de reforzar los miembros estructurales dotándolos con ello de una mayor rigidez, ello se evidenció luego de comparar las frecuencias de los primeros modos para los eventos 93-1, 95-1 ocurridos antes de su segunda rehabilitación y 99-1 ocurrido después de su segunda rehabilitación.

Para el primer caso ,edificio Jalapa, las frecuencias identificadas para el primer modo de vibrar se encontraron entre los 0.38 Hz (periodo de 2.63 segundos), para el evento 93-1 y 0.293 Hz (periodo de 3.41 segundos), para el evento 95-1 en dirección T y de 0.65 Hz para el 93-1 y 0.45 Hz (periodo de 2.22 segundos), para el 95-1 en dirección L, en este caso se observa que se presenta un decremento en la frecuencia, lo que implica a su vez una pérdida de la rigidez en sus elementos estructurales.

Por otra parte, en el evento 99-1 del edificio Jalapa, se observa que estas frecuencias se localizan a 0.55 Hz (periodo de 1.18 segundos) en dirección T y 0.64-0.78 Hz (periodos de 1.56 y 1.28 segundos), en dirección L, lo que implica un incremento en rigidez estructural, ello permite dar

estabilidad a la estructura, esto es, el periodo de la estructura se mantiene alejado del correspondiente al del suelo, que para este caso se encuentra en 0.5 Hz (2 segundos).

Existen riesgos al modificar la rigidez de los elementos estructurales, una consecuencia grave de ello puede incluso ser el hecho de que se llegue a acercarse demasiado a la frecuencia del terreno provocando con ello el fenómeno de resonancia en la estructura., para los casos estudiados esto no ocurre.

Ante ello, vale la pena mencionar que se observó que para el evento 04-1 (edificio Jalapa), se obtuvieron frecuencias de 0.48 Hz y de 0.641 Hz (periodos de 2.08 y 1.56 segundos), para las direcciones T y L respectivamente, un dato que nos permite determinar que existe un aumento en la rigidez de la estructura nuevamente, en contraste con las frecuencias provenientes de los eventos 99-1 y 99-2, en esta misma estructura.

Cabe destacar que el intervalo de análisis, en el caso de los edificios Jalapa y Telecomm, del cuales se observó un contenido frecuencial alto, se ubicó entre los 0.2 y los 2 Hz (periodos de 5 y 0.5 segundos), característica que en su mayoría se observa en registros sísmicos provenientes de edificios que se encuentran desplantados en zonas blandas en el Distrito Federal, a diferencia de suelos con mayor rigidez, es decir, edificios desplantados en suelos no tan baldos, cercanos a una zona epicentral y que se cuentan con una cimentación piloteada como el caso del edificio Oasis, en donde los contenidos frecuenciales en las señales se ubicaron de 0.2 a 10 Hz (periodos de 5 y 0.1 segundos), intervalo que podemos considerar como suficiente para la identificación de los primeros tres modos de la estructura, además de esto, la amplitud de estas ordenadas frecuenciales y la definición de éstas, a permitido la fácil identificación de estas propiedades en este edificio en particular.

Se eligió de forma particular un evento sísmico que hubiese sido registrado de forma simultánea en los edificios citados, con el fin de valorar los efectos de éste sobre cada una de ellas, así como la influencia del sismo en el tipo de suelo sobre el cual se encuentran desplantados los edificios. El evento que se eligió fue el 04-1, con una magnitud de 5.8 grados. Se observó que la intensidad de Arias varió de 0.96cm/s, para el caso del edificio Jalapa, 0.380cm/s, para el caso del edificio Oasis a 0.0004cm/s, para el caso del edificio Telecomm.

Lo anterior implica que la cantidad de energía sísmica que experimentaron las zonas correspondientes a cada edificio, varía de un 100% para el caso del edificio Jalapa, tomando a éste como referencia por tener la mayor intensidad, a un 39.58% para el caso del edificio Oasis, respecto del Jalapa y un 0.014% para el edificio Telecomm, respecto del edificio Jalapa.

De forma análoga a este análisis, se observó que para este evento, las frecuencias de primer, segundo y tercer modo, para el edificio Jalapa fueron de 0.48 Hz (periodo de 2.08 segundos), 1.41 Hz (periodo de 0.71 segundos) y 1.85-2.12 Hz (periodos de 0.54 y 0.47 segundos), en dirección T y de 0.64 Hz (periodo de 1.56 segundos), 2.48-2.72 Hz (periodos de 0.40 y 0.58 segundos) y 3.92-4.14 Hz (periodos de 0.255 y 2.41 segundos), en dirección L. En los casos en donde se ha presentado un intervalo de frecuencias es debido a que, por un lado, el sistema puede presentar un comportamiento no lineal y otra razón es debido a que los registros estudiados no presenten una buena calidad, este problema se ve reflejado al momento de estimar modos superiores en la estructura, ya que, si no se tiene en la señal un contenido de energía alto en los espectros de amplitud de Fourier, no se puede garantizar la identificación de un posible modo de forma confiable.

Sin embargo el estudio realizado durante el presente trabajo permitió diferir la importancia e influencia que tienen cada uno de los movimientos de la estructura dentro de su comportamiento dinámico, en este caso se aprecia por medio de la descomposición del movimiento en azotea para cada sismo, que los efectos de interacción suelo estructura deben ser tomados en cuenta, esto es apreciable en los resultados obtenidos para el edificio Jalapa y para el edificio Telecomm.

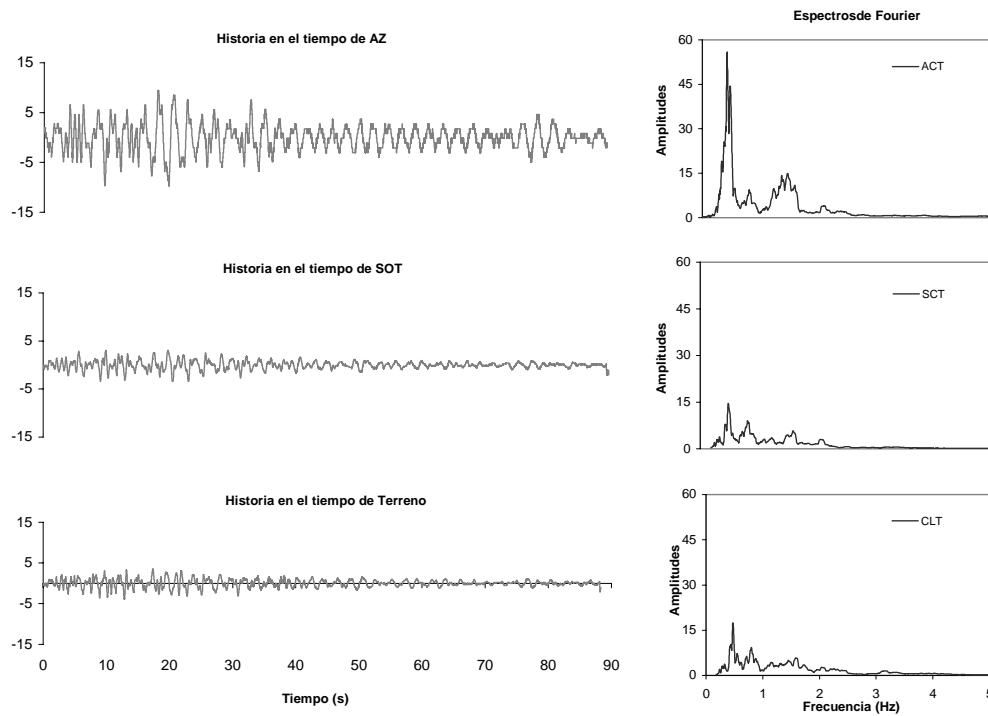
Así mismo, se ha determinado que para el caso del edificio Jalapa, se presenta un comportamiento no lineal, evidenciado por los cambios en los periodos fundamentales debido a la ocurrencia de eventos sísmicos y por ende a los cambios en las propiedades estructurales como la rigidez, ello se concluye luego de identificar en los espectros y funciones de transferencia, intervalos de frecuencias en los cuales no se define una en particular, las amplitudes en dicho caso son similares. Ante ello vale la pena prestar atención al respecto en posteriores análisis. No así en los casos de los edificios Telecomm y Oasis, para los cuales no se observaron mayores cambios en los intervalos pertenecientes a sus periodos y frecuencias fundamentales. Con lo anterior se busca que este trabajo permita ampliar la gama de información que hasta el momento se ha recabado de los edificios citados y para los cuales resulta indispensable contar con una serie de herramientas que faciliten la determinación de propiedades dinámicas del sistema estructural.



## APÉNDICE A

### GRÁFICAS Y TABLAS DE RESULTADOS DE LOS EVENTOS SÍSMICOS

Las gráficas que se presentan a continuación, se han extraído de los reportes elaborados de forma preliminar (Capítulo 2), en estos se encuentra la información de las historias el en tiempo y sus espectros de Fourier para los registros obtenidos en azotea, sótano y terreno de cada sismo y para cada edificio. A continuación se muestra el formato obtenido para el caso del evento sísmico 93-1 del edificio Jalapa, en dirección T



*Figura A.1.- Reporte de los registros de azotea, sótano y terreno para el evento 93-1 en dirección T, evento 93-1, edificio Jalapa*

Las tablas que se presentan a continuación contienen la información de las historias de aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos producidos durante cada evento sísmico.

*Tabla A.1.- Aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos absolutos registrados durante el evento 93-1, edificio Jalapa*

	Aceleraciones(maximas)-(cm/s <sup>2</sup> )			Velocidades(maximas)-(cm/s)			Desplazamientos(maximas)-(cm)		
	L	T	V	L	T	V	L	T	V
AC	10.25	9.73	2.60	2.52	3.56	0.26	0.84	1.15	0.09
AE	9.98	10.93	3.29	2.55	3.62	0.44	0.86	1.26	0.13
AW	10.42	11.31	2.86	2.55	3.64	0.42	0.87	1.16	0.13
11E	7.71	7.44	3.08	2.11	2.57	0.46	0.71	1.02	0.14
11W	7.82	7.55	2.79	2.19	2.50	0.40	0.78	0.93	0.12
6E	5.63	6.58	2.62	1.40	1.20	0.39	0.46	0.39	0.11
6W	5.16	5.61	1.87	1.47	1.10	0.36	0.45	0.31	0.11
SC	3.56	3.42	1.49	0.88	0.76	0.25	0.29	0.23	0.07
SE	3.54	3.88	2.13	0.87	0.83	0.31	0.29	0.23	0.07
SN	3.70	3.35	2.19	0.89	0.73	0.27	0.29	0.20	0.08
SW	3.52	3.41	1.73	0.87	0.73	0.29	0.28	0.21	0.07
CL	4.49	3.87	3.43	0.79	0.79	0.40	0.31	0.23	0.07
P1	0.80	0.85	0.46	0.11	0.11	0.07	0.03	0.03	0.02
P2	0.42	0.45	0.31	0.08	0.07	0.05	0.02	0.03	0.01

*Tabla A.2.- Aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos absolutos registrados durante el evento 95-1, edificio Jalapa*

	Aceleraciones(maximas)-(cm/s <sup>2</sup> )			Velocidades(maximas)-(cm/s)			Desplazamientos(maximas)-(cm)		
	L	T	V	L	T	V	L	T	V
AC	118.78	87.01	20.61	32.43	28.23	2.89	11.07	12.87	1.24
AE	129.35	116.20	31.11	33.71	38.24	5.42	11.70	17.13	1.89
AW	125.66	76.95	28.91	35.01	24.10	5.65	11.35	11.30	2.29
11E	88.73	83.04	32.71	24.76	31.03	5.98	9.26	13.56	2.09
11W	86.48	52.50	28.29	28.23	21.36	5.40	9.33	9.73	2.11
6E	49.39	49.42	24.31	13.67	11.16	4.66	4.92	4.77	1.86
6W	57.73	52.22	23.13	14.62	15.34	4.97	5.10	5.49	1.94
SC	26.96	29.37	11.17	6.55	9.09	2.13	2.33	2.91	1.00
SE	28.95	28.19	15.59	6.59	6.85	3.14	2.23	2.87	1.23
SN	30.53	31.84	14.59	6.59	9.34	3.71	2.36	3.04	1.03
SW	26.86	31.84	20.12	6.93	9.38	3.33	2.36	3.07	1.27
CL	37.50	34.96	15.81	7.36	9.17	2.82	2.43	2.86	0.95
P1	27.19	23.78	13.33	4.88	4.25	2.62	1.14	1.77	1.03
P2	15.21	10.92	8.58	2.19	2.90	2.12	0.71	1.36	0.98

Tabla A.3.- Aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos absolutos registrados durante el evento 99-1, edificio Jalapa

	Aceleraciones(maximas)-(cm/s <sup>2</sup> )			Velocidades(maximas)-(cm/s)			Desplazamientos(maximas)-(cm)		
	L	T	V	L	T	V	L	T	V
AC	75.62	155.67	21.21	21.41	43.78	1.62	6.84	14.06	0.44
AE	76.69	175.34	42.75	22.50	43.22	5.60	6.64	14.42	1.54
AW	85.55	167.54	29.50	21.34	41.61	5.02	6.87	14.48	1.80
11E	65.09	144.19	50.12	18.88	36.45	4.72	5.92	12.36	1.79
11W	67.86	135.34	26.13	16.84	33.80	4.33	5.66	11.30	1.42
6E	49.45	71.19	32.02	12.27	20.50	5.55	3.91	6.52	1.58
6W	54.88	69.71	17.94	10.88	18.87	3.54	3.54	6.38	1.30
SC	21.38	22.93	9.08	6.35	5.67	1.39	2.08	2.33	0.42
SE	23.25	26.55	57.35	6.86	5.92	3.11	2.14	2.23	1.02
SN	22.65	27.42	29.83	6.78	6.26	3.10	2.11	2.54	0.99
SW	20.15	27.41	11.17	6.06	6.30	2.44	1.87	2.57	0.83
CL	20.47	18.29	19.03	5.15	5.61	2.03	1.78	2.21	0.41
P1	18.29	22.01	9.42	2.40	3.23	1.53	0.74	1.11	0.42
P2	10.71	10.12	6.30	1.43	1.86	1.11	0.61	0.69	0.40

Tabla A.4.- Aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos absolutos registrados durante el evento 99-2, edificio Jalapa

	Aceleraciones(maximas)-(cm/s <sup>2</sup> )			Velocidades(maximas)-(cm/s)			Desplazamientos(maximas)-(cm)		
	L	T	V	L	T	V	L	T	V
AC	65.57	238.11	26.65	22.08	68.40	1.89	7.34	25.06	0.57
AE	78.99	280.22	40.00	28.70	77.48	6.55	7.76	26.95	2.48
AW	69.83	284.31	44.88	21.26	72.33	8.14	7.13	25.37	2.90
11E	67.82	236.91	33.41	22.83	66.31	7.55	6.87	20.95	2.93
11W	58.74	215.83	38.41	21.31	59.93	7.30	5.71	20.65	2.43
6E	43.63	113.31	34.04	14.00	36.42	6.29	4.79	11.70	2.60
6W	37.46	101.81	27.94	13.35	33.54	5.57	4.81	11.18	2.03
SC	27.51	40.93	12.27	7.32	12.97	2.13	2.76	3.74	0.73
SE	27.40	41.74	21.27	7.51	13.18	4.62	2.83	4.07	1.54
SN	----	----	----	----	----	----	----	----	----
SW	24.93	56.38	19.48	7.10	14.84	4.34	2.63	4.53	1.28
CL	21.86	33.61	13.99	6.28	10.78	1.85	2.55	3.61	0.56
P1	17.49	25.91	31.42	3.89	5.30	2.63	1.41	1.51	0.80
P2	9.50	10.34	3.76	2.03	3.23	1.10	1.27	1.14	0.55

Tabla A.5.- Aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos absolutos registrados durante el evento 04-1, edificio Jalapa

Nota: para el punto SN de este evento se observaron desfases importantes de tiempo por lo que se ha excluido.

	Aceleraciones(maximas)-(cm/s <sup>2</sup> )			Velocidades(maximas)-(cm/s)			Desplazamientos(maximas)-(cm)		
	L	T	V	L	T	V	L	T	V
AC	26.83	77.67	4.42	7.08	22.39	0.66	2.15	7.81	0.22
AE	27.30	79.40	11.15	7.25	22.85	2.04	2.22	7.98	0.68
AW	27.72	75.16	10.27	7.30	20.95	2.15	2.24	7.30	0.76
11E	21.29	68.63	12.28	5.95	20.80	2.29	1.86	7.24	0.85
11W	21.67	57.94	9.01	6.12	17.61	1.86	1.88	6.01	0.64
6E	12.97	32.07	10.08	3.54	10.56	1.98	1.07	3.51	0.71
6W	12.69	27.46	7.01	3.15	9.03	1.59	1.09	3.01	0.52
SC	5.77	8.55	2.49	1.65	2.37	0.51	0.50	0.78	0.18
SE	6.08	8.84	5.38	1.73	2.35	1.10	0.53	0.75	0.41
SN	6.02	8.67	6.29	1.67	2.51	1.33	0.51	0.83	0.47
SW	5.55	8.75	4.10	1.57	2.51	0.97	0.49	0.83	0.31
CL	6.50	8.80	4.34	1.39	2.28	0.58	0.48	0.71	0.13
P1	4.96	4.83	2.07	0.53	0.93	0.45	0.15	0.28	0.14
P2	1.76	1.96	1.19	0.38	0.42	0.22	0.09	0.14	0.07

Tabla A.6.- Aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos absolutos registrados durante el evento 01-I, edificio Oasis

	Aceleraciones(maximas)-(cm/s <sup>2</sup> )			Velocidades(maximas)-(cm/s)			Desplazamientos(maximas)-(cm/s <sup>2</sup> )		
	L	T	V	L	T	V	L	T	V
0AS	165.85	164.65	87.61	14.13	12.66	2.91	2.51	2.40	0.31
0AE	-----	-----	100.62	-----	-----	3.25	-----	-----	0.37
0AN	-----	100.29	67.19	-----	9.56	2.33	-----	1.76	0.25
02N	63.54	53.44	-----	10.44	7.00	-----	1.85	1.30	-----
02C	-----	56.22	-----	-----	7.97	-----	-----	1.60	-----
08C	-----	65.78	-----	-----	5.50	-----	-----	1.13	-----
08N	101.86	92.06	-----	7.95	4.86	-----	1.32	0.92	-----
04N	93.36	90.52	-----	6.24	3.90	-----	0.91	0.50	-----
0SN	-----	45.55	25.30	-----	2.30	1.25	-----	0.33	0.18
0SO	57.61	47.97	21.30	4.61	2.39	1.39	0.78	0.33	0.23
0SE	-----	-----	23.47	-----	-----	1.96	-----	-----	0.29
0JN	77.48	101.91	72.71	5.64	3.09	1.72	0.78	0.33	0.21

Tabla A.7.- Aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos absolutos registrados durante el evento 02-I, edificio Oasis

	Aceleraciones(maximas)-(cm/s <sup>2</sup> )			Velocidades(maximas)-(cm/s)			Desplazamientos(maximas)-(cm)		
	L	T	V	L	T	V	L	T	V
0AS	40.49	32.76	29.67	1.69	2.39	0.64	0.21	0.43	0.04
0AE	-----	-----	31.61	-----	-----	0.63	-----	-----	0.04
0AN	-----	36.97	19.42	-----	1.65	0.53	-----	0.30	0.03
02N	13.78	26.47	-----	0.96	1.30	-----	0.15	0.22	-----
02C	-----	21.05	-----	-----	1.35	-----	-----	0.27	-----
08C	-----	17.82	-----	-----	1.00	-----	-----	0.17	-----
08N	27.62	23.93	-----	1.18	0.94	-----	0.11	0.15	-----
04N	28.67	27.28	-----	0.84	0.96	-----	0.08	0.07	-----
0SN	-----	16.31	7.48	-----	0.62	0.18	-----	0.04	0.02
0SO	19.38	19.25	9.83	0.58	0.69	0.19	0.05	0.04	0.03
0SE	-----	-----	5.61	-----	-----	0.21	-----	-----	0.02
0JN	32.15	47.75	23.55	0.98	0.92	0.33	0.05	0.05	0.02

Tabla A.8.- Aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos absolutos registrados durante el evento 04-I, edificio Oasis

	Aceleraciones(maximas)-(cm/s <sup>2</sup> )			Velocidades(maximas)-(cm/s)			Desplazamientos(maximas)-(cm)		
	L	T	V	L	T	V	L	T	V
0AS	28.05	49.14	5.27	4.83	8.02	0.65	0.84	1.59	0.13
0AE	-----	-----	5.08	-----	-----	0.71	-----	-----	0.12
0AN	-----	34.81	4.60	-----	6.08	0.62	-----	1.18	0.10
02N	21.18	24.09	-----	3.60	4.51	-----	0.63	0.87	-----
02C	-----	27.99	-----	-----	5.24	-----	-----	1.04	-----
08C	-----	19.46	-----	-----	3.74	-----	-----	0.72	-----
08N	15.86	18.35	-----	2.70	3.08	-----	0.48	0.59	-----
04N	10.38	11.55	-----	1.82	1.60	-----	0.33	0.30	-----
0SN	-----	4.67	2.64	-----	0.66	0.37	-----	0.10	0.06
0SO	5.50	5.16	2.75	0.84	0.72	0.33	0.67	0.12	0.06
0SE	-----	-----	2.65	-----	-----	0.36	-----	-----	0.06
0JN	5.88	5.78	2.37	0.82	0.71	0.21	0.16	0.11	0.03

Tabla A.9.- Aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos absolutos registrados durante el evento 04-2, edificio Telecomm

	Aceleraciones(maximas)-(cm/s²)			Velocidades(maximas)-(cm/s)			Desplazamientos(maximas)-(cm)		
	L	T	V	L	T	V	L	T	V
16C	2.80	2.36	----	1.07	0.85	----	0.41	0.27	----
12C	2.14	----	----	0.73	----	----	0.30	----	----
7C	1.48	----	----	0.35	----	----	0.14	----	----
3C	1.23	----	----	0.28	----	----	0.10	----	----
3E	----	1.60	----	----	0.36	----	----	0.10	----
3W	----	1.45	----	----	0.42	----	----	0.11	----
SC	1.15	1.29	----	0.22	0.37	----	0.08	0.12	----
CL	1.32	1.47	0.60	0.32	0.39	0.07	0.09	0.10	0.02
16E	----	3.00	----	----	1.00	----	----	0.30	----
12E	----	1.42	----	----	0.57	----	----	0.20	----
7E	----	1.36	----	----	0.34	----	----	0.11	----
16W	----	1.92	----	----	0.71	----	----	0.24	----
12W	----	1.38	----	----	0.43	----	----	0.18	----
7W	----	1.31	----	----	0.44	----	----	0.12	----
SE	----	1.42	0.42	----	0.39	0.05	----	0.12	0.02
SS	----	1.21	0.41	----	0.37	0.08	----	0.11	0.02
18E	4.04	5.79	----	1.27	1.31	----	0.47	0.41	----
18W	----	5.52	----	----	1.02	----	----	0.34	----
SSW	----	0.31	----	----	0.05	----	----	0.02	----

## APÉNDICE B

### TRATAMIENTO DE SEÑALES

Los registros sísmicos que se analizan a partir de los eventos sísmicos contienen información no solo de la estructura que esta sujeta a la acción del movimiento sísmico, sino también al que es producido por otros factores ligados algunos a la incertidumbre que existe durante la calibración de los sensores, así como a factores externos como las señales de radio, voltaje de captura de los acelerógrafos, frecuencias o pulsos captados por el sensor este es llamado ruido de fondo o ruido blanco.

De tal forma que la señal que es capturada requiere de un procesamiento que permita, en primera instancia transformar la señal de analógica, como es capturada, a digital y eliminar este ruido que es captado de forma paralela con la captura de la señal, los procedimientos que se emplean con el desarrollo del análisis de las señales empleadas en particular durante el desarrollo de este trabajo son las siguientes:

- *Filtrado de la señal*
- *Corrección de línea base*
- *Suavizado de la señal*
- *Taper*

En primera instancia, la conversión analógica-digital se efectúa tomando un muestreo de la señal, de N puntos, cada muestra con N bits, procedimiento que se le conoce como cuantización. En este caso, la señal analógica debe tener un ancho de banda limitado (se obtiene vía prefiltrado, en las propiedades de los aparatos o sensores que se empleen, esto les da cierta resolución y acotamiento en el intervalo de la señal capturada).

#### B.1 FILTRADO DE LA SEÑAL

En el área de las señales, el filtrado es un proceso mediante el cual se modifica el contenido espectral de una señal. En electrónica es un dispositivo destinado a dejar pasar ciertos componentes de la frecuencia de una señal eléctrica. En el procesamiento de señales sísmicas se emplean filtros como el “paso banda”, “paso bajo” y “paso altas”.

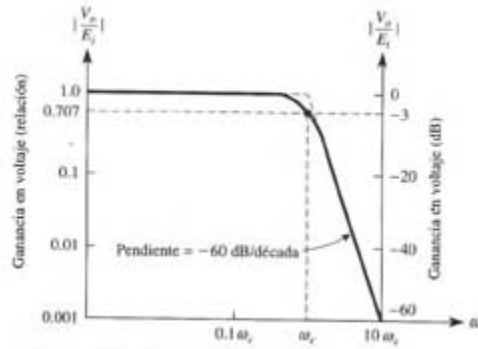
La diferencia entre la señal de origen y la señal filtrada constituye la “banda de paso” del filtro o su ancho de banda. Los filtros se destinan a eliminar de una señal una cierta banda de frecuencia del espectro, es decir, el filtrado es un proceso mediante el cual se modifica el contenido espectral de una señal (*Referencia 36*)

Ello con el fin de que durante el análisis espectral se logre tener una definición más marcada durante el proceso de estimación de las frecuencias fundamentales de la estructura así como posible identificación de frecuencias correspondientes a modos superiores de la estructura en estudio.

Dependiendo del tipo de captura de la señal se emplean filtros específicos, en este caso se emplea aquél que nos proporcione una señal lo más definida o plana que se pueda, para poder discriminar datos como los anteriormente citados.

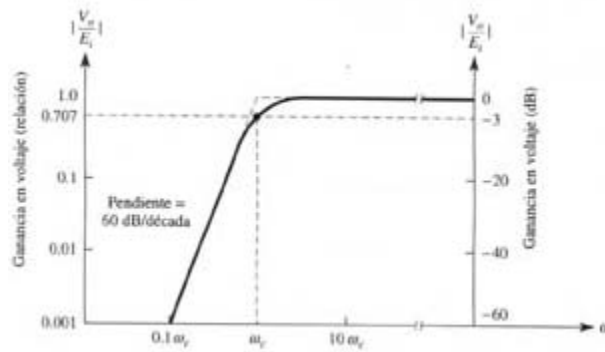
Por ejemplo; los filtros pasa baja se diseñan para prevenir un error llamado aliasing, éste es un error en donde a las altas frecuencias espectrales son agregadas ordenadas espectrales para disminuir las frecuencias ordinarias. Otro propósito de los filtros es clarificar la conducta

resonante para atenuar la energía a frecuencias lejos de la resonancia (Irving ,2000). Se usan a menudo filtros de Butterworth como filtros del anti-aliasing, es decir donde existen discontinuidades en la señal o que se presenten picos.



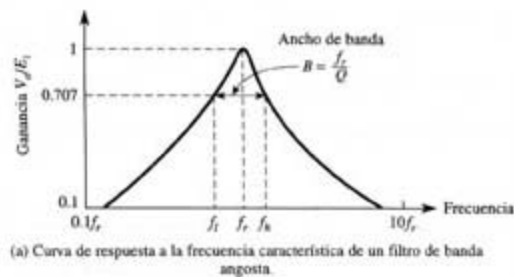
(b) Gráfica de la respuesta a la frecuencia del circuito de la parte (a).

Figura B.1.-filtro pasa bajas diseñado para una atenuación de -60dB/década y su respectiva grafica de respuesta de la frecuencia.



(b) Respuesta a la frecuencia del circuito de la parte (a).

Figura B.2.- Respuesta de la frecuencia de un filtro pasa altas Butterworth de 60dB/década.



(a) Curva de respuesta a la frecuencia característica de un filtro de banda angosta.

Figura B. 3.-filtro pasa bandas

**B.2 CORRECCIÓN DE LINEA BASE**

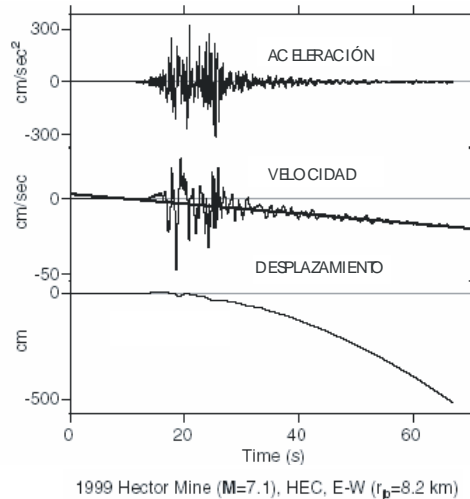
La corrección de línea base en los registros sísmicos es empleada para evitar errores de sobreestimación de las amplitudes registradas de un evento sísmico por incertidumbres durante la captura de la señal de aceleraciones. Esta corrección se lleva a cabo bajo el concepto de establecer una base u eje cero para la señal, ya que estas como tales son capturadas en el dominio del tiempo de donde se parte para el resto del análisis.

La experiencia indica que durante las grabaciones digitales de las señales (en este caso las provocadas por sismos), estas son plagadas de “descompensaciones en la línea base” (Boore, et al, 2002; Sauve et al., 2004), pequeños pulsos o saltos e incluso distorsiones en la referencia del nivel del nivel de movimiento

La corrección de línea base se puede efectuar por intervalos de tiempo (ventanas) donde se presente un corrimiento de la señal en donde:

$$X_c(t) = X(t) - \frac{\sum_{t_i}^{t_f} X(t)}{N} \tag{B.1}$$

Estos valores de desplazamiento o desfase del eje cero durante la captura pueden ser diminutos en aceleraciones sin embargo al realizar una doble integración para la obtención de las historias de velocidad y desplazamiento el error o desfase por cada punto se traduce como incremento de la posición del eje al efectuar la integración del acelerograma de tal forma que por definición de la integral numérica cada error se va acumulando, dando lugar a un comportamiento curvilíneo a simple vista de la señal que se ha integrado, la figura 4 esquematiza este caso.



**Figura B.4.- Corrimiento de la señal de aceleraciones después de una doble integración (Boore, et al, 2002)**

Existen factores tales como la acumulación de la estática de la señal al momento pasar por el convertidor analógico-digital o incluso por las inclinaciones del terreno, así como a la variedad de aparatos o sensores que se estén empleando para la captura de información ya que estos tienen diferente resolución de captura. Es debido a ello que la corrección muchas veces no puede ser aplicada de forma universal al registro completo o a los registros de un mismo sismo, ello implica la corrección de cada uno de los registros de manera independiente y en muchas ocasiones por sectores o ventanas dentro de un mismo registro.

**B.3 SUAVIZADO DE LA SEÑAL**

El suavizado es una técnica que nos permite obtener el comportamiento o la tendencia que una señal, en este, un espectro de Fourier, tiene en un intervalo de frecuencias para el cual las amplitudes varían de tal forma que describen comportamientos abruptos como saltos o picos, en este caso si la señal es demasiado ruidosa o aleatoria será necesario suavizarla para apreciar mejor la envolvente o comportamiento de la señal.

Podemos decir que las ordenadas del espectro suavizado muestran básicamente una disminución comparadas con las ordenadas de un espectro sin suavizar, y la ausencia de picos o pequeñas irregularidades en la señal. Esto puede explicarse porque el suavizado se realiza mediante promedios cuadráticos en un intervalo centrado en la frecuencia de interés. La amplitud suavizada para una frecuencia “f” de una señal  $A_s(f)$ , se calcula como se muestra en la ecuación B.2

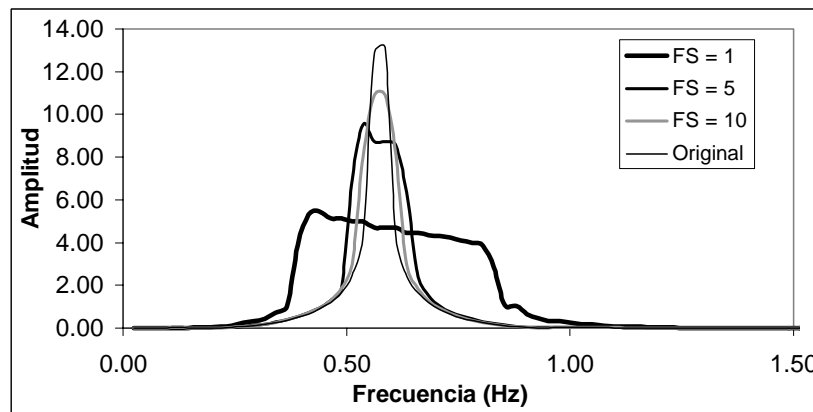
$$[A_s(f)]^2 = \frac{1}{N} \sum [A(f)]^2 \tag{B.2}$$

Donde la suma se efectúa entre las frecuencias  $f_1$  y  $f_2$  dadas por

$$\begin{aligned} f_1 &= f \cdot 2^{\left(\frac{-1}{2FS}\right)} \\ f_2 &= f \cdot 2^{\left(\frac{1}{2FS}\right)} \end{aligned} \tag{B.3}$$

Donde N es el número de puntos entre las frecuencias  $f_1$  y  $f_2$ . De estas expresiones podemos ver que:

A medida que aumenta el factor de suavizado, los puntos que quedan en el intervalo de la sumatoria, es decir, entre las frecuencias  $f_1$  y  $f_2$ , van disminuyendo, esto es, que el intervalo en el que se toma el promedio va acortándose cada vez más, hasta que en el límite cuando  $FS \rightarrow \infty$  la amplitud suavizada es la misma que la amplitud espectral original (Figura B.5).



*Figura B.5.- Gráfica comparativa usando diferentes factores de suavizado*

A medida que aumenta la frecuencia, el intervalo en el que se toma el promedio se va haciendo cada vez más grande (aumenta N) y se suaviza más, es decir, disminuye más la ordenada espectral y la banda del espectro se hace más ancha para conservar la energía.

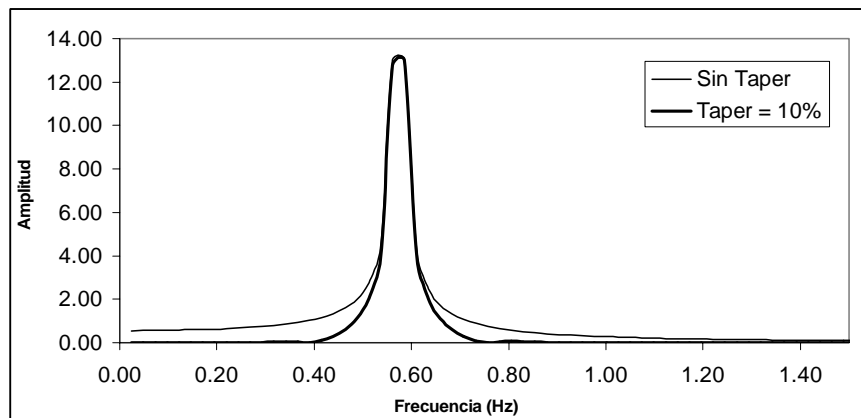


Por lo que al aplicar suavizado a un sector o ventana de una señal, es decir, un intervalo de puntos de la señal, esta presentara una disminución en sus ordenadas espectrales a medida que el factor de suavizado crece.

#### B.4 TAPER

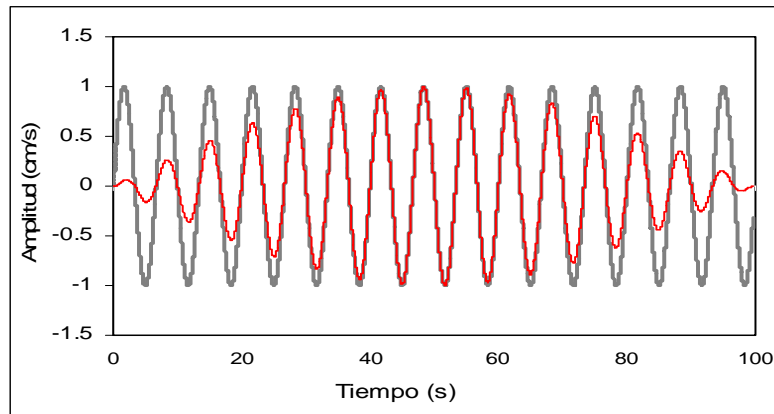
Este procedimiento se emplea para corregir el contenido frecuencial que existe al inicio, final o incluso durante la historia de la señal, que para nuestro caso son registros sísmicos. El procedimiento consiste en multiplicar la señal original por una función cosenoidal, en un cierto porcentaje al inicio y al final. Para este ejemplo se usó 10%. Lo que se logra es disminuir las discontinuidades de la señal en los extremos, y de esta manera cuando queremos reproducir la señal original mediante el espectro de Fourier puede hacerse más fácilmente y no aparecen contenidos frecuenciales indeseables fuera de las frecuencias que sí están presentes en la señal y que para fines analíticos nos pudieran llevar a pensar que existen sobreestimaciones de la amplitud en el espectro de Fourier.

Esto puede verse en la gráfica de la figura B.6 , donde al principio del espectro, cuando se ha usado Taper, puede verse que no hay contenido frecuencial, ni al final. Cuando no se usa el Taper, aparecen ordenadas frecuenciales en zonas donde no debería haberlas en teoría, al principio y al final de la señal.



*Figura B.6.- Gráfica comparativa entre una señal con taper y otra sin Taper*

El porcentaje de Taper se emplea para un 100% de la señal elegida o para una ventana en específico de la cual haya que analizarse, ello implica que si se emplea por ejemplo un 10% de Taper, se aplicará 10% al inicio y 10% al final de la señal. Si el porcentaje crece hasta 50%, que en suma nos daría el 100% de nuestra señal, el comportamiento sería el mostrado en la figura B.6 y se le conoce como señal modulada.



*Figura B.7.- Gráfica comparativa entre una señal en el tiempo modulada y una simple*

Aunque vale la pena destacar el hecho de que la aplicación del Taper se utiliza en el dominio de la frecuencia, ya que para el caso de la aplicación de Taper en el dominio del tiempo ocasiona un decremento en la amplitud de la señal original provocando que al pasar al dominio de la frecuencia las ordenadas se acorten y se modifique con ello su contenido energético en la señal. Al emplearse de manera directa en el dominio de la frecuencia, el contenido energético así como las ordenadas frecuenciales en la señal original es el dado por su transformación empleando transformada de Fourier de tal forma que al aplicar el Taper se observará que los contenidos de frecuencia al inicio y fin de la señal son prácticamente nulos.

## APÉNDICE C

### MEDICIÓN DE LOS FENÓMENOS SÍSMICOS

#### C.1 INTENSIDAD DE ARIAS

Existen parámetros empleados para medir la cantidad de energía que libera un sismo así como otras formas de poder comparar su *tamaño* respecto de otro sismo.

En este caso la intensidad se ha tomado como medida de los eventos sísmicos tanto como para medir su potencial de energía como para determinar el tamaño en términos numéricos, de un sismo. Generalmente la intensidad es mayor en el área epicentral, que es donde se presenta la perturbación o movimiento tectónico (foco), y va decreciendo a medida que se aleja de éste, de esta forma el termino de intensidad epicentral es una medida del tamaño del sismo. (*Referencia 1*).

En el caso del análisis de datos que se recaban de los registros sísmicos en edificios instrumentados se ha adoptado una metodología para estimar la intensidad que éste ha alcanzado y actualmente se emplea la aceleración máxima horizontal para determinar la intensidad de los sismos, este concepto se ha adoptado en lo que ahora se conoce como Intensidad de Arias, desarrollada precisamente por Arturo Arias (*Arias, 1973*), misma que basa su concepto en la obtención de la capacidad del daño sísmico.

Arias define la intensidad como la cantidad de energía por unidad de peso disipada por una familia de osciladores de un grado de libertad, cuyas características están comprendidas en el rango  $(0, +\infty)$ , para un cierto sismo y amortiguamiento dados (*Husid, 1998*)

La expresión para la determinación de la intensidad de Arias se sustenta en el hecho de que la aceleración de un sismo en un punto varía de forma cuadrática con respecto a la intensidad en el mismo punto dado, la expresión es la siguiente:

$$I_{xx}(\xi) = \frac{f(\xi)}{g} \cdot \int_0^{t_0} a_x^2(t) dt \quad (C.1.1)$$

donde :

$I_{xx}(\xi)$  = intensidad en un punto a lo largo del eje x.

$$f(\xi) = \cos^{-1} \left( \frac{1}{1 - \xi^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$\xi$  = coeficiente de amortiguamiento con respecto al crítico , ( $\xi=c/c_c$ )

$a_x(t)$  = aceleración del suelo según el eje X, en el instante t.

$t_0$  = duración total de acelerograma.

$g$  = aceleración de la gravedad.

La expresión anterior se puede simplificar si reconsidera un rango de amortiguamiento (en este caso se trata del amortiguamiento viscoso según la consideración de Arias), que varíe en el intervalo de entre 0.02 y 0.2, de forma similar que  $f(\xi)$  varíe entre del rango de entre 1.57 y 1.40 a lo que la intensidad de Arias puede ser expresado como:

$$I_A = \frac{\pi}{2g} \cdot \int_0^{t_0} a_x^2(t) dt \quad (C.1.2)$$

En otras palabras la intensidad de Arias considera como modelo estructural el oscilador lineal simple con amortiguamiento viscoso y no depende entonces de la frecuencia propia de la estructura (*Husid, 1998*). De tal forma que como la influencia del amortiguamiento es mínima por lo que la frecuencia natural de vibración amortiguada se puede hacer igual a cero de tal forma que la expresión de Arias se normaliza dando lugar a la expresión(B.2).

Donde:

$I_{Axx}$  = intensidad del sismo en la dirección del eje x.

En este caso la expresión mostrada permite que en el calculo de la intensidad de Arias el amortiguamiento no se tome en cuenta de forma directa para cada  $\Delta t$ , de esta forma la Intensidad de Arias es independiente del amortiguamiento de cada estructura en estudio.

La expresión puede ser expresada como se muestra donde depende ahora de la frecuencia.

$$I_{A,xx} = \frac{1}{2g} \cdot \int_0^{\infty} |F_{ax}(\omega)|^2 d\omega \quad (C.1.3)$$

Con ello se puede determinar el daño estructural que sufren las edificaciones ya que la intensidad esta ligada con el tiempo que dura el evento sísmico, en este caso el tiempo de registro de aceleraciones, la amplitud de las mismas a lo largo del registro sísmico y de su contenido frecuencial (*Ref. 1*).

En el procesamiento de señales se ha empleado esta forma de cuantificar la medida de un sismo, empleando los registros de campo libre en las direcciones horizontales.

## C.2 MAGNITUD DEL SISMO

Otra medida significativa de los eventos sísmicos en la magnitud de estos, la magnitud es una medida en si cuantitativa que nos sirve para estimar el taño del evento. Se ha establecido que aunque no se tiene un limite en la escala de medición de la misma si se presenta un cierto limite físico debido a la configuración del material del cual esta conformada la corteza terrestre y en consecuencia los esfuerzos que se logren almacenar entre las placas.

Los registros sísmicos obtenidos de edificios instrumentados permiten obtener otro parámetro de interés. Después de ocurrir un evento sísmico la magnitud del mismo es un dato que permite obtener información referente a la cantidad de energía que se ha liberado o que ha producido, para lo cual se han desarrollado criterios para valuar de forma cuantitativa el efecto de estos y relacionarla con la energía sísmica que es liberada tomando como punto de partida la información de los registros sísmicos que hayan obtenido en estaciones de monitoreo así como de los proporcionados por los de las estructuras instrumentadas.

Las diferentes escalas que son empleadas para cuantificar la magnitud dependen del efecto de las ondas que se requiera medir ya de manera local ( $M_L$ ) en cuyo caso la expresión a emplearse es:

$$M_L = \log A - \log A_0 \quad (\text{C.2.1})$$

Donde :

A = máxima amplitud registrada.

A<sub>0</sub> = amplitud máxima de un sismo patrón.

Así mismo si la escala basa en la magnitud máxima que producen las ondas superficiales es calculada mediante la expresión:

$$M_s = \log_{10} \left( \frac{A}{T} \right) + 1.66 \cdot \log_{10} \cdot D + 3.30 \quad (\text{C.2.2})$$

Donde :

A = magnitud del terreno medida en micrómetros.

T = es el periodo de la onda medida en segundos.

D = distancia epicentral en grados.

Esta expresión es empleada en particular para medir la amplitud de las ondas de periodos largos.

De manera similar con el fin de conocer la magnitud de las ondas con mayor profundidad focal se emplea un factor de corrección que considera consideran las ondas de cuerpo con periodos cercanos a 1.0 segundos en este caso se emplea la siguiente ecuación:

$$m_b = \log \left( \frac{A}{T} \right) + Q(D, h) \quad (\text{C.2.3})$$

Donde:

m<sub>b</sub> = magnitud basada en la amplitud de las ondas de cuerpo con periodos cercanos a 1.0 segundos.

A = amplitud del terreno en micrómetro.

T = es periodo en segundos.

Q = factor de atenuación que esta en función de la distancia D.

D = distancia en grados considerando la distancia focal en kilómetros.

## APÉNDICE D

### PROPUESTA DE FORMATO PRELIMINAR

Formatos empleados para la elaboración del reporte final, a continuación se muestran las partes que lo conforman.

Reporte de respuesta sísmica del edificio:									
					Coordenadas Epicentrales				
Evento	Fecha	Localización	Hora	Magnitud	Latitud	Longitud	Distancia Epicentral	Iax	Iay

clave	sensor	Aceleraciones(maximas)			Velocidades(maximas)			Desplazamientos(maximos)		
		L	T	V	L	T	V	L	T	V

DISTORSIONES	R	A				
	SISTEMA	SISTEMA-ISE	T	L	T	L
REGISTRO						

*Figura D.1.- parte 1*

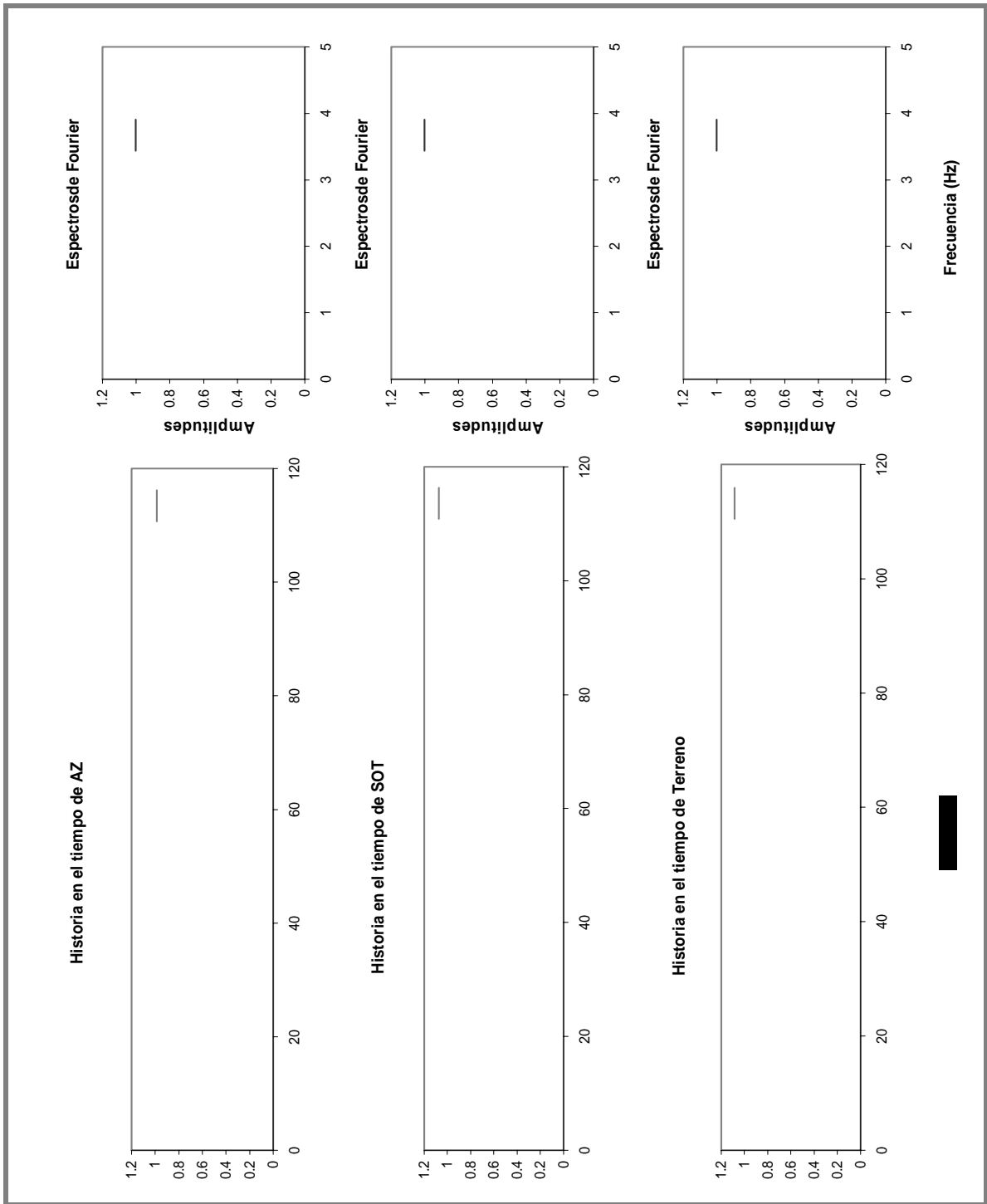


Figura D.3 Y D.4.- parte (dirección T y L)

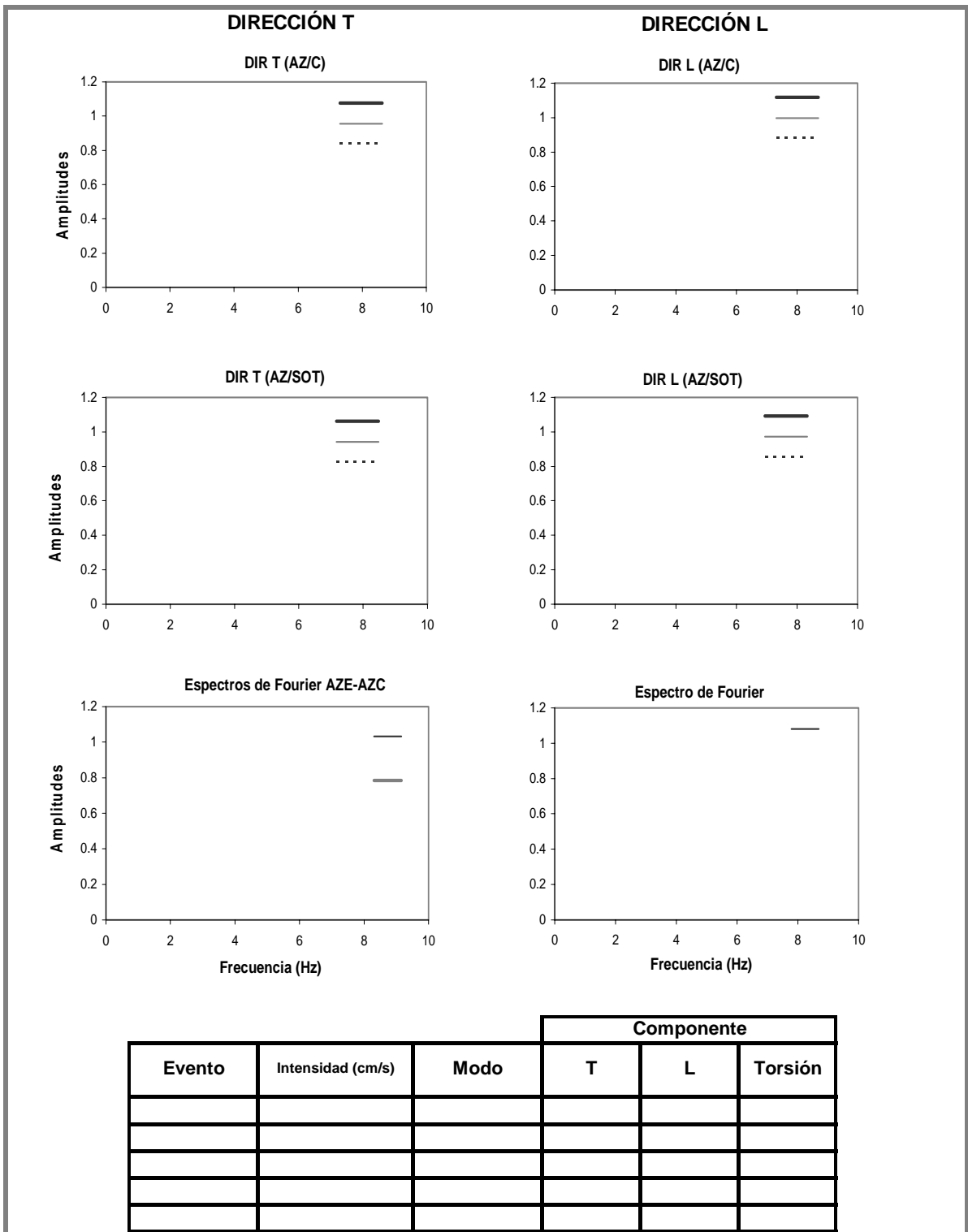


Figura D.4.- parte 4 (Funciones de Trasanferencia)



## CAPÍTULO 5

### REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

1. Apuntes de Intensidad, Magnitud, Momento Sísmico y Duración, (2002), "Versión 3 21-06", México D.F., Facultad de Ingeniería, UNAM.- proporcionado por el M.I. Gerardo Rodríguez Gutiérrez.
2. Alcántara Leonardo, Macías Marco A. y Almora David, (2002),"Algunas Experiencias En La Instrumentación Sísmica De Estructuras En México", Instituto de Ingeniería, UNAM, Ciudad Universitaria, México, DF .
3. Alcántara Leonardo, Murià Vila David, Vázquez Ricardo, Macías Marco A., Almora David, Torres Miguel, Velasco Juan M, Castro Gerardo, Ayala Mauricio, Sandoval Héctor, Vázquez Eduardo, (2004), "Instrumentación Sísmica de un Edificio de Telecomunicaciones", Series del Instituto de Ingeniería, UNAM.
4. Arias Arturo, (1973), "Earthquake Intensity and Smoothed Earthquake Spectra", artículo de la Universidad de Chile, Santiago, pp. 1659~1669.
5. Balena Francesco, (2000), "Programación Avanzada Con Microsoft Visual Basic", Edit. Mcgraw-Hill/ Interamericana De España.
6. Bazán y Meli R. (2002.) "Diseño sísmico de edificios", Limusa, 58. Reimpresión.
7. Bendat J. S. y Piersol A. G. (1989), "Random Data. Analysis And Measurement Procedure", Wiley Interscience, New York.
8. Camargo Pérez José y Cruz Noguez Carlos Alonso, "Determinación Experimental De Propiedades Dinámicas y Efectos De Interacción Suelo-Estructura En Un Edificio De 18 Niveles Desplantado En La Zona Lacustre De La Ciudad De México", (2004), Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM.
9. Ceballos Sierra Francisco Javier, (2000), "Curso De Programación De Visual Basic 6.0", Edit. Alfaomega, México D.F .
10. C. Sauve Anne And P. Speed Terence,(2004), "Normalization, Baseline Correction And Alignment Of High-Throughput Mass Spectrometry Data", Department of Statistics, University of California, Berkeley, Division of Genetics And Bioinformatics, The Walter And Eliza Hall Institute, Australia.
11. Espinoza Barrera Fortunato, (1999) "Determinación de características dinámicas de estructuras" Tesis de Doctorado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puentes Universidad Politécnica de Cataluña.
12. Fuentes Olivares Luis Roberto, (2000), "Modelos Calibrados De Un Edificio Instrumentado", Tesis de Maestría, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM.
13. Graizer Vladimir, (2003), "Record Processing Considerations For The Effects Of Tilting And Transients", California Geological Survey, Strong Motion Instrumentation Program, California.
14. Hernández Díaz José Luis, (1998) "Procesamiento y Análisis De Los Registros Sísmicos Obtenidos Entre 1993 y 1997 En Un Edificio De 14 Niveles De La Ciudad De México", Tesis de Maestría, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM.

15. Husid Raúl, (1973), "Earthquakes", Capítulo 1: "Earthquakes Characteristics General Analysis", Revisita Del Idem, Vol. 8, N° 1, pp. 15-40.
16. Irving Tom; ,. An Introduction to The Filtering of Digital Signals", Article March 31, 2000
17. Leonardo Alcántara N, David Muriá- Vila, David Almora M, Marco A. Macias C, Gerardo Castro P, Juan M. Velasco M, Miguel Torres N, Ricardo Vázquez L, Mauricio Ayala H, Jesús G. Ylizaliturri R, Eduardo Vázquez M, Citlali Pérez Y, Rector Sandoval G, Ana L. Ruiz G, Rosario Delgado D, (2003) "Implementación De Una Red Sísmica En Un Edificio Alto De La Ciudad De Acapulco", Series Del Instituto De Ingeniería, UNAM, Proyecto N° 1501 Y 3522.
18. Leonardo Alcántara, David Muria, David Almora, Juan M Velasco, Miguel Torres, Ricardo Vázquez, Eduardo Vázquez y Marco A. Macías, (2004), "Sistema de Monitoreo Remoto En un Edificio Localizado En una Ciudad Expuesta a un Peligro Sísmico Mayor", Series del Instituto de Ingeniería Instituto De Ingeniería, U.N.A.M, Ciudad Universitaria, México, D.F.
19. M. Boore David, D. Stephens Christopher, and B. Joyner William, (2002), "Comments on Baseline Correction Of Digital Strong-Motion Data: Examples From The 1999 Rector Mine, California, Earthquake", Bulletin OfThe Seismological Society Of America, Vol. 92, No.4, pp. 1543-1560, May 2002.
20. Mehmet Celebi. (2000), "Seismic Instrumentation of Buildings", Report 00~157. Los Angeles California.
21. Mena E., Hernandez L., Prince J., (1981), "Instrumentación sísmica. Estudios para mejorar la reglamentación estructural en el Distrito Federal", Series del Instituto de Ingeniería, UNAM, proyecto N° 0749
22. Muriá-Vila D. y González R. (1995). "Propiedades dinámicas de edificios de la ciudad de México", Revista de Ingeniería de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, N° 51, pp. 25~ 45.
23. Muriá-Vila D. y Rodríguez G. (1999), "Análisis de los registros sísmicos obtenidos de 1993 a 1998 en el edificio Jal", Series del Instituto de Ingeniería, UNAM, Proyecto N° 9529.
24. Muriá- Vira David, Fuentes Olivares Luis, Rodríguez Gutiérrez Gerardo, Zapata Escobar Arabella, (1998), "Instrumentación Sísmica Del Edificio JAL ", Series Del Instituto De Ingeniería, UNAM, Proyecto N° 8534.
25. Muriá-Vila David y Rodríguez Gutiérrez Gerardo, (2001), "Pruebas De Vibración Ambiental En Dos Edificio Altos De La Ciudad De México", Series Del Instituto De Ingeniería, UNAM, Proyecto N° 1538.
26. Quas Roberto, Almora David, Leonardo Alcántara, Jesús Ylizaliturri, Marco A. Macias, (1999) "Instrumentación Sísmica Del Edificio Jal. Operación Y Registro De Datos Durante 1999", Series Del Instituto De Ingeniería, UNAM, Proyecto N° 9548.
27. Moreno Rubin De Celis Sergio Mauricio, (1994), "Análisis De La Respuesta Estructural Del Edificio Jalapa Ante Sismos Intensos", Tesis de Maestría, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM.
28. NTC- DF, Normas Técnicas Complementarias Para Diseño Por Sismo, 2002
29. RCDF "Propuesta de Normas Técnicas para Diseño por Sismo", abril 2001

30. Taborda R. (2004) "Determinación de propiedades dinámicas y efectos de interacción suelo-estructura en un edificio instrumentado en Acapulco", Tesis de Maestría, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM.
31. Tena, A., (1997), "El Macrosismo de Manzanillo del 9 de octubre de 1995", Universidad de Colima, Gobierno del Estado de Colima y Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, A.C., pp. 197-232.
32. Todorovska Maria And W. Lee Vincent, (2004), "Strong Motion Data Processing And Recording At University Of Southem California", Civil And Environmental Engineering Department University Of Southern California Los Angeles, Ca 90089-2531.
33. T .Travasarou, J. Bray, And N. Abrahamson, (2002), "Empirical Attenuation Relationship for Arias Intensity", article from University of California, Berkeley.
34. Trifunac and Todorovska, (2001), "Evolution of Acelerographs, Data Processing, strong motion arrays and amplitude and spatial resolution in recording strong earthquake motion", University of Southem California, Departament of Civil and Enviromental Engineering, Los Angeles California.
35. Vera De Payer Elizabeth, articulo: "Análisis Conjunto Tiempo-Frecuencia Representaciones Cuadráticas", articulo de consulta (2004).
36. Zapata Escobar Arabella, (2001) "Estudio De La Respuesta Dinámica De Un Edificio Instrumentado", Tesis de Maestría, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM.
37. Wakabayashi Minoru y Martínez Romero Enrique, (1998), "Diseño de Estructuras Sismorresistentes", edit. McGraw-Hill, 1ª edición, México.

#### REFERENCIAS DE INTERNET

38. <http://lperso.wanadoo.es/chyryes/glosario/filtrbut.htm>. (2005)
39. <http://www.Gestialba.Com/Public/Visualcast/Visualcasto>, (2005), "Acceso a Ficheros Secuenciales".
40. <http://www.cybercursos.net>, (2004), documento PDF; "Macros en MS-EXCEL".