

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



“EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS DEL ESPECTRO
DE DISEÑO SISMICO DE LA NTDS-94 A PARTIR DE ESPECTROS DE
RESPUESTA GENERADOS CON DATOS REGISTRADOS EN EL SALVADOR
DURANTE LOS SISMOS DE 1982, 1986 Y 2001”.

PRESENTADO POR:

CAMILO AUGUSTO CHOTO NOVA

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2008

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SÁNCHEZ

SECRETARIO GENERAL :

LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO SÁNCHEZ

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIO :

ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR :

MSc-ING. FREDY FABRICIO ORELLANA CALDERÓN

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título

:

“EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS DEL ESPECTRO DE
DISEÑO SISMICO DE LA NTDS-94 A PARTIR DE ESPECTROS DE RESPUESTA
GENERADOS CON DATOS REGISTRADOS EN EL SALVADOR DURANTE LOS
SISMOS DE 1982, 1986 Y 2001”

Presentado por

:

CAMILO AUGUSTO CHOTO NOVA

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docentes Directores

:

ING. ADRY VIVINA FLORES

DIPL-ING; ING. MANUEL DE JESUS GUTIERREZ

San Salvador, Agosto de 2008

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docentes Directores:

ING. ADRY VIVINA FLORES ALVARADO

DIPL-ING; ING. MANUEL DE JESUS GUTIERREZ

AGRADECIMIENTOS:

A Dios: Gracias por haberme dado la sabiduría, paciencia, salud e inteligencia, haberme permitido salir abante y cumplir las metas que a través del tiempo y sacrificios me has permitido alcanzar.

A mis Docentes Directores: Gracias por compartir su tiempo, conocimientos y ayuda para poder finalizar este Trabajo de Graduación.

Al Personal Docente de la Escuela de Ingeniería Civil: Gracias por compartir, enseñar y cultivar con paciencia la semilla de los futuros profesionales del país.

A las personas que en particular me dedicaron su tiempo y conocimientos profesionales sin pedir ni esperar nada a cambio: Ing. Edgar Armando Peña Figueroa, Ing. Douglas A. Hernández, Ing. Luís Rodolfo Nosiglia Durán, Ing. Ranulfo Cárcamo y Cárcamo, Ing. Mauricio Valencia e Ing. Salvador Vasquez-O'connor (QDDG).

HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA.

DEDICATORIAS.

A mi Madre: María Concepción Nova. Gracias por haberme ayudado durante todo el recorrido de mi carrera, por tu apoyo, por tu comprensión y sobretodo por tu amor incondicional, te dedico de manera especial este triunfo.

¡Gracias infinitas MADRE!

A mis seres queridos que aunque ya no están aquí, siempre me han acompañado, apoyado y dirigido donde quiera que estén (QDDG): mi padre Jorge Cesar Armando Choto y mis abuelitas María Díaz de Nova y Felipa Mendoza de Choto.

A mis hermanos: César, Claudio y Carol gracias por haber estado conmigo siempre.

A mi amigo, compañero, colega y hermano Carlos Antonio Acevedo Laínez, por los años de universidad, de estudios, de amistad, de vivir y compartir.

A mis amigas del alma Marcela Acevedo y Marielos “Yeyos” Vásquez gracias por todos estos años de su amistad.

Y como olvidar a mis compañeros de la “U” ahora colegas ingenieros: Carlos Amílcar Dubon, Juan A. Duarte, Jimmy M. Soriano, Alex Orellana, Rolando Samayoa, Letty Ortiz, Fátima Hernández y Ever Eliseo Hernández.

Por todos los años que compartimos en clases, en parciales, en trabajos, en reuniones de estudio y por supuesto en “reuniones sociales”.

CAMILO AUGUSTO CHOTO NOVA.

INDICE

CAPITULO I: GENERALIDADES.

1.1.	INTRODUCCION.	I
1.2.	ANTECEDENTES.	III
1.3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	IV
1.4.	ALCANCES.	VI
1.5.	OBJETIVOS.	VII
1.5.1.	Objetivo General.	VII
1.5.2.	Objetivos Específicos.	VII
1.6.	JUSTIFICACION.	VIII
1.7.	LIMITACIONES.	IX

CAPITULO II: SISMICIDAD DE EL SALVADOR.

2.1	INTRODUCCION.	I
2.2	VIGILANCIA SISMICA EN EL SALVADOR.	4
2.2.1	Estaciones de Registro en el Lugar.	5
2.2.2	Red Nacional de Telemetría Sismica.	7
2.2.3	Red de Movimiento Fuerte.	9
2.2.4	Pozos a Cielo Abierto.	11
2.3	INTENSIDAD SISMICA Y MAGNITUD.	12

2.3.1	Intensidades.	12
2.3.2	Magnitudes.	18
2.4	PELIGROSIDAD SISMICA.	22
2.4.1	Peligrosidad Sísmica en El Salvador.	27
2.5	LEYES DE ATENUACION.	32
2.5.1	Amplificación de Ondas por Efecto de Sitio.	35
2.6.	EVENTOS SISMICOS DE INTERES PARA LA EVALUACION DEL ESPECTRO DE DISEÑO DE LA NTDS-94.	37
2.6.1.	Sismo del 17 de junio de 1982.	38
2.6.2.	Sismo del 10 de octubre de 1986.	39
2.6.3.	Sismo del 13 de enero de 2001.	46
2.6.4.	Sismo del 13 de febrero de 2001.	47
CAPITULO III: ANALISIS DEL ESPECTRO DE DISEÑO DE LA NTDS-94.		
3.1.	INTRODUCCION.	50
3.2.	DEMANDA SISMICA.	51
3.3.	ESPECTROS DE RESPUESTA.	52
3.3.1	Procedimiento de Cálculo de un Espectro de Respuesta Elástico.	56
3.3.2	Pseudo Espectros.	59
3.4	ESPECTROS DE DISEÑO.	61

3.5	ESPECTROS DE DEMANDA.	62
3.5.1	Procedimiento para calcular el espectro de demanda.	62
3.6	ESPECTRO DE DISEÑO PARA EL SALVADOR.	65
3.6.1	Zonificación Sísmica.	70
3.6.2	Geología Local y Características del Suelo.	71
3.6.3	Categorías de Ocupación.	73
CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS.		
4.1.	INTRODUCCION.	79
4.2	SISMO DEL 19 DE JUNIO DE 1982.	85
4.2.1	Cálculo de Aceleraciones Pico Efectivas.	85
4.3	SISMO DEL 10 DE OCTUBRE DE 1986.	91
4.3.1	Calculo de Aceleraciones Pico Efectivas.	92
4.4.	SISMO DEL 13 DE ENERO DE 2001.	97
4.4.1	Calculo de Aceleraciones Pico Efectivas.	97
4.5	SISMO DEL 13 DE FEBRERO DE 2001.	107
4.5.1	Calculo de Aceleraciones Pico Efectivas.	107
4.6.	ANALISIS DE RESULTADOS.	110
4.6.1	Espectros de Respuesta para Perfil de suelo S1.	111
4.6.2	Espectros de Respuesta para Perfil de suelo S2.	113

4.6.3	Espectros de Respuesta para Perfil de suelo S3.	116
4.6.4	Análisis de los sismos del 13 de enero y 13 de febrero de 2001.	119
4.6.5	Acercaciones Pico Efectivas para los sismos de 1982, 1986 y 2001.	120

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1	CONCLUSIONES.	131
5.2	RECOMENDACIONES.	134

REFERENCIAS		143
-------------	--	-----

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO II: SISMICIDAD DE EL SALVADOR.

Figura 2.1.	Fuentes generadoras de sismos locales.	11
Figura 2.2.	Fuentes generadoras de sismos regionales.	12
Figura 2.3.	Mapa de ubicación de estaciones telemétricas.	16
Figura 2.4.	Mapa de ubicación de estaciones acelerográficas del SNET.	19
Figura 2.5.	Máximas intensidades sísmicas en la escala de Mercalli Modificada.	26
Figura 2.6.	Etapas de la evaluación de la peligrosidad sísmica.	33
Figura 2.7.	Mapa de peligrosidad sísmica desarrollado por el USGS.	36
Figura 2.8.	Mapa de peligrosidad sísmica desarrollado por Stanford University.	37

Figura 2.9.	Mapa de peligrosidad sísmica desarrollado por NORSAR-CEPREDENAC.	38
Figura 2.10.	Mapa de peligrosidad sísmica desarrollado por la UNAM.	39
Figura 2.11.	Espesores de tierra blanca del Área Metropolitana de San Salvador.	41
Figura 2.12.	Efecto de paso de ondas sísmicas. (Tsige y García, 2006).	44
Figura 2.13.	Espectros de respuesta típicos y estructuras que pueden verse dañadas (Benito Y Cabañas, 2000).	45
Figura 2.14.	Mapa de Isosistas del sismo del 19 de junio de 1982.	48
Figura 2.15.	Imágenes del colapso del Edificio Rubén Darío y el Monumento al Salvador del Mundo. (Fuente www.elsalvador.com)	49
Figura 2.16.	Mapa de Isosistas del sismo del 10 de octubre de 1986.	46
Figura 2.17.	Imágenes del deslizamiento en Las Colinas. (Fuente www.geologosdelmundo.org)	53
Figura 2.18.	Mapa de Isosistas del sismo del 13 de enero de 2001.	55
Figura 2.19.	Destrucción de Iglesia San Vicente. (Fuente www.rescate.com).	57
Figura 2.20.	Mapa de Isosistas del sismo del 13 de febrero de 2001.	58

CAPITULO III: ANALISIS DEL ESPECTRO DE DISEÑO DE LA NTDS-94

Figura 3.1	Espectro de respuesta elástico.	60
------------	---------------------------------	----

Figura 3.2	Grafico indicativo del método de determinación del espectro de respuesta.	64
Figura 3.3	Espectro de desplazamientos.	73
Figura 3.4	Espectro de demanda en formato S_{ae} vs. S_{de} .	74
Figura 3.5	Espectros de Diseño según NTDS para categoría de ocupación I.	85
Figura 3.6	Espectros de Diseño según NTDS para categoría de ocupación II.	85
Figura 3.7	Espectros de Diseño según NTDS para categoría de ocupación III.	85
Figura 3.8	Espectros de Diseño según NTDS para categoría de ocupación I.	87
Figura 3.9	Espectros de Diseño según NTDS para categoría de ocupación II.	88
Figura 3.10	Espectros de Diseño según NTDS para categoría de ocupación III.	88

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS

Figura 4.1	Imagen del programa Degtra NET 2007.	89
Figura 4.2	Imagen del programa SeismoSignal 3.2.0.	89
Figura 4.3	Área bajo la curva para calcular la EPA.	95

INDICE DE TABLAS

CAPITULO II: SISMICIDAD DE EL SALVADOR

Tabla 2.1	Constantes principales de los sismógrafos tipo Wiechert.	6
Tabla 2.2	Distribución y ubicación de las estaciones telemétricas.	8

Tabla 2.3	Distribución y ubicación de las estaciones acelerográficas.	11
Tabla 2.4	Escala de Mercalli Modificada, según C.F. Richter.	14
Tabla 2.5	Clasificación del daño en edificios de mampostería, según escala Mercalli Modificada.	15
Tabla 2.6	Clasificación del daño en edificios de concreto reforzado, según escala Mercalli Modificada.	16
Tabla 2.7	Valores de σ y γ utilizados para las leyes de atenuación.	34
Tabla 2.8	Lista de sismos destructores para el siglo XX en El Salvador.	37

CAPITULO III: ANALISIS DEL ESPECTRO DE DISEÑO DE LA NTDS-94

Tabla 3.1	Valores de amortiguamiento ζ recomendados por Newmark y Hall.	58
Tabla 3.2	Aceleración pico equivalente, aceleración corregida por duración y ordenadas máximas del espectro de diseño.	68
Tabla 3.3	Factor A de zonificación sísmica.	71
Tabla 3.4	Coeficientes de Sitio C_0 y T_0 .	72
Tabla 3.5	Factores de Importancia.	74
Tabla 3.6	Categorías de Ocupación.	74

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS

Tabla 4.1	Características Geológicas de las Estaciones Acelerográficas.	82
Tabla 4.2	Comparación Clasificación de Suelos entre NEHRP-03 y NTDS-94.	83

Tabla 4.3	Calculo de la Aceleración Pico Efectiva (en cm/s^2).	87
Tabla 4.4	Comparación de resultados sismo del 19 de junio de 1982.	89
Tabla 4.5	Comparación de resultados sismo del 10 de octubre de 1986.	94
Tabla 4.6	Comparación de resultados sismo del 13 de enero de 2001.	100
Tabla 4.7	Comparación de resultados sismo del 13 de febrero de 2001.	108
Tabla 4.8	Aceleraciones Pico Efectivas para los sismos del 13 de enero y 13 de febrero de 2001.	119
Tabla 4.9	Aceleraciones Pico Efectivas Promedio y Promedio más desviación estándar.	120

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION.

Los objetivos de los códigos de diseño sismorresistente son el de evitar colapsos durante sismos de gran intensidad que se presentan durante la vida útil de estas estructuras y que a la vez no presenten daños de consideración durante sismos moderados, además de disminuir los daños a niveles económicamente admisibles ^[12].

Los registros sísmicos son una herramienta de gran utilidad para los ingenieros estructuristas para diseñar construcciones sismorresistentes debido a que pueden estimar el valor máximo de la respuesta (usualmente en términos de aceleración) sin necesidad de evaluar la historia temporal completa.

La espectros de diseño son de gran importancia en un código de diseño sismorresistente, debido a que estos consideran el efecto de varios terremotos, es decir, que presentan una envolvente de los espectros de respuesta de los terremotos típicos de la zona, considerando factores que contemplan tanto las aceleraciones máximas, como otras características propias del país como lo son zonas sísmicas, geología local y características del suelo, categorías de ocupación, configuración estructural y sistemas estructurales; definiendo así a partir de todas estas características la Demanda Sísmica que se prevé una estructura estará soportando.

Se han desarrollado varias metodologías, basadas en procedimientos estadísticos, para obtener los espectros de diseño. El procedimiento más usual

CAPITULO I : GENERALIDADES

es considerar el valor promedio más la desviación estándar de los espectros de respuesta de varios terremotos representativos. Si los valores de los espectros de respuesta son similares, la desviación estándar es baja y la curva espectral se asemeja al promedio. Por el contrario, si los valores representan diferencias significativas, la desviación estándar es alta y la curva espectral se acerca al valor máximo, o incluso puede superarlo. De modo que este procedimiento tiene en cuenta la menor o mayor dispersión de los datos y conduce a resultados confiables ^[6].

En El Salvador, existe un espectro de diseño sísmico que se desarrolló a partir de un estudio de Peligrosidad Sísmica llevado a cabo por la Universidad Autónoma de México (Singh y otros, 1993). Este espectro de diseño se encuentra documentado en la Norma Técnica para Diseño por Sismo actual del país, publicada por el Ministerio de Obras Públicas, en el año de 1994.

Anteriormente a esta Norma, se han publicado dos más, siendo elaborada la primera en el año de 1966 como respuesta del sismo ocurrido en San Salvador el 3 de mayo de 1965, que fue básicamente una adaptación del reglamento de Acapulco. Después del terremoto del 10 de octubre de 1986 registrado nuevamente en San Salvador, la Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos (ASIA) elaboró el código de 1989, conocido como Reglamento de Emergencia del Diseño Sísmico de El Salvador (REDSSES) ^[23].

CAPITULO I : GENERALIDADES

A diferencia de las dos primeras normativas, la de 1994 incluye un estudio de las condiciones del subsuelo y no solamente la determinación de las cargas sísmicas a partir de la zona, el tipo de estructura y su uso. El diseño original de este estudio comprendía una microzonificación de San Salvador, pero esto no fue llevado a cabo.

En este Trabajo de Graduación se llevará a cabo una evaluación del espectro de diseño elástico que se encuentra en la Norma Técnica para Diseño por Sismo (NTDS-94); dicha evaluación se hará a partir de una comparación de tales espectros de diseño elásticos con los espectros de respuesta elásticos de aceleración absoluta generados a partir de datos recolectados por la Red Nacional de Movimiento Fuerte para las estaciones acelerográficas que hayan registrado los sismos del 19 de junio de 1982, 10 de octubre de 1986, 13 de enero y 13 de febrero de 2001.

1.2 ANTECEDENTES.

El Salvador se encuentra en una región de intensa actividad sísmica, generada por el proceso de subducción de la placa de Cocos bajo la placa del Caribe y por el activamiento de las fallas volcánicas y geológicas, tanto locales como de los países vecinos Guatemala y Honduras. Lo anterior requiere que se lleve a cabo una constante vigilancia de tal fenómeno, con el propósito de interpretar el

mecanismo de generación de dicha actividad sísmica y poder mitigar así los efectos por ella causados.

El Salvador ha sido afectado por numerosos terremotos, la mayor parte de los sismos reportados han tenido su epicentro en San Salvador, siendo así, la ciudad del continente americano que más veces ha sido destruida por eventos sísmicos. Su primera ruina sísmica ocurrió el 23 de mayo de 1575. Tan elevada ha sido la frecuencia de los sismos que han afectado a San Salvador, que en los últimos tres siglos la ciudad ha sido gravemente dañada por lo menos 14 veces. De esos eventos, 9 se han debido a sismos locales de la cadena volcánica sobre la que se ubica la ciudad, y cinco han sido ocasionados por sismos en la fosa de subducción del Océano Pacífico ^[5].

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Tradicionalmente la fuerza destructiva de los terremotos está relacionada con la aceleración máxima del terreno, en muchas ocasiones han sido observados daños poco relevantes en estructuras sometidas a movimientos sísmicos con una aceleración máxima muy alta. Por este motivo, en los últimos años se han tomado otras características de los sismos como lo son: contenido de frecuencias, duración, número de choques en un intervalo de tiempo dado, secuencia en que se producen dichos choques, etc., que tienen una influencia más importante en la degradación estructural.

CAPITULO I : GENERALIDADES

Actualmente se han desarrollado metodologías de diseño y análisis sísmico de estructuras, tales como la del *desempeño sísmico*, que sugieren tomar en cuenta los desplazamientos espectrales y no solamente las aceleraciones espectrales, utilizando así los llamados espectros de demanda y espectros de capacidad los cuales se generan en formatos A-D (Aceleración-Desplazamiento), el cual considera en una representación grafica las aceleraciones espectrales correspondientes a los desplazamientos espectrales, para un período y amortiguamiento dado. Esta metodología del diseño y análisis por desempeño es utilizada e incluida dentro de la normativa sismorresistente en países como Japón y Nueva Zelanda e investigadas en los Estados Unidos y Europa incluyéndolas en ciertos estudios como la FEMA-273 (Federal Emergency Management Association), ATC-40 (Applied Technology Council) y Eurocodigo-8.

En El Salvador esta filosofía de diseño y análisis sísmico por desempeño es prácticamente desconocida y para poder incluirla en nuestras normativas es necesario hacer una evaluación de los espectros de diseño actuales, dado que se han presentado eventos sísmicos más fuertes posteriores a la elaboración del espectro de diseño sísmico de 1994, es necesario evaluar si este actual espectro de diseño sísmico, satisface los requerimientos necesarios para diseñar una edificación que sea capaz de soportar eventos sísmicos tales como los terremotos del 13 de enero y 13 de febrero de 2001.

CAPITULO I: GENERALIDADES

Es por esto que se pretende realizar una evaluación del actual espectro sísmico de diseño a partir de una comparación con espectros sísmicos de respuesta generados a partir de datos registrados en el país para los sismos de 1982, 1986 y 2001.

1.4. ALCANCES

En este estudio se realizará una evaluación del espectro sísmico de diseño que se encuentra en la actual Norma Técnica para Diseño por Sismo (1994), tal evaluación se efectuará a través de la comparación del espectro de diseño sísmico con los espectros de respuesta elásticos de aceleración absoluta generados a partir de acelerogramas corregidos registrados en eventos sísmicos significativos que se hayan presentado en el país tales como los del 19 de junio de 1982, 10 de octubre de 1986, 13 de enero y 13 de febrero de 2001.

Los espectros de respuesta elásticos de aceleración absoluta serán generados con la ayuda de los programas de computación especializados para el procesamiento de acelerogramas Degtra NET 2007 y Seismosignal. Los acelerogramas registrados durante estos eventos han sido proporcionados por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) los cuales han sido registrados en estaciones acelerográficas ubicadas a lo largo del territorio salvadoreño que forman parte de la Red de Movimiento Fuerte del país.

La evaluación del espectro de diseño sísmico se realizará a través de una comparación del actual espectro de diseño presentado en la NTDS-94 y los espectros de respuesta de aceleración absoluta generados para las dos componentes horizontales y también para la componente vertical para cada una de las estaciones acelerográficas del país que tengan tales registros.

1.5 OBJETIVOS.

1.5.1 Objetivo General.

Realizar una evaluación del actual espectro de diseño sísmico a partir de espectros sísmicos de respuesta generados con datos registrados en El Salvador durante los sismos de 1982, 1986 y 2001.

1.5.2 Objetivos Específicos.

- Describir la Sismicidad de El Salvador y los estudios de peligro sísmico realizados para establecer el espectro de diseño sísmico actual.
- Generar los espectros elásticos de aceleración absoluta para las tres componentes ortogonales (Norte-Sur, Este-oeste y vertical) con la ayuda de los programas Degtra NET 2007 y Seismosignal para cada una de las estaciones acelerograficas que hayan registrado los sismos de 1982, 1986 y 2001.
- Presentar los acelerogramas y los espectros de respuesta elásticos de aceleración absoluta generados para cada una de las estaciones

acelerograficas que hayan registrado los sismos de 1982, 1986 y 2001.

- Realizar una comparación del actual espectro de diseño sísmico y los espectros de respuesta elásticos de aceleración absoluta generados con datos registrados en cada una de la estaciones acelerograficas durante los sismos de 1982, 1986 y 2001.

1.6 JUSTIFICACION

La constante presencia de eventos sísmicos en el país pone en riesgo la seguridad de las edificaciones y principalmente la seguridad de sus ocupantes. El correcto diseño sísmico de éstas es necesario para evitar pérdidas tanto económicas como humanas.

Las últimas solicitaciones sísmicas que se han presentado en nuestro país en el año 2001, obliga a efectuar una evaluación del espectro de diseño que se presenta en la actual Normativa Técnica para Diseño por Sismo que se está utilizando, es por esto que se considera necesario realizar una evaluación de la demanda sísmica expuesta en el país, sobretodo en el Área Metropolitana de San Salvador, que es donde se concentra la mayoría de construcciones relevantes y los daños son mayores.

Una evaluación del actual espectro de diseño elástico que se encuentra en la Norma Técnica para Diseño por Sismo de 1994 a partir de una comparación con

los espectros de respuesta elásticos de aceleración absoluta generados por eventos trascendentes tales como los de 1982, 1986 y 2001, ayudará a comprobar si la actual demanda sísmica con la que se diseñan las edificaciones es la correcta para diseñar edificios capaces de soportar las demandas sísmicas reales presentadas.

1.7. LIMITACIONES

El análisis de esta investigación tiene la siguiente serie de limitaciones:

- Los espectros de respuesta generados serán a partir de acelerogramas obtenidos en estaciones de la Red de Movimiento Fuerte del país, los cuales serán proporcionados por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET).
- Los espectros de respuesta elásticos de aceleración absoluta serán generados a partir de los programas de computación especializados en el procesamiento de acelerogramas Degtra Net 2007 y Seismosignal 3.2.0.
- La evaluación del espectro de diseño sísmico elástico presentado en la Norma Técnica de Diseño para Sismo (1994) se realizará comparando únicamente los espectros de respuesta de los sismos del 19 de junio de 1982, 10 de octubre de 1986, 13 de enero y 13 de febrero de 2001.

CAPITULO I: GENERALIDADES

- Los espectros de respuesta elásticos que se utilizarán para la comparación serán los de aceleración absoluta para un amortiguamiento del 5%.

CAPITULO II

SISMICIDAD DE EL

SALVADOR

2.1. INTRODUCCION.

El Salvador se encuentra en una región con alto índice de actividad sísmica. Las principales fuentes generadoras de sismos en el territorio nacional son:

- ✚ La cadena volcánica, que forma parte del cinturón de fuego del Pacífico y corre a lo largo del territorio. Se reconoce como un escalón en el terreno a unos 10 a 15 km del eje volcánico, desde Ilopango hasta San Miguel. Se asocia a la fosa central o graben centroamericano, en dirección Este-Oeste.
- ✚ Un sistema de fallas con dirección predominante Noroeste-Suroeste dentro del territorio salvadoreño.
- ✚ El proceso de subducción entre las placas tectónicas del Caribe y Cocos, cuyo movimiento relativo origina sismos cercanos a las costas salvadoreñas.
- ✚ Un sistema de fallas en Guatemala, Montagua-Polochic, que definen la frontera entre la placa de Norteamérica y la placa del Caribe.
- ✚ Un sistema de fallas con direcciones Norte-Sur, ubicadas en la depresión de Honduras.

A los sismos generados por las primeras dos fuentes se les denomina *locales*. (ver figura 2.1) Estos, generalmente ocurren a profundidades menores de 30 km. entre los sismos locales más destructivos se pueden mencionar: el de Jucuapa-Chinameca del 6 de mayo de 1951; el de San Salvador del 3 de mayo de 1965; el de San Salvador del 10 de octubre de 1986 y el de San Vicente del 13 de febrero de 2001. Los terremotos locales de la cadena volcánica no

alcanzan magnitudes mayores de 6.5, pero son la principal causa de destrucción de El Salvador debido a su coincidencia con las principales concentraciones urbanas.

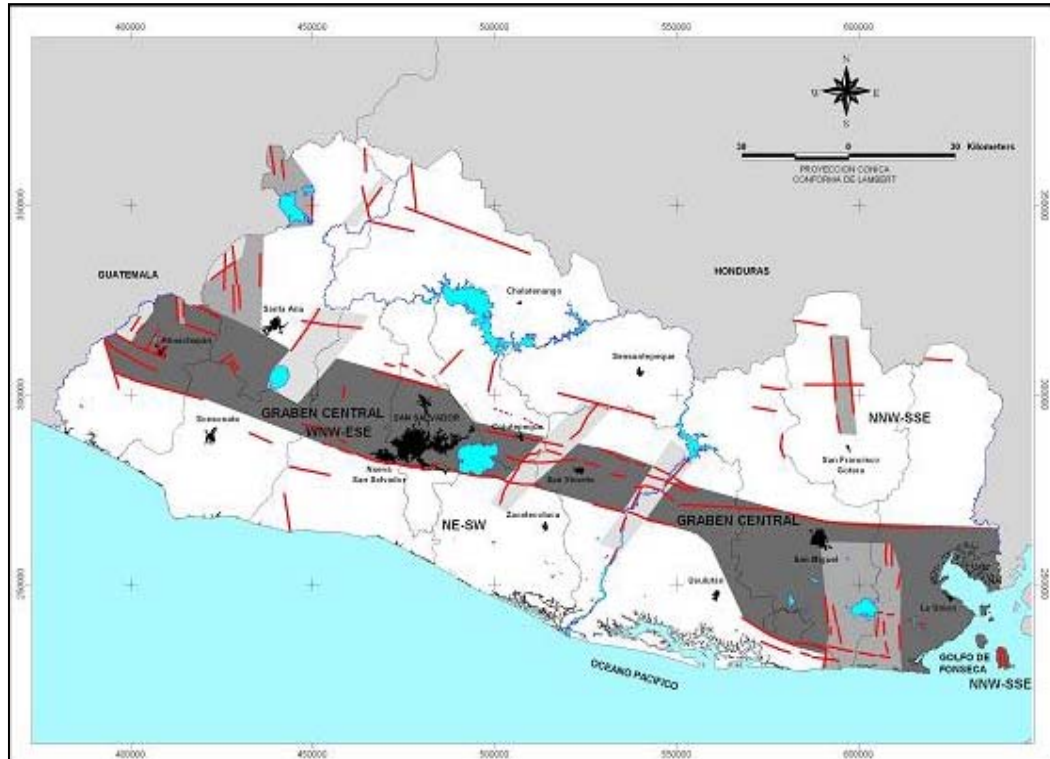


FIGURA 2.1. Fuentes generadoras de sismos locales. (www.snet.gob.sv)

A los sismos generados por las ultimas tres fuentes se les denomina *regionales* (ver figura 2.2.). Estos sismos sido históricamente menos frecuentes ^[17]. El último sismo regional de gran intensidad fue el 13 de enero de 2001, ubicado en el Océano Pacifico. Estos sismos pueden alcanzar magnitudes de 8.0 grados en la escala de Richter.

CAPITULO 11: SISMICIDAD DE EL SALVADOR

En el desarrollo de este capítulo se explicará la Vigilancia Sísmica de El Salvador, que comprende los estudios sismológicos, instrumental sismológico, estaciones telemétricas y acelerográficas, etc. que se han desarrollado en el país a través de la historia. Se definirán también conceptos generales tales como Intensidad Sísmica y Magnitud, Peligrosidad Sísmica y Leyes de Atenuación los cuales tienen mucha importancia para la elaboración de los espectros de diseño. Al final se presenta una reseña histórica y datos generales, así como los daños y pérdidas que dejaron los eventos sísmicos de interés de 1982, 1986 y 2001.



FIGURA 2.2. Fuentes generadoras de sismos regionales. (tomado de Google Earth)

2.2. VIGILANCIA SISMICA EN EL SALVADOR.

Los estudios sismológicos en El Salvador se iniciaron el 25 de octubre de 1890, al establecerse por decreto la creación del Observatorio Astrológico y Meteorológico. Un hecho aún más significativo fue la fundación del Observatorio Sismológico Nacional el 25 de febrero de 1918. Con la llegada del sismólogo alemán Dr. Rudolf Schulz en 1953, los estudios sismológicos en El Salvador dieron inicio de manera sistemática no obstante de haber existido instrumentación sísmica desde 1896. Cabe mencionar que se cuenta con información sísmica analógica desde 1952.

A continuación se presenta una síntesis cronológica de la evolución del instrumental sismológico en El Salvador:

- ✚ **1896:** Llegaron al país 14 sismógrafos de péndulo tipo Ewing que fueron instalados en diferentes lugares.
- ✚ **1930:** Se adquieren para el Observatorio Nacional dos sismógrafos tipo Wiechert, uno con las componentes horizontales Norte-Sur y Este-Oeste y otro con la componente vertical.
- ✚ **1952:** Se adquirieron dos sismógrafos Katsushima de fabricación japonesa, los que funcionaron del 8 de septiembre de ese año hasta el 3 de octubre de 1955.
- ✚ **1957 y 1961:** Comenzaron a funcionar las estaciones de Santiago de María en el departamento de Usulután y la de Ahuachapán. Estas estaciones fueron

equipadas con sismógrafos mecánicos construidos en El Salvador por el alemán Rudolf Schulz y el salvadoreño Álvaro Urrutia.

- ✚ **1962:** Comenzó a funcionar la estación de La Palma, Chalatenango. Esta estación, perteneciente a la Red Mundial de Sismógrafos Estándar (World Wide Standardized Seismographs Network, WWSSN) estaba equipada con sismógrafos Benioff.
- ✚ **1963:** Se adquirieron tres sismógrafos tipo Stuttgart, dos para las componentes horizontales y una para la vertical.
- ✚ **1983:** Se instaló la Red Nacional de Telemetría Sísmica, compuesta por diez estaciones equipadas con sensores verticales modelo S-13.
- ✚ **1991:** La Red Nacional de Telemetría Sísmica se incrementó en once estaciones equipadas con sensores verticales modelo SS-1.

2.2.1. ESTACIONES DE REGISTRO EN EL LUGAR.

Se conoce como Estación de Registro en el Lugar a aquella en la cual su sensor, sistema convertidor y de registro se encuentran en el mismo sitio. Estas estaciones pueden estar constituidas por equipo portátil o por equipo permanente.

Actualmente se cuenta con tres sismógrafos portátiles: uno es un modelo PS-2 y los restantes son del modelo MEQ-800. Generalmente el sismógrafo MEQ-800 funciona con sensor L-4C, sin embargo han sido adaptados para que funcionen con sismómetros SS.1, y así registrar cualquiera de las tres

CAPITULO 11: SISMICIDAD DE EL SALVADOR

componentes del terreno. Todos estos sismógrafos están provistos de un sistema de registro sobre papel ahumado, aunque puede hacerse también a base de tinta. Por lo general el registro es cambiado cada 24 horas, pero puede modificarse para que registre durante 12 o 48 horas. Este tipo de sismógrafo es de gran utilidad, especialmente para sismicidad en lugares con poca o ninguna cobertura de estaciones sismológicas.

A la fecha se encuentra en operación la estación de registro en el lugar ubicada en el Observatorio Sismológico Nacional (OBS), equipada desde 1930 con dos sismógrafos Wiechert de fabricación alemana, uno con las dos componentes horizontales y otro con la vertical.

Las estaciones de registro de Ahuachapán, La Palma y Santiago de María dejaron de operar debido a su alto costo de mantenimiento y a la adquisición de nuevo y más moderno instrumental sismológico.

Las constantes principales de estos sismógrafos se muestran a continuación en la tabla 2.1:

TABLA 2.1. Constantes principales de los sismógrafos tipo Wiechert según componente ortogonal.

CONSTANTES	COMPONENTES HORIZONTALES	COMPONENTE VERTICAL
Masa (Kg)	200	80
Amplificación Estática (veces)	80	75
Período del Péndulo (segundos)	3.8	3.5
Velocidad de Registro (mm/min)	58	60

2.2.2. RED NACIONAL DE TELEMETRIA SISMICA.

Con el fin de modernizar el equipo sismológico existente el Centro de Investigaciones Geotécnicas implementó a finales de 1983 la Red Nacional de Telemetría Sísmica. Con el proyecto se instalaron 11 estaciones telemétricas, con las cuales se estaría en capacidad de detectar sismos de falla local (cadena volcánica) y/o regional (subducción).

En 1991 la Red Nacional de Telemetría Sísmica fue ampliada a veintidós estaciones, cinco de ellas para la vigilancia de la macro y microsismicidad del área metropolitana de San Salvador y seis estaciones para la vigilancia de los volcanes activos del área metropolitana, el volcán de San Salvador y el de Ilopango (ver figura 2.3).

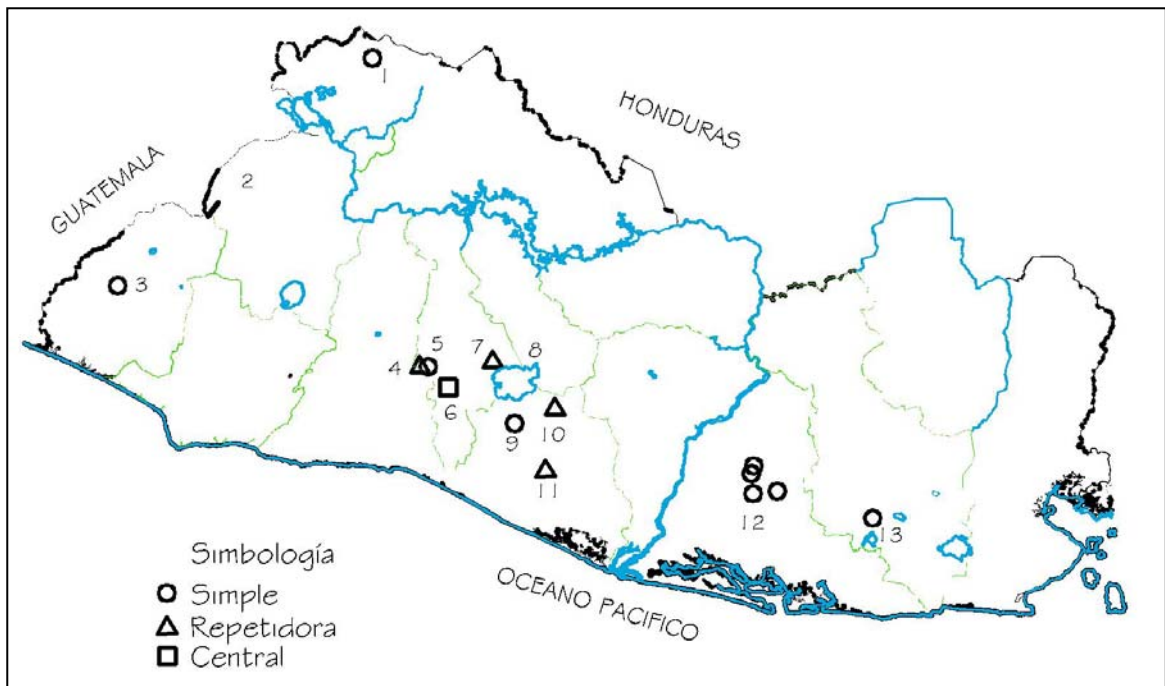


FIGURA 2.3. Mapa de ubicación de estaciones telemétricas.

CAPITULO 11: SISMICIDAD DE EL SALVADOR

Actualmente se encuentran en funcionamiento quince estaciones telemétricas ubicadas en el interior del país, y una estación permanente en el CIG. De las quince estaciones telemétricas, cuatro de ellas son de propiedad de la Comisión Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL) y forman parte de la Red Sísmica de Berlín. El CIG logró la recepción de estas señales por medio de un convenio de cooperación entre ambas instituciones.

A continuación se presenta en la tabla 2.2, la ubicación y código de las estaciones telemétricas:

Tabla 2.2. Distribución y ubicación de las estaciones telemétricas.

Nº	Código	Ubicación
1	MTO2	Cerro Montecristo, Santa Ana
2	YPE	Candelaria de la Frontera, Santa Ana
3	CUS	Tacaba, Ahuachapán
4	BOQ6	El Boquerón, Volcán de San Salvador
5	PIC4	El Picacho, Volcán de San Salvador
6	CIG	Estación Central, San Salvador
7	LFU	San Martín, San Salvador
8	LBR3	San Martín, San Salvador
9	LFR1	San Miguel Tepezontes, San Salvador
10	LBC2	San Emigdio Tepezontes, Cuscatlán
11	QZA	El Rosario, La Paz
12	LALZ	Berlín, Usulután
12	SJUZ	Berlín, Usulután
12	LPAZ	Berlín, Usulután
12	SMDZ	Santiago de María, Usulután
13	VSM	Volcán de San Miguel

2.2.3. RED DE MOVIMIENTO FUERTE.

Movimiento fuerte es aquel producido por un sismo, siendo perceptible y potencialmente destructivo en la zona cercana a la región epicentral. El equipo utilizado para registrar movimiento fuerte se denomina acelerógrafo, este cuenta con una parte sensora llamada acelerómetro, que es esencialmente un oscilador amortiguado con un solo grado de libertad. El acelerógrafo no registra continuamente, si no que se dispara cuando su sensor detecta un nivel mínimo de aceleración. Al dispararse el instrumento opera hasta 10 segundos después del último pulso que alcanza el nivel de disparo.

La Red Nacional de Movimiento Fuerte esta conformada por tres subredes: por parte del gobierno operada por el SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales) antes llamada CIG (Centro de Investigaciones Geotécnicas); y por parte del sector privado se tienen dos redes una operada por GESAL (Geotérmica Salvadoreña) y la ultima operada por la UCA (Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”).

En El Salvador los acelerógrafos están en la capacidad de registrar sismos que generen aceleraciones, en el lugar en donde estos se encuentran instalados, superiores a 0.01 g (equivalente a 9.81 cm/s^2), tanto para las dos componentes horizontales como para la componente vertical. La red acelerografica del SNET antes de los terremotos de 2001 constaba de 26 acelerógrafos, todos análogos del tipo SMA-1. En el año 2001 se inicio la instalación de nuevos

acelerógrafos digitales para ir sustituyendo poco a poco los análogos. Actualmente la red acelerográfica del SNET cuenta con 25 acelerógrafos, todos digitales del tipo QDR/SMA-1, tipo EDNA y SSR-1.

A continuación se presenta un mapa de ubicación de las estaciones acelerográficas (ver figura 2.4.) y también se muestra una tabla con la ubicación, el código y cantidad de acelerógrafos de la red de movimiento fuerte del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET):

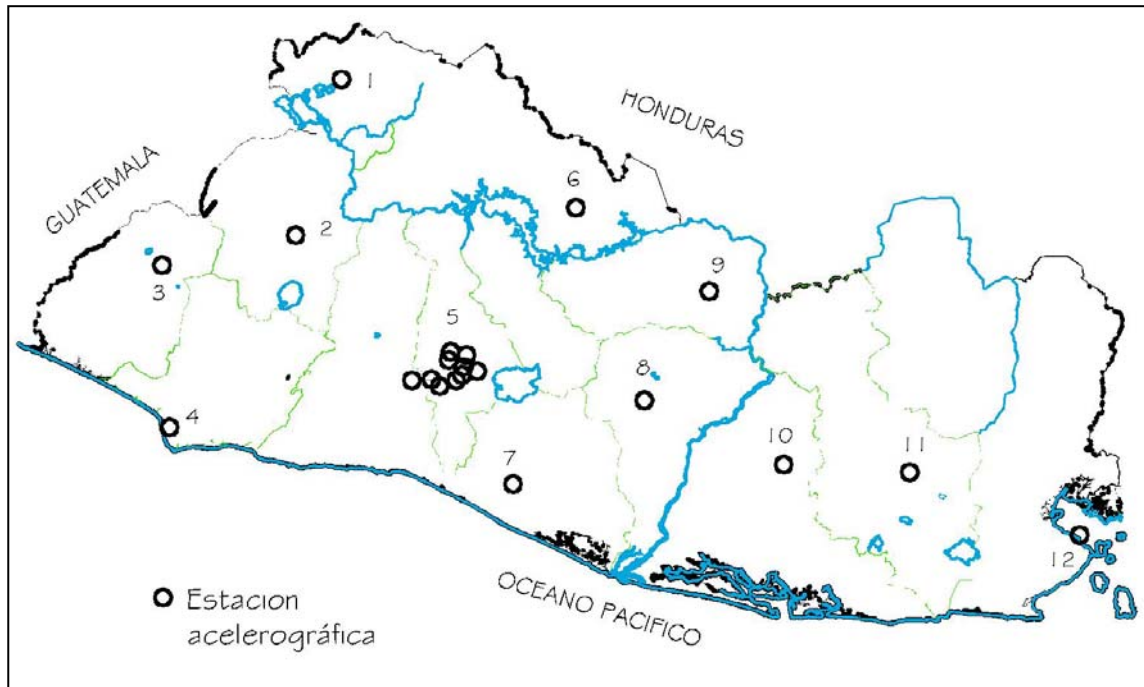


FIGURA 2.4. Mapa de ubicación de estaciones acelerográficas del SNET.

En la tabla 2.3 se muestra el listado de las estaciones acelerográficas, su distribución y ubicación:

Tabla 2.3. Distribución y ubicación de las estaciones acelerográficas.

Nº	Código	Ubicación	Cant.
1	CM	CESSA-Metapán	1
2	SA	Santa Ana	1
3	AH	Ahuachapán	1
4	CA	CEPA-Acajutla	1
5	ST	Santa Tecla	1
5	UC	Universidad Centroamericana	1
5	DB	Ciudadela Don Bosco	1
5	OB	Observatorio Nacional	1
5	RS-RF	Relaciones Exteriores	2
5	CS-CF	CENREN (MAG)	2
5	IS-IF	Instituto Geográfico Nacional	2
5	CI	Centro de Investigaciones Geotécnicas	1
5	VS-VF	Viveros de DUA	2
5	SS-SF	Seminarios San José de la Montaña	2
6	CH	Chalatenango	1
7	AS	Aeropuerto Comalapa	1
8	SV	San Vicente	1
9	SE	Sensuntepeque, Cabañas	1
10	SM	Santiago de María	1
11	MG	San Miguel	1
12	CU	Cutuco, La Unión	1

2.2.4. POZOS A CIELO ABIERTO.

Los sismos de Venezuela en 1967 y México en 1985 se han convertido en ejemplos clásicos del fenómeno de amplificación de las ondas sísmicas. Este fenómeno hace que lugares ubicados a similar distancia del epicentro pero con suelo constituido por depósitos sedimentarios, experimenten mayores amplificaciones que lugares ubicados sobre suelo constituido por roca. El sismo del 10 de octubre de 1986 puso también en evidencia el fenómeno de amplificación de las ondas sísmicas, cuando instrumentos ubicados en lugares equidistantes al epicentro registraron valores diferentes de aceleración.

Con el propósito de investigar el fenómeno de amplificación del movimiento del suelo en el área metropolitana de San Salvador se construyeron a finales de 1993 cinco pozos a cielo abierto ubicados en los lugares siguientes: Ministerio de Relaciones Exteriores (REX), Seminario San José de la Montaña (SEM), Viveros de DUA (VDU), Instituto Geográfico Nacional (IGN) y Centro de Recursos Naturales Renovables (CRN). Todos los pozos fueron equipados con acelerógrafos analógicos modelo SMA-1, en el fondo y en la superficie. Ambos acelerógrafos se encuentran en arreglo, tal que al activarse se obtendrá registro en los dos sitios. Con la información de la superficie y del fondo del pozo pueden calcularse las respuestas acelerográficas en ambos niveles, así como factores de amplificación y frecuencias predominantes, que pueden correlacionarse con otros parámetros ingenieriles.

2.3. INTENSIDAD SISMICA Y MAGNITUD.

2.3.1. Intensidades.

La intensidad sísmica esta íntimamente relacionada con los efectos producidos por un terremoto en las estructuras y en las personas, describiendo de una manera subjetiva el potencial destructivo del mismo. Para su medición se han propuesto diferentes escalas de intensidad como por ejemplo la de **Rossi-Forel**, la escala de **Geofian**, la escala **MSK**, la escala macrosísmica europea (ver anexos 1.1 a 1.4) y la escala de **Mercalli Modificada** (ver tabla 2.4). La escala de **Mercalli Modificada** es utilizada en El Salvador para definir la intensidad de los

movimientos registrados, ésta fue desarrollada por Mercalli en 1902 basándose en la elaborada por Rossi y Forel entre los años 1883 y 1884. Posteriormente, en 1931, fue modificada por Wood y Newman; clasifica los terremotos utilizando 12 grados de intensidad.

La **intensidad sísmica** (I_{MM}) de la escala de Mercalli Modificada es prácticamente independiente de cualquier parámetro físico medible del movimiento sísmico. Sin embargo, existen ecuaciones empíricas que relacionan I_{MM} con las características cinemáticas del movimiento sísmico. Por ejemplo, Lomnitz ^[5] da una relación de este tipo, que proporciona la aceleración máxima a_m del terreno, en función de la intensidad I_{MM} :

$$\log a_m = \frac{I_{MM}}{3} - \frac{1}{2} \quad (2.1)$$

Donde: a_m viene dada en cm/s^2

A continuación se muestra en la tabla 2.4 la definición de los grados de intensidad sísmica según la Escala de Mercalli Modificada, posteriormente en las tablas 2.5 y 2.6 se verán los daños producidos en estructuras de mampostería y estructuras concreto reforzado conforme a los grados de intensidad sísmica de esta escala.

TABLA 2.4. Escala de Mercalli Modificada, según C.F. Richter ^[3].

I _{MM}	DEFINICION DE LOS GRADOS DE INTENSIDAD SISMICA
I	El terremoto no se nota.
II	Es notado por pocas personas favorablemente situadas, especialmente en las plantas superiores de los edificios.
III	El terremoto es notado en el interior de los edificios por muchas personas. Se puede estimar su duración.
IV	El terremoto es notado en el interior de los edificios por muchas personas. En el exterior es menos perceptible. Los edificios y marcos de madera se fisuran en sus plantas superiores.
V	Es notado por todo el mundo. Los objetos inestables se desplazan o caen. Los líquidos se mueven. Son afectados los relojes de péndulo.
VI	Las personas andan con dificultad. Las ventanas y los objetos de vidrio se quebran. Los libros y los cuadros se caen. Las estructuras débiles de mampostería se agrietan. Las campanas pequeñas repican.
VII	Lo notan los conductores de automóvil. Caen las chimeneas débiles. Se agrietan las estructuras ordinarias de mampostería. Las campanas grandes repican. Caen los ornamentos, cornisas, revestimientos, etc. Deslizamientos en bancos de arena y grava.
VIII	Colapso parcial de estructuras ordinarias de mampostería. Dañadas las estructuras bien ejecutadas de mampostería, pero no diseñadas para resistir fuerzas sísmicas. Las estructuras de mampostería diseñadas para resistir fuerzas sísmicas no sufren daños importantes. Caen chimeneas, torres, monumentos, depósitos elevados, etc.
IX	Pánico general. Las estructuras ordinarias de mampostería sufren daños importantes pudiendo incluso sufrir colapso. Las estructuras con diseño antisísmico son seriamente dañadas. Daños en los cimientos. Grietas en el terreno, en zonas aluviales la arena es expulsada.
X	La mayoría de las estructuras de mampostería y marcos son destruidos, junto con sus cimientos. Daños importantes en las presas y los diques. Grandes deslizamiento del terreno. Los rieles se doblan.
XI	Rieles fuertemente doblados. Tuberías subterráneas fuera de servicio.
XII	Destrucción casi total. Grandes masas de rocas desplazadas. Objetos lanzados al aire.

TABLA 2.5. Clasificación del daño en edificios de mampostería, según escala Mercalli Modificada^[3].








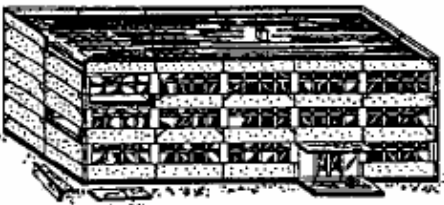


	<p>Grado 1. Daño despreciable o ligero. Daño no estructural o daño ligero en elementos no estructurales. Grietas del tamaño de un cabello, en algunas paredes. $I_{MM}=VI$</p>
	<p>Grado 2. Daño Moderado. Daño estructural ligero, daño no estructural moderado. Grietas en muchas paredes. $I_{MM}=VII$</p>
	<p>Grado 3. Daño sustancial a considerable. Daño estructural moderado, daño no estructural considerable. Grietas grandes y considerables en la mayoría de las paredes. $I_{MM}=VIII$</p>
	<p>Grado 4. Daño Grave. Daño estructural considerable, daño no estructural grave. Falla de las paredes. $I_{MM}=IX$</p>
	<p>Grado 5. Colapso. Daño estructural Grave. Colapso total o cercano a total de la construcción. $I_{MM}=X-XII$</p>

TABLA 2.6. Clasificación del daño en edificios de concreto reforzado, según escala Mercalli Modificada^[3].

	<p>Grado 1. Daño despreciable o ligero. Daño no estructural o daño ligero en elementos no estructurales. Grietas delgadas en las divisiones y paredes. $I_{MM}=VI$</p>
	<p>Grado 2. Daño Moderado. Daño estructural ligero, daño no estructural moderado. Grietas en las columnas y vigas de los marcos y en paredes de cortante. $I_{MM}=VII$</p>
	<p>Grado 3. Daño sustancial a considerable. Daño estructural moderado, daño no estructural considerable. Grietas en las columnas y uniones vigas columna de los marcos de la base. $I_{MM}=VIII$</p>
	<p>Grado 4. Daño Grave. Daño estructural considerable, daño no estructural grave. Grandes grietas en elementos estructurales con falla a compresión del concreto y fractura del acero. $I_{MM}=IX$</p>
	<p>Grado 5. Colapso. Daño estructural Grave. Colapso total o cercano a total de la construcción. $I_{MM}=X-XII$</p>

En la figura 2.5 se muestra un mapa de las máximas intensidades sísmicas observadas en la Republica de El Salvador ^[2]. Puede observarse que en la zona norte del país se han experimentado valores de intensidades máximos de VI grados en la escala de Mercalli modificada, mientras que en la zona volcánica central se han experimentado valores máximos de VIII y IX; todas las demás partes del país han presentado valores máximos de VII grados. Puede observarse además, que el Área Metropolitana de San Salvador, esta ubicada en la zona con mayores intensidades se han presentado.

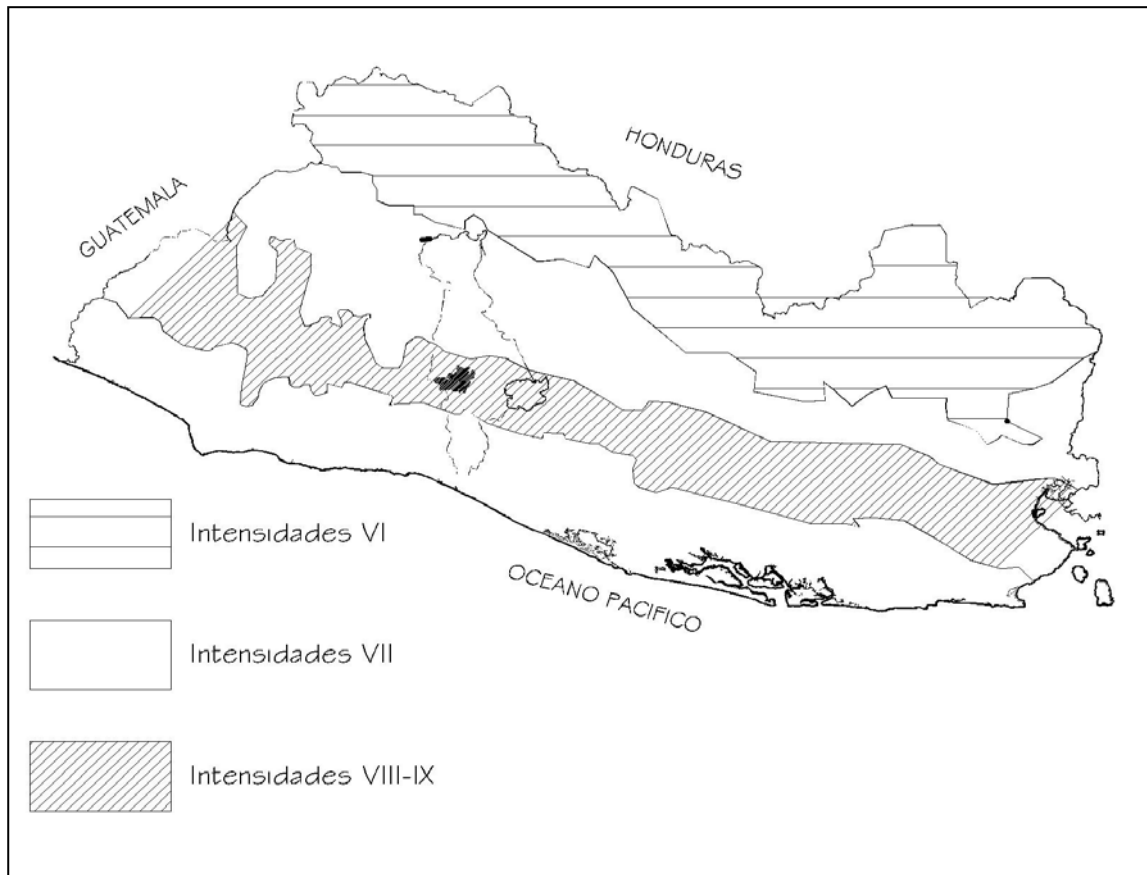


FIGURA 2.5. Máximas intensidades sísmicas en la escala de Mercalli Modificada^[2].

2.3.2. Magnitudes.

La *Magnitud* es un valor único y es una medida cuantitativa del sismo relacionada con la energía sísmica liberada. Teóricamente la magnitud no tiene límite superior; pero está limitada por la resistencia de las rocas en la corteza terrestre y la longitud de ruptura probable en la falla. Para su determinación han sido creadas diferentes escalas, dependiendo del tipo de onda en que se basa la medición; a continuación se muestran dichas escalas:

✚ Magnitud Local (M_L):

La idea de medir la magnitud de un sismo basado en un registro instrumental fue introducida en 1935 por Charles Richter, sismólogo del California Technological Institute. Fue definida para sismos locales de California para un radio de aproximadamente 600 km y se determina a partir de la máxima amplitud registrada por un sismógrafo Wood-Anderson estándar con constantes específicas (período = 0.8 segundos, amplificación estática = 2800 y factor de amortiguamiento = 0.8) ubicado a 100 km de la fuente sísmica. Para su determinación se tiene la siguiente expresión:

$$M_L = \log(A) - \log(A_0) \quad (2.2)$$

Donde A es la máxima amplitud de la traza registrada y A_0 la amplitud máxima que sería producida por un sismo patrón, siendo este aquel que produciría una deflexión de 0.001 mm en un sismógrafo ubicado a 100 km del epicentro.

Ya que la escala de magnitud es logarítmica, el incremento en una unidad de magnitud significa un aumento en diez veces de la amplitud de ondas en el sismograma, lo cual no debe confundirse con la energía sísmica liberada en donde un incremento en magnitud equivale a un aumento de aproximadamente 31.5 veces de energía.

✚ Magnitud de Ondas Superficiales (M_s):

Esta escala se basa en la amplitud máxima producida por las ondas superficiales Rayleigh con período en el rango de 18 a 22 segundos. La expresión para determinar su valor es la siguiente:

$$M_s = \log_{10}(AT) + 1.66\log_{10}D + 3.30 \quad (2.3)$$

Donde A es la máxima amplitud horizontal del terreno medida en micrómetros, T es el período de la onda en segundos y D es la distancia epicentral en grados.

Cabe notar que para grandes sismos (con longitudes de ruptura mayores que 100 Km) esta escala comienza a saturarse alrededor de $M_s=8.3$.

✚ Magnitud de Ondas de Cuerpo (m_b):

La determinación de la magnitud M_s para los sismos con profundidad focal mayor a 50 km se dificulta, debido a que no se generan ondas de superficie con suficiente amplitud; para compensar esto se utilizó un factor de corrección de tal forma que se pudieran utilizar las ondas de cuerpo. La magnitud m_b se basa en la amplitud de ondas de cuerpo con períodos cercanos a 1.0 segundos, para su determinación se utiliza la siguiente expresión:

$$m_b = \log(AT) + Q(D, h) \quad (2.4)$$

Donde A , T y D son factores definidos anteriormente y Q es un factor de atenuación que esta en función de D y la profundidad focal h en km.

Las escalas de magnitud M_s y m_b no reflejan adecuadamente el tamaño de sismos muy grandes, subestiman su valor y dan una estimación poco exacta de la energía liberada, lo que se ha denominado saturación de las escalas de magnitud. Las máximas magnitudes m_b se encuentran alrededor de 6.5 a 6.8. Así también la magnitud definida empíricamente con base en la amplitud de las ondas sísmicas no permite definir el tamaño del sismo en términos del proceso físico de ruptura y de las dimensiones de la zona de dislocación.

✚ Magnitud Momento (M_w):

La introducción del concepto de Momento Sísmico en la sismología, ha aportado una medida para designar el tamaño de un sismo que esta en función directa de las propiedades físicas de la roca y de las dimensiones del área que sufre la ruptura. Es a partir de ese concepto que se ha desarrollado la magnitud de momento.

La cantidad de energía liberada por un sismo a partir del Momento Sísmico se define así:

$$M_o = DA \quad (2.5)$$

Donde M_0 es el momento sísmico, medido en Dinas/cm^2 , D es el desplazamiento promedio de la falla en cm y A es el área del segmento que sufrió la ruptura expresada en cm^2 .

La nueva escala de magnitud denominada magnitud momento fue desarrollada por Hiroo Kanamori del California Technological Institute. Para su determinación se utiliza la siguiente expresión:

$$M_w = 2/3 \log M_0 - 10.7 \quad (2.6)$$

Las constantes en la ecuación son elegidas para que las estimaciones de la magnitud de momento coincidan con las estimaciones obtenidas mediante otras escalas, como la escala de Magnitud Local M_L . Una ventaja de la escala de Magnitud Momento es que no se satura en el extremo más alto, como sucede con otras escalas, es decir, no hay un valor particular, el cual una vez superado, haga que todos los terremotos de grandes proporciones tengan magnitudes muy similares, por esta razón es la escala de magnitudes mas utilizada actualmente para sismos de grandes proporciones.

Las magnitudes de los sismos grandes fue recalculada usando esta nueva escala y para algunos de ellos cambió notablemente, tal como sucedió con el sismo de Chile de 1960 que tenía una magnitud M_S de 8.3 y que al calcularle la magnitud momento esta fue de 9.5 convirtiéndose así en el sismo de mayor magnitud hasta hoy registrado.

2.4. PELIGROSIDAD SISMICA.

Se define como *Peligrosidad Sísmica*, la probabilidad de excedencia de un cierto valor de intensidad del movimiento del suelo producido por eventos sísmicos, dentro de un período específico de tiempo de una región determinada, los movimientos del suelo cuyos parámetros son: aceleración, velocidad, desplazamiento, magnitud o intensidad son cuantificados. Para la evaluación se deben analizar los fenómenos que se producen desde el hipocentro hasta el sitio de interés ^[1].

La definición comúnmente aceptada fue dada por la United Nations Disaster Relief Organization (UNDRO) en el año 1980, según la cual la peligrosidad H (de Hazard) se representa por medio de una función de probabilidad del parámetro indicativo de la intensidad del movimiento, x , en un emplazamiento, s , mediante la siguiente expresión:

$$H = P[x(s) \geq x_0; t] \quad (2.7)$$

Donde: P representa entonces la probabilidad de superación de un valor umbral x_0 del parámetro elegido durante un tiempo t .

Dado que los parámetros inherentes al movimiento del suelo son el desplazamiento, la velocidad y la aceleración, la peligrosidad es a menudo estimada en función de los valores máximos de estos parámetros, denominados habitualmente PGA (Peak Ground Displacement), PGV (Peak Ground Velocity) y PGA (Peak Ground Acceleration), pero también es habitual su expresión en

términos de Intensidad Macrosísmica, relacionada con la destructividad del evento sísmico.

Existen dos líneas metodologías para la evaluación de la peligrosidad sísmica:

✚ **Metodología Determinista:** Se establecen los máximos sismos potenciales de cada fuente y se calcula el movimiento que generaría cada uno en el emplazamiento. El mayor movimiento se considera representativo de la peligrosidad. A partir de él se aplican correlaciones y modelos espectrales para calcular los espectros específicos de respuesta. Otra posibilidad es reagrupar las fuentes sísmicas en diferentes rangos de distancia epicentral y calcular un espectro para el movimiento de cada rango.

✚ **Metodología Probabilista:** Se consideran dos variantes, dependiendo del parámetro de cálculo. En la primera se convierten inicialmente las intensidades epicentrales a magnitudes y se lleva a cabo un análisis convencional de la peligrosidad. En la segunda se realiza primero la evaluación de la peligrosidad, expresada como tasa anual de excedencia de un valor determinado de la intensidad macrosísmica, se establecen los sismos de control de cada fuente como pares intensidad-distancia y posteriormente se hace la conversión a magnitudes. En la figura 2.6 se presentan las etapas que siguen para la evaluación de la peligrosidad sísmica a nivel regional, tendientes a la obtención de parámetros para el diseño sísmico resistente, expresados en términos probabilísticos.

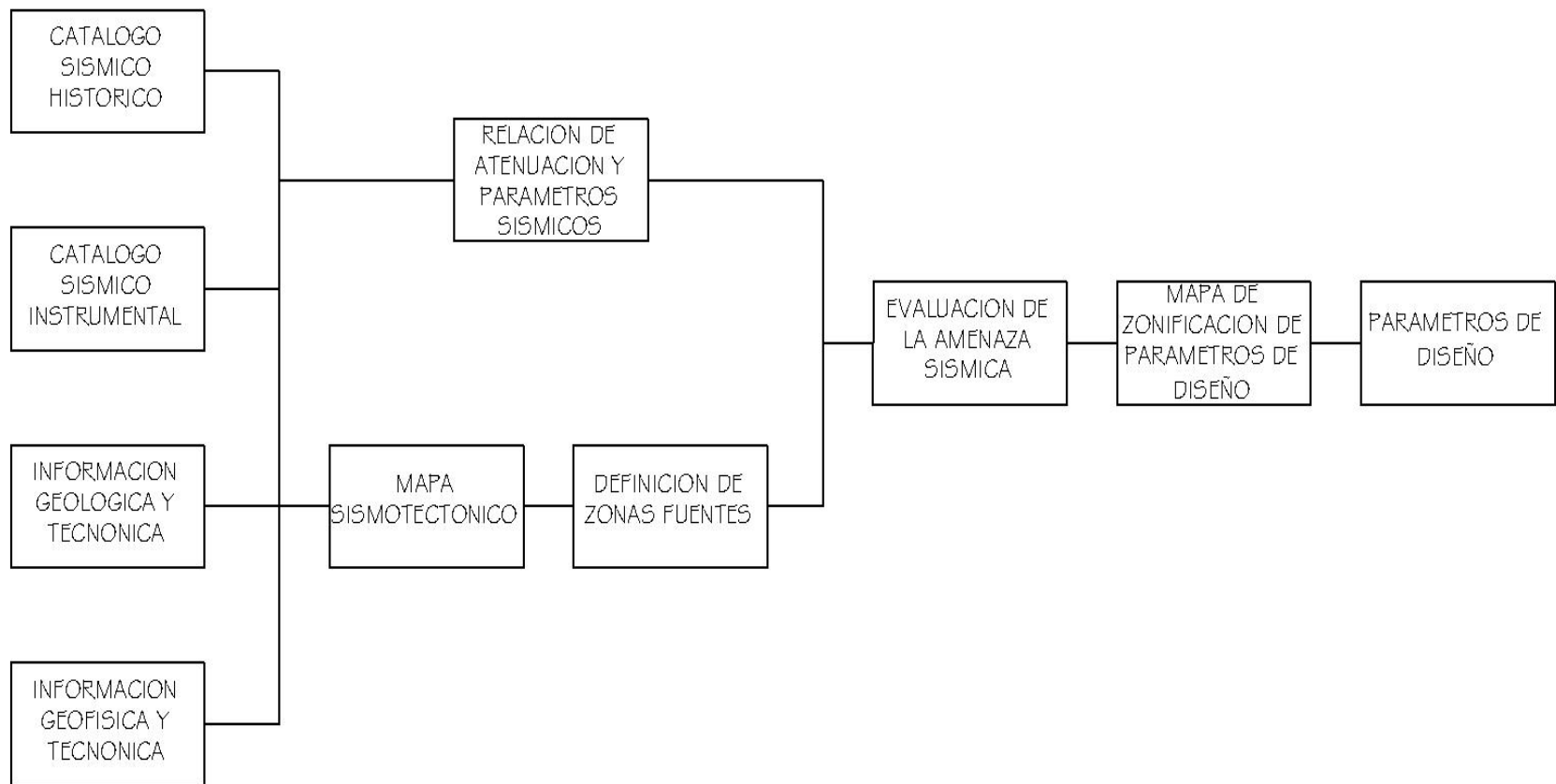


FIGURA 2.6. Etapas de la evaluación de la peligrosidad sísmica.

CAPITULO I I : "SISMICIDAD DE EL SALVADOR"

Un estudio probabilístico de peligrosidad sísmica involucra la determinación de las fuentes sismogénicas, las cuales se basan en la tectónica, neotectónica, sismicidad histórica y sismicidad instrumental del país y áreas vecinas. Con las zonas o fuentes sismogénicas se realizan estudios estadísticos para determinar la recurrencia sísmica de cada una de estas fuentes. Luego se determinan las leyes de atenuación, que pueden ser distintas para cada una de las fuentes sismogénicas, ya sea para sismos de subducción o para sismos locales. Finalmente se utiliza alguna de las metodologías disponibles para determinar los riesgos anuales de aceleración máxima para distintos puntos en el territorio nacional.

Para el diseño sísmico de estructuras, se necesita conocer fundamentalmente cual es la aceleración máxima del suelo que se espera en la zona que va a implantar el proyecto durante la vida útil de la estructura.

Sin embargo, para normativas sismorresistentes, se requiere conocer la peligrosidad de áreas extensas, a escala regional, y en este caso los resultados se presentan en mapas de isolíneas de los parámetros elegidos, que indican los valores máximos o los valores asociados a un cierto período de retorno.

Comúnmente se define la peligrosidad sísmica como la aceleración del terreno con una probabilidad del 90% de no ser excedida durante un período de 50 años, que corresponde a la vida útil de una estructura normal.

Estos valores fueron utilizados por primera vez para estudios en los Estados Unidos ^[17] y han sido adoptados casi universalmente. Este nivel de peligrosidad corresponde al movimiento sísmico que tiene un período de retorno de 475 años.

Sobre esta base se construyen mapas de peligrosidad que identifican las áreas de mayor peligro para fines de planificación y establecer los niveles de aceleración que se deben considerar en el diseño sísmico. Estos se construyen evaluando la peligrosidad de una serie de puntos y trazando curvas de igual nivel de aceleración.

En cualquier caso, la correcta evaluación de la peligrosidad requiere conocer dos características importantes de la zona de estudio: la sismicidad de la región circundante o área de influencia, con identificación de zonas sísmicas en la misma y la atenuación sísmica regional. Combinando los dos aspectos se llega a determinar la intensidad del movimiento en un emplazamiento como consecuencia de los sismos que puedan afectar al mismo, integrando el efecto de la fuente y la propagación de energía de esta al emplazamiento. Si no se introduce expresamente el efecto local del suelo en el movimiento, éste se considera caracterizado en roca o suelo duro, siendo este el tratamiento que se sigue generalmente en estudios de peligrosidad regional.

Cuando la estimación de las aceleraciones del terreno se realiza en un emplazamiento específico, es necesario cuantificar la amplificación local y aplicarla

a los resultados anteriores para obtener intensidades del movimiento del terreno que incluyan este efecto. Esta situación se aborda por medio de estudios de microzonificación.

2.4.1. Peligrosidad Sísmica en El Salvador.

En el Salvador se han realizado cuatro estudios de peligro sísmico probabilístico^[4]. Los cuatro estudios han generado mapas de peligrosidad en El Salvador, fueron realizados por:

✚ United States Geological Survey (USGS)^[14];

Este estudio fue realizado por Algermissen S.T., Hansen S.L. y Tenhaus P.C. en el año de 1988, bajo el nombre "Seismic Hazard Evaluation of San Salvador, El Salvador" como un reporte para la Agencia para el Desarrollo Internacional de Estados Unidos. En la figura 2.7 se muestra el mapa de peligrosidad sísmica de aceleraciones máximas del terreno con valores entre 0.3 y 0.5g.

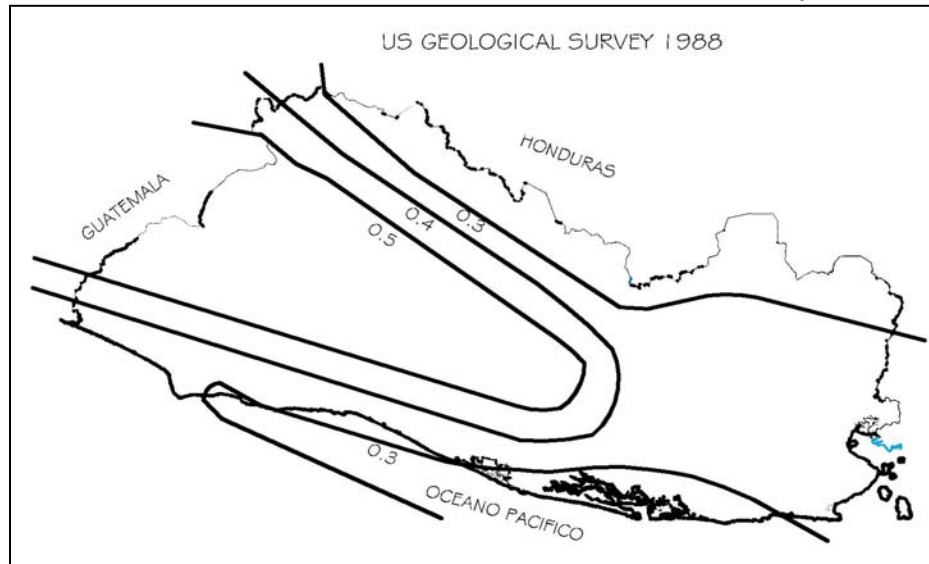



FIGURA 2.7. Mapa de peligrosidad sísmica desarrollado por el USGS.

 Stanford University ^[13]

Este estudio fue realizado por Alfaro C.S., Kiremidjian A.S. y White R.A. en el año de 1990, bajo el nombre "Seismic Zoning and Ground Motion Parameters for El Salvador" por parte del Centro de Ingeniería Sísmica "John A. Blume" de la Universidad de Stanford de California, Estados Unidos. En la figura 2.8 se muestra el mapa de peligrosidad sísmica de aceleraciones máximas del terreno con valores mínimos de 0.5 y máximos de 0.8g.

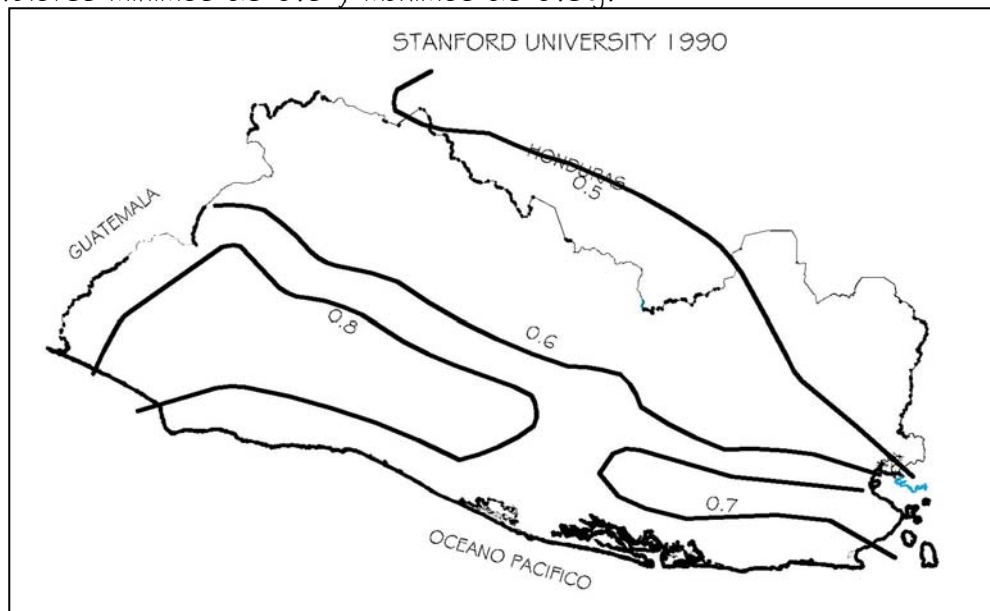


FIGURA 2.8. Mapa de peligrosidad sísmica desarrollado por Stanford University.

 NORSAR-CEPRENAC ^[18]

Este estudio fue realizado por Linholm C., Rojas W., Bungum H., Dahle A, Camacho E., Cowan H. y Laporte M. en el año de 1995, con el nombre de "New Regional Seismic Zonation for Central America" con motivo de la "Quinta Conferencia Mundial de Zonificación Sísmica". En la figura 2.9 se muestra el

mapa de peligrosidad sísmica de aceleraciones máximas del terreno con valores mínimos de 0.25 y máximos de 0.31 g.

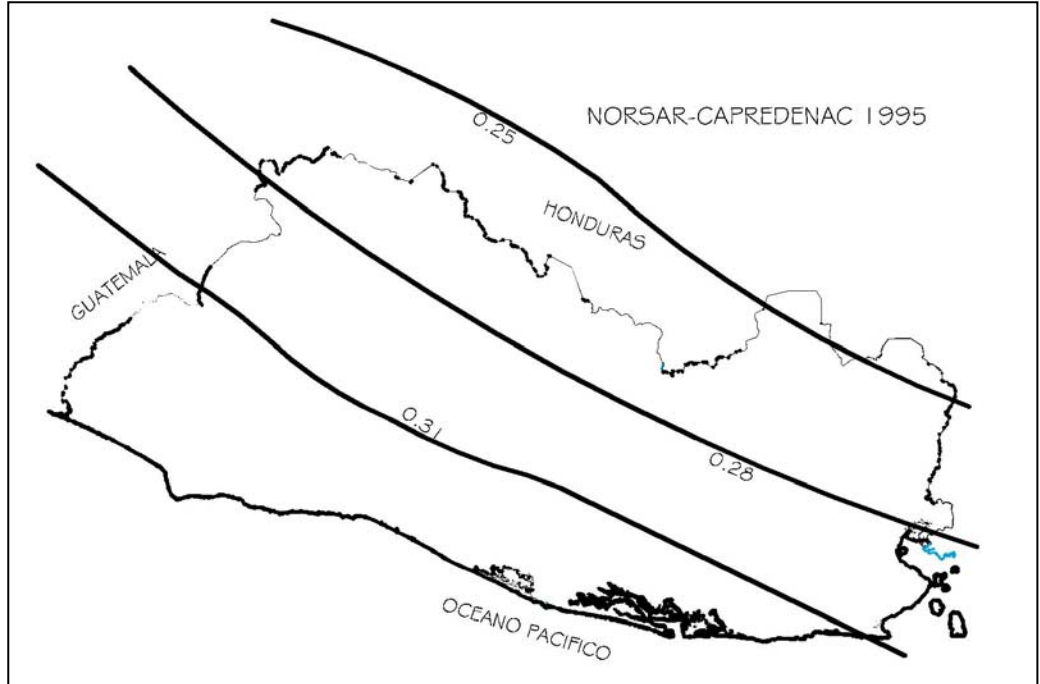


FIGURA 2.9. Mapa de peligrosidad sísmica desarrollado por NORSAR-CEPREDENAC.

✚ Universidad Autónoma de México (UNAM), 1993 ^[10]

Este estudio fue realizado por Singh S.K., Gutierrez C., Arboleda J. y Ordaz M. en el año de 1993 con el nombre "Peligro Sísmico en El Salvador". Este estudio sirvió de base para elaborar la Norma Técnica para Diseño por Sismo (NTDS) creada en 1994 por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) como parte del Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones (RESECO). Los mapas de isoaceleración que se encuentran en este estudio sirvieron de base para definir las dos zonas sísmicas del país presentes dentro de la NTDS-94 las cuales se verán con mayor profundidad en el siguiente capítulo.

En la figura 2.10 se muestra el mapa de peligrosidad sísmica de aceleraciones máximas del terreno con valores mínimos de 0.7 y máximos de 1.0g.

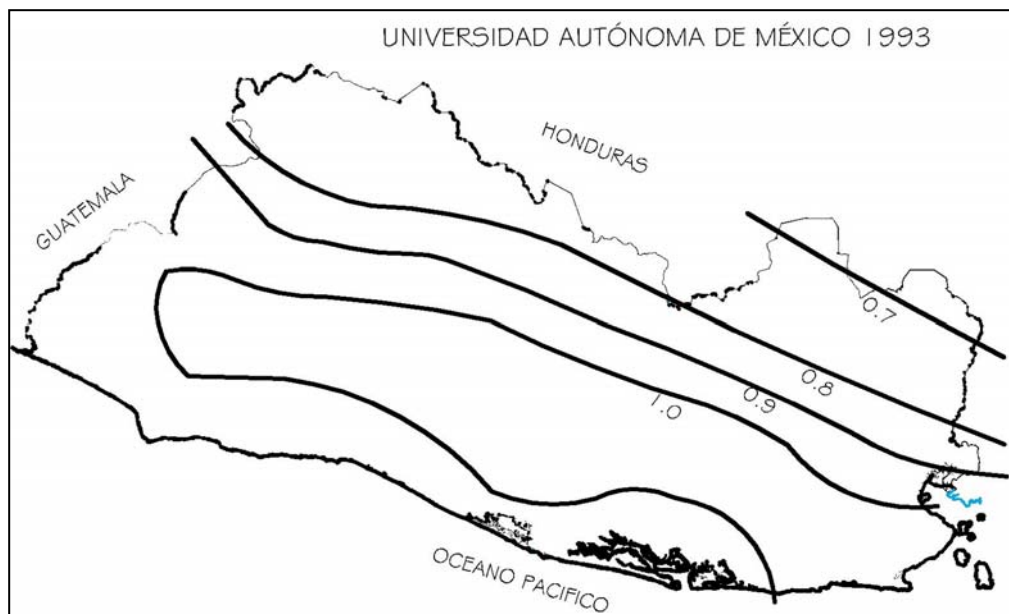


FIGURA 2.10. Mapa de peligrosidad sísmica desarrollado por la UNAM.

En las figuras anteriores se muestra la comparación de los mapas de peligrosidad sísmica para El Salvador para una probabilidad de excedencia del 10 % en 50 años (Periodo de retorno de 475 años). Se puede observar que existen grandes diferencias en los valores de aceleración máxima para un mismo lugar. Según Bommer (1996) estas diferencias se deben a las incertidumbres que existen con los datos disponibles sobre la sismicidad en el país y las características del movimiento fuerte en la región. Además, se debe a que en la preparación de los mapas no se toman en cuenta las condiciones y efectos locales.

Por otra parte, en estos mapas de peligrosidad sísmica elaborados para El Salvador, si bien se consideran los parámetros que presentan la fuente sísmica, como las aceleraciones máximas del terreno no se han tomado en cuenta las características y efectos locales del sitio.

En el caso de San Salvador se ha observado el efecto amplificador de la capa de ceniza volcánica que cubre casi toda la ciudad. El primer depósito es una ceniza conocida como "tobas color café" originado por erupciones del volcán de San Salvador y alcanza espesores hasta de 25 metros. El segundo depósito, más joven y menos consolidado, es la "tierra blanca", que proviene del centro volcánico que ahora está sumergido en el lago de Ilopango^[11]. Debido a su falta de compactación, la tierra blanca es la causa de mucha amplificación (ver apartado 2.5.1). El espesor de este depósito varía desde casi 50 metros en la orilla del lago hasta 2 o 3 metros en las faldas del volcán de San Salvador (ver figura 2.11).

En países de alta actividad sísmica es común preparar mapas no solamente de peligrosidad sísmica, sino también de "microzonificación" para centros urbanos importantes, la diferencia es que identifican zonas donde el suelo pueda modificar el movimiento sísmico y se cuantifican estas modificaciones en base a las propiedades dinámicas de estas capas de suelo. Estos mapas de microzonificación muestran la variación local de la peligrosidad debida a la presencia de fallas geológicas y de los depósitos de suelos. En el caso del Área

Metropolitana de San Salvador, después del sismo de 1986, una misión italiana llevó a cabo un excelente estudio de microzonificación de la zona sur-oriental, pero por limitaciones de tiempo y financiamiento no pudo cubrir toda el área metropolitana [8].

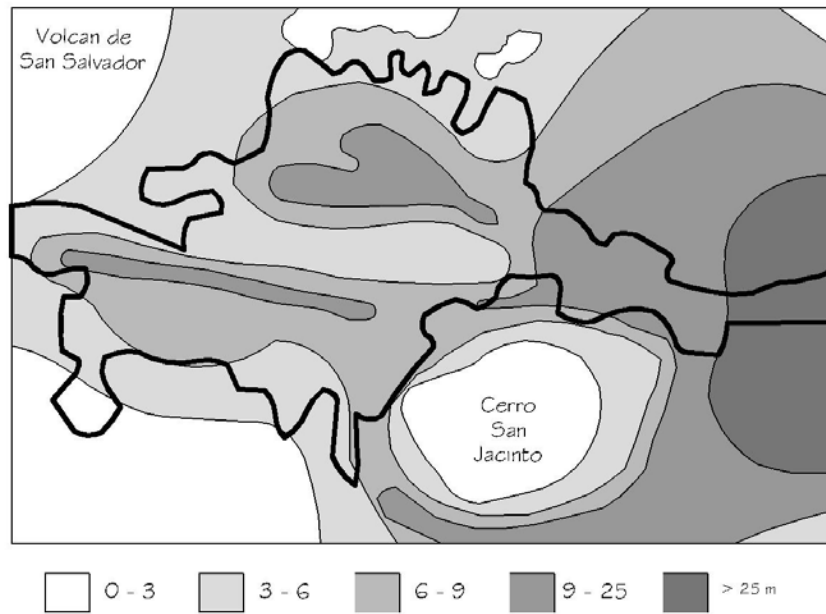


FIGURA 2.11. Espesores de tierra blanca del Área Metropolitana de San Salvador.

2.5. LEYES DE ATENUACION.

La fuente de mayor incertidumbre en los estudios de peligrosidad sísmica es la determinación de la ecuación de atenuación que se va a utilizar. La ecuación o *ley de atenuación* es una expresión semi-empírica que relaciona Magnitud-Distancia-Intensidad Sísmica; entendiéndose por estas últimas palabras a la aceleración, velocidad, desplazamiento e intensidad propiamente dicha de eventos sísmicos;

estas relaciones se obtienen de los datos que existen sobre los parámetros mencionados.

En general, los procedimientos utilizados para obtener las leyes de atenuación, consiste en ajustar curvas de los datos de movimientos sísmicos ocurridos en diferentes regiones, por lo que las expresiones así obtenidas reflejan las características geotectónicas de la región para la cual fueron obtenidas.

La filosofía de las leyes de atenuación se puede sintetizar en dos aspectos:

- ✚ A una misma distancia, R se espera tener la misma intensidad sísmica (aceleración, velocidad, desplazamiento e intensidad propiamente dicha).

- ✚ La intensidad sísmica disminuye conforme la distancia epicentral aumenta y viceversa.

- ✚ Un ejemplo específico de lo anterior se puede ver con lo sucedido en el terremoto de San Fernando del 09 de febrero de 1971, ya que es uno de los eventos mejor documentados, a una distancia promedio aproximada de 42 Km. del epicentro se registraron aceleraciones horizontales máximas del suelo que variaron entre 58 y 245 g (aceleración de la gravedad equivalente a 980 cm/s^2). Es decir, no se tuvo la misma intensidad sísmica a igual distancia.

Lo expuesto tiene como finalidad mostrar la incertidumbre que conlleva el uso de una ley de atenuación a pesar de que esta fuera obtenida de registros instrumentales. Para contrarrestar esto se acostumbra incluir en las fórmulas un término que corresponde a la desviación estándar (σ), el mismo que se calcula

suponiendo que los logaritmos naturales de los cocientes de las intensidades sísmicas predichas a las registradas instrumentalmente tienen una distribución log normal.

La ecuación 2.8 permite el paso de intensidades a aceleraciones, luego en la tabla 2.7 se ven los valores de las constantes σ y γ que permiten este paso:

$$\log A = \sigma I_{MM} + \gamma \quad (2.8)$$

Tabla 2.7. Valores de σ y γ utilizados para las leyes de atenuación.

AUTOR	σ	γ
Trifunac y Brady	0.300	-0.014
Bolt	0.313	0.340
Murphy, O'Brien	0.250	0.250
Lomnitz	0.333	-0.500
Saragoni	0.345	-0.222

Las ecuaciones de atenuación para un ingeniero son de suma importancia en la evaluación de la peligrosidad sísmica, ya que definen las aceleraciones máximas en términos probabilísticos que una región determinada puede sufrir. En el caso de El Salvador se cuenta con ecuaciones de atenuación las cuales fueron desarrolladas a partir del estudio realizado por la UNAM en 1993 a través del análisis de varios movimientos sísmicos del país y de Centroamérica; estas son presentadas en el Capítulo III, y a partir de estas ecuaciones se calcularon las aceleraciones máximas del terreno, que sirvieron para calcular las aceleraciones pico efectivas para ser utilizadas en la Norma Técnica para Diseño por Sismo de 1994.

2.5.1. Amplificación de ondas por efectos de sitio.

De acuerdo con las leyes de atenuación, la intensidad del movimiento disminuye con la distancia epicentral, sin embargo, el movimiento sísmico puede variar mucho de un lugar a otro según las características geológicas, aunque la distancia al epicentro no varíe considerablemente. A este fenómeno se le conoce como *efecto de sitio*.

Los efectos de sitio se deben principalmente a tres factores: efectos topográficos (variaciones laterales de la estructura geológica), características de la radiación incidente (modelo de fuente y ubicación con respecto al punto de análisis) y a la presencia de materiales blandos o sedimentos (composición y espesor de los estratos situados sobre la base rocosa).

En la figura 2.12 se muestra una representación del efecto de paso de las ondas sísmicas entre suelos duros y blandos

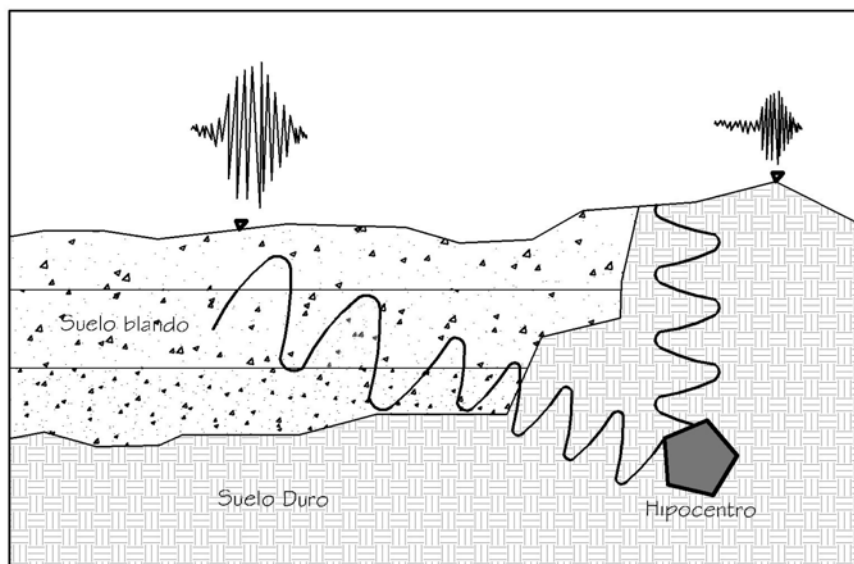


FIGURA 2.12. Efecto de paso de ondas sísmicas. (Tsige y García, 2006)

La respuesta sísmica de una obra civil está estrechamente ligada a la geología superficial del lugar de emplazamiento, y el nivel de daño máximo probable ocurrirá cuando el período natural de vibración de la edificación coincida con el periodo natural del suelo que la sostiene. En la figura 2.13 se pueden ver dos ejemplos típicos de espectros de respuesta, junto con el tipo de edificaciones que pueden verse mas afectados. En el caso A es un espectro de respuesta típico de un sismo cercano al epicentro y sobre suelo firme o roca, en el caso B es un espectro de respuesta típico de un sismo a cierta distancia del epicentro y sobre otros suelos.

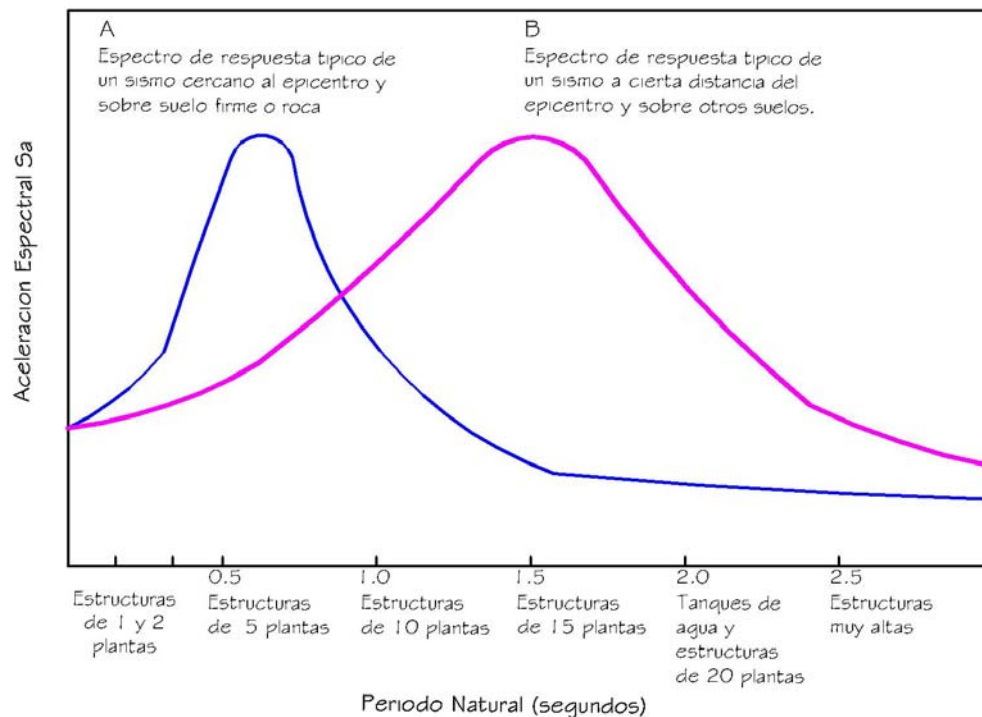


FIGURA 2.13. Espectros de respuesta típicos y estructuras que pueden verse dañadas (Benito Y Cabañas, 2000)

2.6. EVENTOS SISMICOS DE INTERES PARA LA EVALUACION DEL ESPECTRO DE DISEÑO SISMICO DE LA NTDS-94.

El Salvador ha sido afectado por numerosos terremotos, los cuales se listan en la *Cronología de Sismos Destructivos de El Salvador* ^[24], elaborada por el Centro de Investigaciones Geotécnicas del Ministerio de Obras Publicas de El Salvador. La mayor parte de los sismos reportados han afectado San Salvador. En la tabla 2.8 se listan los sismos destructores del siglo XX.

TABLA 2.8. Lista de sismos destructores para el siglo XX en El Salvador.

FECHA	HORA (UTC)	LATITUD	LONGITUD	PROF (Km)	MAGNITUD (Ms)	INTENSIDAD MAXIMA	FUENTE SISMICA
19/07/1912	-----	13.87	89.57	10	5.9	VII	Cadena Volcánica
07/09/1915	01:20	13.90	89.60	60	7.7	IX	Subducción
08/06/1917	00:51	13.82	89.31	10	6.7	VIII	Cadena Volcánica
08/06/1917	02:54	13.77	89.50	10	5.4	VIII	Cadena Volcánica
28/04/1919	06:15	13.69	89.19	10	5.9	VII-VIII	Cadena Volcánica
21/05/1932	10:10	12.80	88.00	150	7.1	VIII	Subducción
20/12/1936	02:43	13.72	88.93	10	6.1	VII-VIII	Cadena Volcánica
25/12/1937	23:50	13.93	89.76	10	5.9	VIII	Cadena Volcánica
06/05/1951	23:03	13.52	88.40	10	5.9	VIII	Cadena Volcánica
06/05/1951	23:08	13.52	88.40	10	6.0	VIII	Cadena Volcánica
03/05/1965	10:01	13.70	89.17	15	6.3	VIII	Cadena Volcánica
19/06/1982	06:21	13.30	89.40	80	7.3	VII	Subducción
10/10/1986	17:49	13.67	89.16	10	5.4	VIII-IX	Cadena Volcánica

Los sismos de interés para este trabajo de graduación son los del 17 de junio de 1982, el 10 de octubre de 1986 y los del 13 de enero y 13 de febrero de 2001, a continuación se presenta una reseña histórica más detallada para cada uno de ellos:

2.4.1 Sismo del 17 de junio de 1982:

Este fue un sismo de origen regional registrado a las cero horas y 21 minutos (hora local) del día sábado 19 de junio de 1982 con una magnitud de 7.3 grados en la escala de Richter (Intensidad Mercalli Modificada VII en San Salvador), con epicentro ubicado a 70 kilómetros al suroeste de San Salvador (13.30° N y 88.67° O) y a 80 kilómetros de profundidad focal; fue sentido en todo el país e incluso se registró fuera de las fronteras de El Salvador.

Este sismo causó graves daños en ciudades de cinco departamentos (San Salvador, La Libertad, La Paz, Sonsonate y Ahuachapán), registrándose especial daño en la ciudad de Comasagua, viéndose afectada de tal manera que estructuras construidas con bahareque y adobe fueron reducidas a escombros.

Se registraron nueve personas muertas, 96 heridos y 5,000 son declaradas como damnificados, las cuales vivieron momentos de zozobras a causa de 90 réplicas de entre 2 y 4.5 grados que se dieron durante la semana siguiente al sismo.

En la figura 2.14 se muestra el mapa de isosistas de las intensidades sísmicas en la escala de Mercalli Modificada del sismo del 19 de junio de 1982. Se puede ver que el epicentro se encuentra en la zona de subducción de las placas de Coco y del Caribe, además, se observa como las intensidades van disminuyendo conforme la distancia epicentral va aumentando. La intensidad sísmica varía desde $I_{MM}=VII$ en San Salvador y las zonas cercanas a la costa, hasta $I_{MM}=V$ en la zona norte del país.

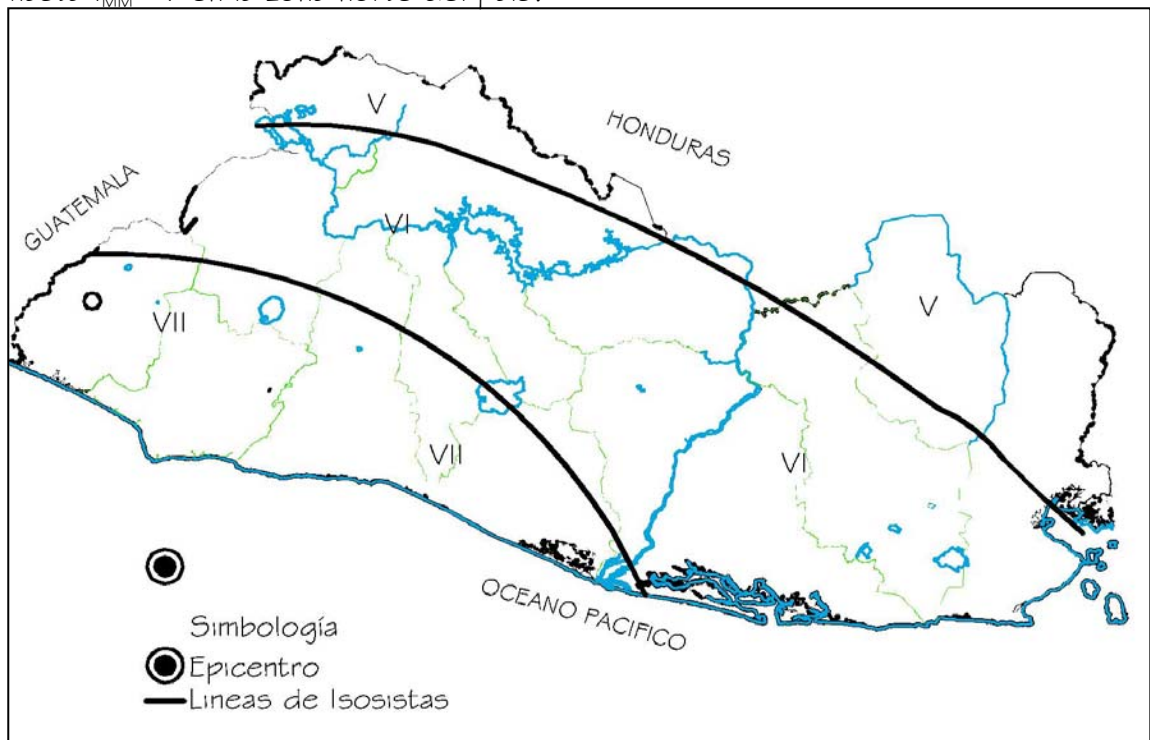


FIGURA 2.14. Mapa de Isosistas del sismo del 19 de junio de 1982.
 (Fuente www.snet.gob.sv)

2.4.2. Sismo del 10 de octubre de 1986.

Este fue un sismo de origen local registrado a las 11 horas y 50 minutos (hora local) del 10 de octubre de 1986 con una magnitud de 5.4 en la escala de

CAPITULO 11: "SISMICIDAD DE EL SALVADOR"

Richter (Intensidad Mercalli Modificada VIII-IX), con duración de 5 segundos y con epicentro localizado en fallas situadas a 10 kilómetros bajo la zona de Los Planes de Renderos, al sur de San Salvador (13.67° N y 89.19° O).



FIGURA 2.15. Imágenes del colapso del Edificio Rubén Darío y el Monumento al Salvador del Mundo. (Fuente www.elsalvador.com)

En este sismo hubo muchas víctimas por el colapso de casas de bahareque y de adobe, pero lo más característico fue el colapso de edificios grandes. Sólo en el edificio Rubén Darío murieron unas 300 personas (ver figura 2.15), en el

CAPITULO 11: "SISMICIDAD DE EL SALVADOR"

Colegio Santa Catalina 30, en el Ministerio de Planificación 12 y en el Gran Hotel de San Salvador otras 12. La destrucción también fue evidente en edificios gubernamentales como los del Ministerio de Trabajo y el Ministerio de Agricultura y Ganadería, centros educativos como el Colegio Guadalupeño y la escuela Joaquín Rodezno, hospitales como el de niños Benjamín Bloom y monumentos como el Salvador del Mundo, muchos edificios de la Universidad de El Salvador sufrieron daños apreciables.

El tipo de movimiento producido por los sismos locales es de mucha importancia ya que la aceleración puede ser muy alta, pero de corta duración, y por tanto puede ocasionar graves daños en las estructuras.

Claramente muchos edificios dañados por los sismos de 1965 no fueron reparados y reforzados adecuadamente y por ende no ofrecieron resistencia a la intensa sacudida de 1986. Otros daños estructurales se debieron a la mala calidad de la construcción, el uso de materiales inadecuados y errores de diseño como "columnas cortas".

Otro fenómeno que empeoró el impacto del sismo de 1986 fue el comportamiento del terreno. Como los depósitos de sueltos se pueden asentar apreciablemente durante la sacudida de un sismo, esto puede causar daños en los edificios cimentados en los mismos suelos, especialmente cuando el asentamiento no es uniforme como en el caso de los rellenos. En San Salvador existen muchas barrancas rellenas con suelos que no han sido compactadas y

CAPITULO 11: "SISMICIDAD DE EL SALVADOR"

que son especialmente susceptibles al asentamiento. El Colegio Guadalupeño por ejemplo, sufrió daños severos debido al asentamiento de rellenos.

Otro efecto geotectónico de los terremotos son los derrumbes y deslizamientos para los cuales la tierra blanca es muy propensa. Es de resaltar un deslizamiento de tierra blanca en la colonia Santa Marta el cual sepultó unas 200 casas y causó 100 muertos, al sur de la ciudad capital. Pero no es el único derrumbe ocurrido a raíz de ese evento sísmico, que también provocó más deslizamientos menores en diversos puntos (barrancas, taludes de cerros, cortes para carreteras, etc.) de la ciudad capital y en las cercanías del Lago de Ilopango. El sismo del 10 de octubre de 1982 generó centenares de deslizamientos y derrumbes dentro de un área de 200 km², incluyendo toda la Zona Metropolitana de San Salvador.

Las cifras oficiales llegaron a más de 1,500 fallecidos, un centenar de desaparecidos, 10 mil heridos de diversas gravedades y otros 15 mil sin hogar y trabajo, al quedar dañados más de sesenta mil viviendas y tres mil negocios entre grandes, medianos y pequeños. La ayuda internacional es inmediata. Brigadas de rescate de México y Brasil llegan para apoyar las labores de rescate de las víctimas del Darío y de otros edificios. En la ciudad, pronto escasean los alimentos, los mercados fueron cerrados y la banca estatizada no abrió sus puertas para que los ahorrantes pudieran tener acceso a sus recursos monetarios. Desde el momento del temblor hasta el miércoles 26 de noviembre

de 1986, los sismógrafos nacionales registran un total de 2508 sismos más, casi todos imperceptibles para la población. Sin embargo, aún el 22 de diciembre se continuaba el trabajo de vigilancia y registro de la actividad sísmica originada en las fallas generadoras del siniestro.

En la figura 2.16 se muestra el mapa de isosistas de las intensidades sísmicas en la escala de Mercalli Modificada del sismo del 10 de octubre de 1986; el epicentro se localizó en el departamento de San Salvador, además, la intensidad sísmica varía desde $I_{MM}=VIII$ en San Salvador y las zonas cercanas a la costa, hasta $I_{MM}=II$ en la zona norte del país.

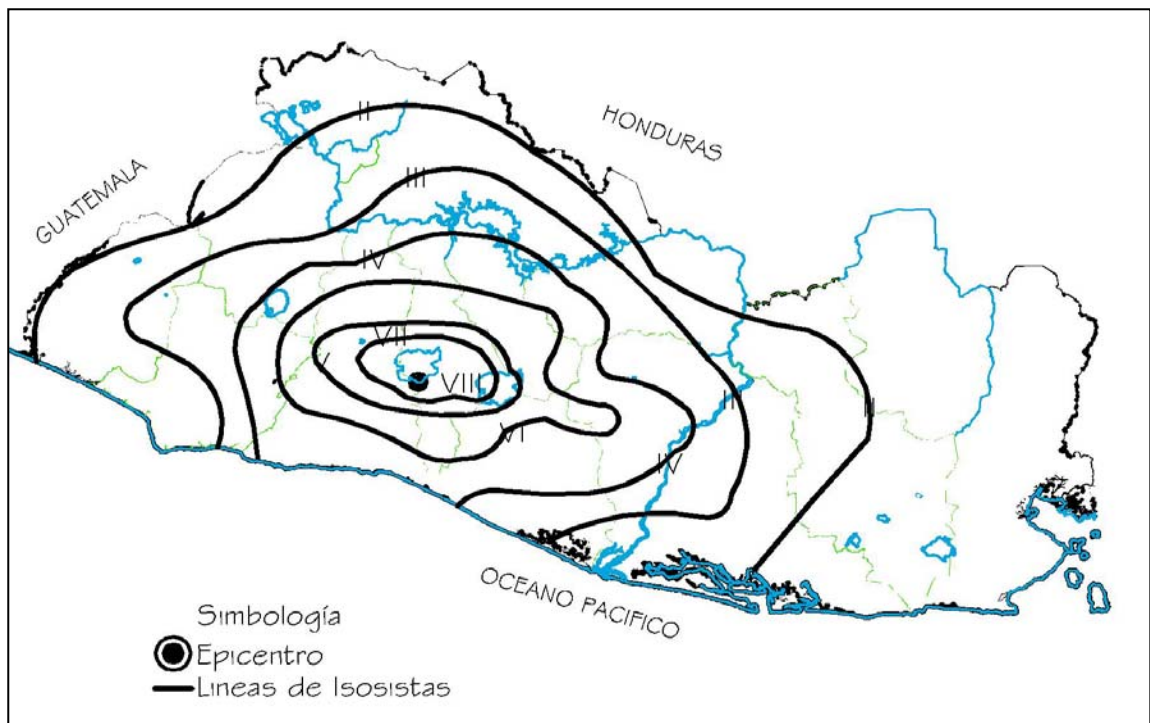


FIGURA 2.16. Mapa de Isosistas del sismo del 10 de octubre de 1986.
(Fuente www.snet.gob.sv)

2.4.3. Sismo del 13 de Enero de 2001.

Este fue un sismo de origen regional registrado a las 11 horas 33 minutos (hora local) con una magnitud de 7.6 en la escala de Richter (Intensidad Mercalli Modificada VII-VIII) con una duración de 45 segundos, el epicentro es localizado en el Océano Pacífico, a 100 kilómetros al suroeste de la ciudad de San Miguel (12.83° N y 88.79° O) y una profundidad focal estimada de 39 kilómetros. El evento principal se localizó en la placa del Caribe, por encima de la placa de subducción Cocos. Se sintió desde la Ciudad de México hasta Colombia.



FIGURA 2.17. Imágenes del deslizamiento en Las Colinas. (Fuente www.geologosdelmundo.org)

CAPITULO 11: "SISMICIDAD DE EL SALVADOR"

Este sismo provocó una destrucción generalizada en 172 de los 262 municipios del país, entre ellos Santa Ana, Jayaque, Comasagua, Nueva San Salvador, Santa Elena, San Vicente, San Salvador, San Agustín y muchos más. Aunque la destrucción es mas evidente en casas y edificios públicos construidos de bahareque o adobe, la mayor mortandad se centra en la zona residencial Las Colinas, construida al sur de Nueva San Salvador o Santa Tecla, donde un deslizamiento cae sobre cientos de casas y sotierra casi a medio millar de personas. Hubo mas deslizamientos provocados por el sismo en la Carretera Panamericana que conducen al occidente y al oriente del país, a la altura de Los Chorros y de la Curva la Leona, respectivamente, donde también quedan soterradas varias personas. En total, el país sufre 445 derrumbes, los que causaron diversos grados de destrucción.

En la figura 2.18 se muestra el mapa de isosistas de las intensidades sísmicas en la escala de Mercalli Modificada del sismo del 13 de enero de 2001. Se puede observar la semejanza con el mapa de isosistas del sismo de junio de 1982, generando la misma tendencia ya que este sismo también tuvo su epicentro en la zona de subducción de las placas de Coco y del Caribe. La intensidad sísmica varía desde $I_{MM}=VIII$ en San Miguel, Usulután y las zonas cercanas a la costa, hasta $I_{MM}=V$ en la zona norte del país.

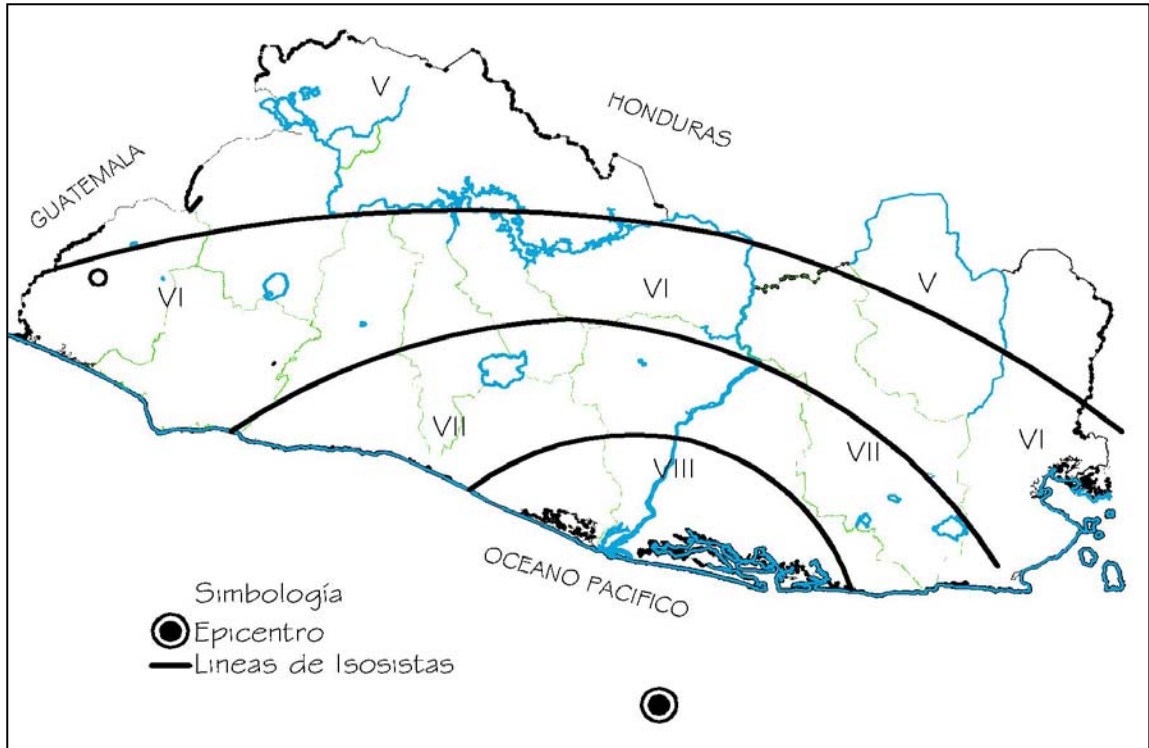


FIGURA 2.18. Mapa de Isosistas del sismo del 13 de enero de 2001.
(Fuente www.snet.gob.sv)

Las cifras oficiales cuantifican la tragedia humana en 944 heridos, 193 soterrados, 125 desaparecidos, 5,565 heridos, 1,364,160 damnificados, 68,777 evacuaciones, 39,000 personas desempleadas y 24,000 pescadores artesanales afectados por la ausencia de cardúmenes en las costas salvadoreñas.

Por su parte la destrucción material es estimada en 277,953 viviendas dañadas (mas 678 soterradas), 32,000 micro y pequeñas empresas destruidas, 1385 escuelas dañadas (109 destruidas por completo), daños en 1,155 edificios públicos, 405 templos, 94 hospitales y centros públicos de salud, 16

penitenciarias, 43 muelles, 41 instalaciones militares, la cuarta parte de los 2000 kilómetros de carreteras pavimentadas y 98 monumentos nacionales.

Una misión de la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) estima daños materiales directos e indirectos en 1,255.4 millones de dólares, de los cuales 823 millones (66%) corresponden al sector privado.

2.4.4. Sismo del 13 de febrero de 2001.

Fue un sismo de origen local registrado a las 8 horas 22 minutos (hora local) con una magnitud de 6.6 grados en la escala de Richter (Intensidad Mercalli Modificada VII-VII) y una duración de 20 segundos, el epicentro es localizado en una falla local de San Pedro Nonualco, a 30 kilómetros de San Salvador (13.64° N y 88.94° O), situada a una profundidad focal de entre 8.2 y 13 kilómetros. Se sintió en El Salvador, Guatemala y Honduras.

La destrucción abarca entre el 50 y el 95 por ciento de las viviendas de la ciudad de San Vicente, Cojutepeque, Paraíso de Osorio, Candelaria, Verapaz, San Emigdio, San Juan Tepezontes, San Miguel Tepezontes, Guadalupe y los cantones Santa Cruz Analquito y Miraflores abajo. Además, se reportan daños en viviendas de la ciudad de Chalatenango, una iglesia de Apopa y en el muelle artesanal del puerto de La Libertad.

Los cálculos preliminares arrojan un saldo de 315 personas fallecidas, 92 desaparecidas o soterradas, 3,399 lesionadas y 252,622 damnificadas. Muchas de ellas residían en las localidades devastadas, al igual que en San

CAPITULO 11: "SISMICIDAD DE EL SALVADOR"

Pedro Perulapán, San Cayetano Istepeque, Santa Cruz Michapa, Zacatecoluca, San Martín, San Rafael Cedros, cantón La Flor de San Martín y Candelaria. Un número de 71 derrumbes de diversas consideraciones es reportado en los volcanes de Santa Ana y San Vicente, la Cordillera del Bálsamo, los cerros de San Jacinto y Las Pavas, carreteras hacia Santa Ana y San Francisco Chinameca y los kilómetros 45-49 y 51-53 de la Carretera Panamericana.



FIGURA 2.19. Destrucción de Iglesia San Vicente. (Fuente www.rescate.com)

Entre otros daños materiales, se reporta gravedad o destrucción total en 57,008 viviendas, 82 edificios públicos, 73 iglesias, 111 escuelas y 41 hospitales y unidades de salud. A raíz de este nuevo movimiento tectónico, el inicio del año escolar sufre nuevos retrasos en casi todo el territorio nacional. Después de este evento natural, los sismógrafos reportan varios cientos de sismos secuelas, los que oscilan entre los 1.8 y 5.3 grados Richter.

En la figura 2.20 se muestra el mapa de isosistas de las intensidades sísmicas en la escala de Mercalli Modificada del sismo del 13 de febrero de 2001. Se puede observar la semejanza con el mapa de isosistas del sismo de octubre de 1986, ya que ambos fueron sismos locales. La intensidad sísmica varía desde $I_{MM}=VIII$ en San Vicente, hasta $I_{MM}=II-III$ en la zona norte del país.

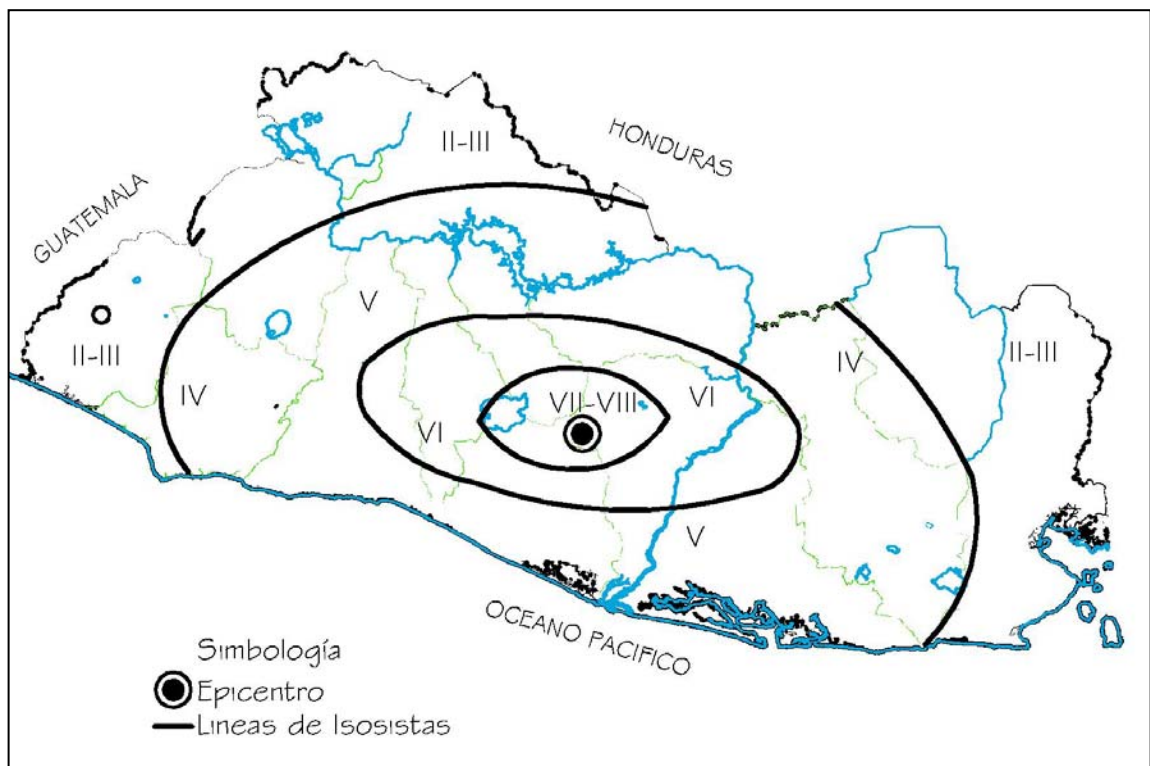


FIGURA 2.20. Mapa de Isosistas del sismo del 13 de febrero de 2001.
(Fuente www.snet.gob.sv)

CAPITULO III
ANALISIS DEL ESPECTRO
DE DISEÑO DE LA
NTDS-94

3.1. INTRODUCCION.

Para poder realizar una evaluación sísmica adecuada es necesario conocer los conceptos básicos necesarios, es por esto que la primera parte de este capítulo se exponen las definiciones necesarias para poder realizar la evaluación de las aceleraciones pico efectivas tales como demanda sísmica, espectros de respuesta, pseudo espectros, espectros de diseño y espectros de demanda y los procedimientos de cálculo de estos.

En la segunda parte este capítulo se hace un análisis del Espectro de Diseño para El Salvador que se presenta en la Norma Técnica para Diseño por Sismo (NTDS-94), se presentan las leyes de atenuación determinadas para la región tomadas del estudio de peligro sísmico realizado por la Universidad Autónoma de México, a partir del cual fue desarrollado el espectro de diseño antes mencionado, además, se describe el procedimiento de cálculo para las aceleraciones pico efectivas o factores de zonificación sísmica que se encuentran en la NTDS-94, por ultimo se presentan todos los demás factores y características que intervienen en la generación del espectro de diseño sísmico según la NTDS-94, tales como geología local y características del suelo y categorías de ocupación.

3.1. DEMANDA SÍSMICA.

La *demanda sísmica* generalmente se representa por medio de un espectro de respuesta elástico, en el cual se presenta la respuesta máxima de sistemas de un grado de libertad como una función de sus frecuencias. En la figura 3.1 se muestra la configuración de un espectro de respuestas elástico de forma general, en el cual se tiene en el eje de las ordenadas las aceleraciones espectrales y en el eje de las abscisas los períodos naturales:

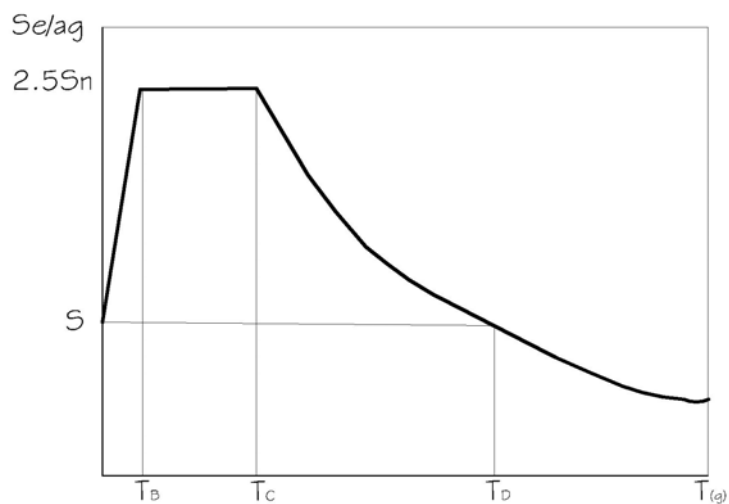


FIGURA 3.1. Espectro de respuesta elástico

Donde:

S_e = Es el espectro de respuesta elástico

T = Período de vibración para un sistema equivalente de un grado de libertad.

a_g = Aceleración sísmica de diseño

T_B, T_C = Límites de la aceleración espectral constante en cada segmento

T_D = Valor que define el comienzo del rango de respuesta de desplazamiento constante en el espectro.

S = Aceleración máxima del terreno.

n = Factor de corrección por amortiguamiento que varía hasta un 5%.

Tradicionalmente en la ingeniería se ha utilizado un espectro de respuesta de aceleraciones para procedimientos de análisis y diseño de estructuras basados en las fuerzas. Sin embargo, durante los últimos años, se ha identificado que los parámetros más relevantes en el diseño sismorresistente son los desplazamientos y las deformaciones. Por lo tanto se ha promovido el uso de espectros de respuesta en formato aceleración – desplazamiento AD (S_a vs. S_d) para propósitos de diseño y análisis basados en el desempeño sísmico llamados espectros de demanda ^[19]. De manera que el espectro de demanda es una representación gráfica de la aceleración máxima de respuesta (S_a) respecto el correspondiente desplazamiento máximo (S_d), para un período (T) y nivel de amortiguamiento dado (ξ).

3.2. ESPECTROS DE RESPUESTA.

Los espectros de respuesta fueron inicialmente propuestos por Biot en 1932 y luego desarrollados por Housner, Newmark y muchos otros investigadores. Actualmente, el concepto de espectro de respuesta es una importante herramienta de la dinámica estructural, de gran utilidad en el área del diseño sismorresistente. En forma general se puede definir un *espectro* como un gráfico

de la respuesta máxima (expresada en términos de desplazamiento (S_d), velocidad (S_v), aceleración (S_a) o cualquier parámetro de interés) que produce una acción dinámica determinada en una estructura u oscilador de un grado de libertad.

En estos gráficos se representa en el eje de las abscisas el período propio de la estructura (T) (o la frecuencia (f)) y en el eje de las ordenadas, la respuesta máxima calculada para distintos factores de amortiguamiento (ξ).

El concepto de espectros comenzó a gestarse gracias a una idea de Kyoji Suyehiro, Director del Instituto de Investigaciones de la Universidad de Tokio, quien en 1920 ideó un instrumento de medición formado por 6 péndulos con diferentes períodos de vibración, con el objeto de registrar la respuesta de los mismos ante la ocurrencia de un terremoto. Unos años después, Hugo Benioff publicó un artículo en el que proponía un instrumento similar al de Suyehiro, destinado a medir el desplazamiento registrado por diferentes péndulos con los cuales se podría determinar el valor máximo de respuesta y construir una curva (lo que hoy se conoce como espectro de desplazamientos elástico) cuya área sería un parámetro indicador de la destructividad del terremoto. Finalmente, fue Maurice Biot en el Instituto Tecnológico de California, quien propuso formalmente la idea de espectros de respuesta elástica.

Para explicar en forma conceptual el procedimiento de construcción de un espectro de respuesta se considera una serie de estructuras de un grado de

libertad u osciladores simples con diferentes periodos de vibración (T) y con igual factor de amortiguamiento (ξ).

Si se somete todos estos osciladores a la acción de un mismo terremoto cada uno de ellos exhibirá una respuesta diferente, la cual puede representarse, por ejemplo, a través de la historia de desplazamientos. Una vez se ha calculado la respuesta de los osciladores es posible determinar el máximo (en valor absoluto, dado que el signo no tiene importancia) de cada uno de ellos y volcarlos en un gráfico en función del período de vibración, para obtener así un espectro de respuesta. Es decir, que la respuesta máxima de cada oscilador con período (T) representa un punto del espectro.

La importancia de los espectros en el diseño de estructuras radica en el hecho de que estos gráficos nos muestran los valores de la respuesta máxima, los cuales son requeridos para el diseño sismorresistente de estructuras.

La realización de un espectro de respuesta requiere la ejecución de numerosos cálculos, dado que es necesario resolver la ecuación de equilibrio dinámico para determinar la historia (variación del tiempo) de desplazamientos (d), velocidad (v) y aceleraciones (a) para una gran cantidad de estructuras con diferentes períodos de vibración y factores de amortiguamiento (ξ).

Sin embargo, en la actualidad esto no representa un problema de importancia debido a la existencia de numerosos programas de computadora que pueden realizar un espectro de respuesta elástico o inelástico rápidamente.

En la figura 3.2 se muestra gráficamente la forma de construcción de un espectro de respuesta de aceleraciones:

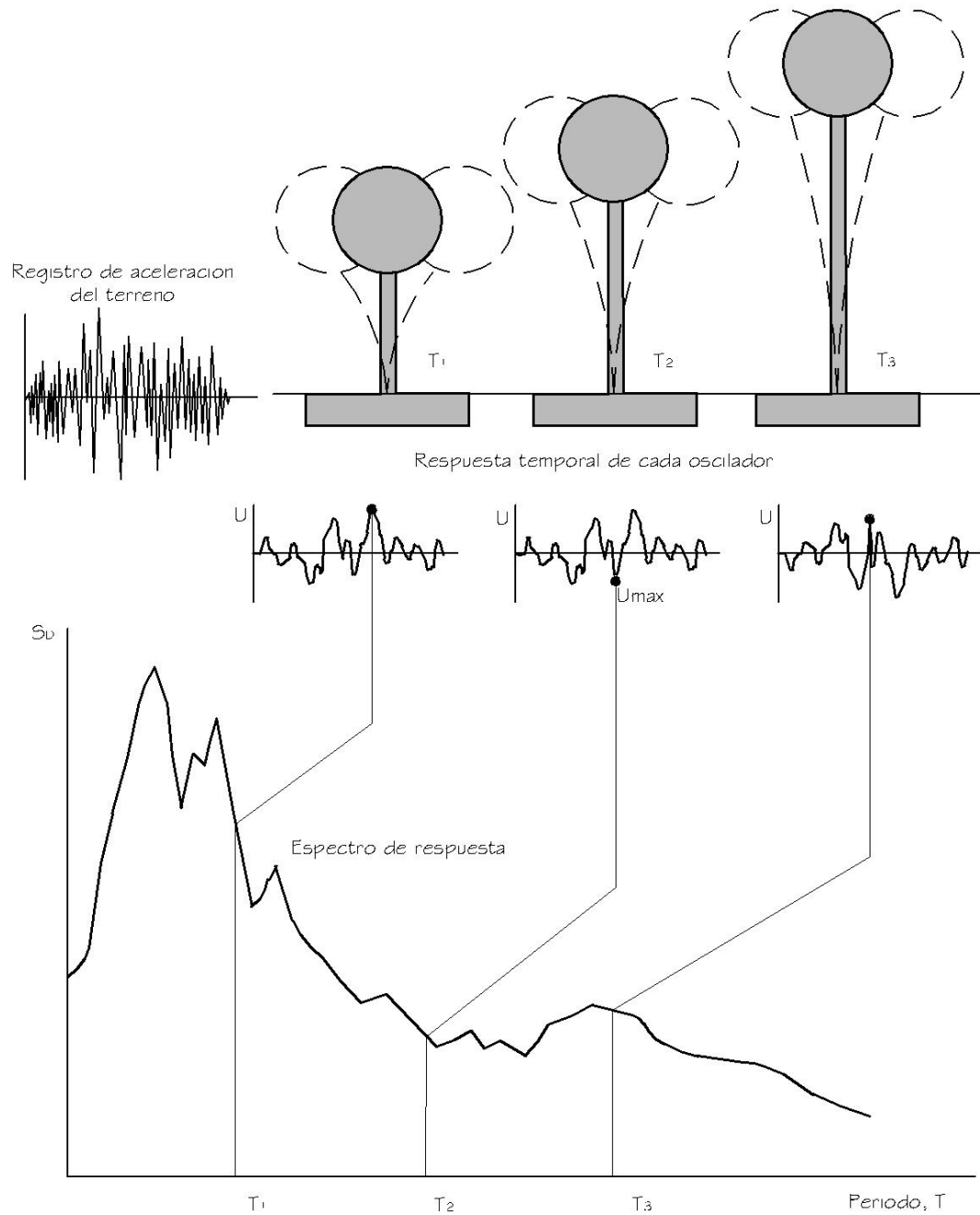


FIGURA 3.2. Grafico indicativo del método de determinación del espectro de respuesta.

3.2.1. Procedimiento de cálculo de un espectro de respuesta elástico.

Se definirá la ecuación diferencial del movimiento para un sistema de un grado de libertad cuando se somete a una acción sísmica:

$$m\ddot{q}(t) + c\dot{q}(t) + kq(t) = -m\ddot{U}_g(t) \quad (3.1)$$

Donde:

m es la masa del sistema,

c es el amortiguamiento del sistema,

k es la rigidez del sistema,

$q(t)$, $\dot{q}(t)$, $\ddot{q}(t)$ son el desplazamiento, velocidad y aceleración relativos de la masa con respecto al suelo,

$\ddot{U}_g(t)$ es la aceleración de la excitación sísmica.

La ecuación (3.1) es para el análisis sísmico lineal en el cual se ha considerado amortiguamiento viscoso. Por otra parte está:

$$W_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3.2)$$

$$\xi = \frac{c}{c_{cr}} = \frac{c}{2\sqrt{mk}} \quad (3.3)$$

$$W_n = \frac{2\pi}{T} \quad (3.4)$$

Donde:

W_n es la frecuencia natural no amortiguada y

ξ es la fracción de amortiguamiento crítico.

En función de estas últimas variables, la ecuación (3.1) puede reescribirse de la siguiente manera:

$$\ddot{q}(t) + \xi W_n \dot{q}(t) + W_n^2 q(t) = -\ddot{U}_g(t) \quad (3.5)$$

En general existen dos formas de encontrar la solución de la ecuación diferencial de segundo orden anterior:

- a) encontrar una solución analítica exacta.
- b) encontrar una solución aproximada empleando métodos numéricos.

Para la solución analítica se puede trabajar con la integral de Duhamel ^[12]:

$$q(t) = -\frac{1}{W_a} \int_0^t \ddot{U}_g(\tau) e^{-\xi W_n(t-\tau)} \text{Sin}[W_a(t-\tau)] d\tau \quad (3.6)$$

$$W_a = W_n \sqrt{1-\xi^2} \quad (3.7)$$

La ecuación 3.6 corresponde a la solución particular de la ecuación (3.5). La solución homogénea no se incluye en la ecuación (3.6) toda vez que la excitación se aplica cuando el sistema está en reposo. En estas condiciones los términos correspondientes a la vibración libre (solución homogénea) son nulos.

La segunda forma de solución, es mediante métodos numéricos. En este contexto uno de los algoritmos más usados es el Método de Newmark ^[120] utilizando el valor de $\beta = 1/6$ que corresponde a la variación lineal de la aceleración.

Al derivar con respecto al tiempo t la ecuación (3.6), se obtiene una expresión para calcular la velocidad ($\dot{q}(t)$) y derivando de nuevo se encuentra la aceleración ($\ddot{q}(t)$).

Los espectros de respuesta en desplazamiento (S_d), velocidad (S_v) y aceleración (S_a), se obtienen para un cierto acelerograma, como los máximos valores de la respuesta del sistema.

$$S_d = |q(t)|_{max} \quad (3.8)$$

$$S_v = |\dot{q}(t)|_{max} \quad (3.9)$$

$$S_a = |\ddot{q}(t)|_{max} \quad (3.10)$$

TABLA 3.1. Valores de amortiguamiento ζ recomendados por Newmark y Hall.

NIVEL DE TENSIONES	TIPO Y CONDICION DE ESTRUCTURA	ζ (en %)
Tensiones de servicio menores al 50% de los de fluencia	Tuberías Vitales	1 a 2
	Acero soldado, concreto pretensado, concreto muy reforzado con pequeño amortiguamiento.	2 a 3
	Concreto reforzado con fisuramiento considerable	3 a 5
	Acero apernado y/o remachado, estructuras de madera con uniones apernadas o clavadas	5 a 7
Tensiones a nivel de fluencia o cercanos a la fluencia	Tuberías Vitales	2 a 3
	Acero soldado, concreto pretensado, concreto muy reforzado con pequeño amortiguamiento.	5 a 7
	Concreto reforzado con fisuramiento considerable	7 a 10
	Acero apernado y/o remachado, estructuras de madera con uniones apernadas	10 a 15
	estructuras de madera con uniones apernadas	15 a 20

Como se indicó los espectros de respuesta elásticos se construyen para una determinada fracción de amortiguamiento (ζ), el mismo que se considera constante en la evaluación de la respuesta dinámica. El valor del amortiguamiento (ζ) depende del tipo de material, tipo de estructuración y fundamentalmente del nivel de esfuerzos a que está sometida la estructura. Newmark y Hall ^[9] recomiendan los valores de amortiguamiento (ζ) indicados en la tabla 3.1 mostrada anteriormente.

3.2.2. Pseudo Espectros.

Al derivar la ecuación (3.6) se obtiene la velocidad ($\dot{q}(t)$) y derivando esta se obtendrá la aceleración ($\ddot{q}(t)$), las expresiones que se encuentran son:

$$\dot{q}(t) = - \int_0^t \ddot{U}_g(\tau) e^{-\zeta W_n(t-\tau)} \text{Cos}[W_d(t-\tau)] d\tau + W_n \zeta \dot{q}(t) \quad (3.11)$$

$$\ddot{q}(t) + \ddot{U}_g(t) = W_d \int_0^t \ddot{U}_g(\tau) e^{-\zeta W_n(t-\tau)} \text{Sin}[W_d(t-\tau)] d\tau - 2W_n \zeta \dot{q}(t) - (W_n \zeta)^2 q(t) \quad (3.12)$$

Por otro lado, en la tabla 3.1 se observa que los valores de amortiguamiento (ζ) varían entre 1 y 20%, correspondiendo este último valor a un estado en que la estructura está sometida a grandes esfuerzos. Al reemplazar los valores de amortiguamiento (ζ) habituales en la expresión (3.7) se obtiene de $W_d = W_n$. De igual forma se pueden despreciar los valores que se encuentran fuera de la integral de las ecuaciones (3.11) y (3.12) porque están multiplicados por el amortiguamiento (ζ) que es un valor pequeño. Asimismo Hudson ^[16] estableció que la función Coseno que aparece en la ecuación (3.11), puede sustituirse a efectos de cálculos por la función Seno sin cometer mayores errores al calcular

la respuesta máxima. Esta aproximación basada en la aleatoriedad de los movimientos del suelo es válida para el rango de frecuencias que tienen las estructuras.

Con estas consideraciones se introducen tres nuevas cantidades definidas como Pseudo-espectros de respuesta de desplazamiento (PS_d), velocidad (PS_v) y aceleración (PS_a) y a continuación se muestran las ecuaciones para cada uno:

$$PS_d = \left| -\frac{1}{W_n} \int_0^t \ddot{U}_g(\tau) e^{-\zeta W_n(t-\tau)} \text{Sin}[W_n(t-\tau)] d\tau \right|_{max} \quad (3.13)$$

$$PS_v = \left| -\int_0^t \ddot{U}_g(\tau) e^{-\zeta W_n(t-\tau)} \text{Sin}[W_n(t-\tau)] d\tau \right|_{max} \quad (3.14)$$

$$PS_a = \left| W_n \int_0^t \ddot{U}_g(\tau) e^{-\zeta W_n(t-\tau)} \text{Sin}[W_n(t-\tau)] d\tau \right|_{max} \quad (3.15)$$

Al observar las ecuaciones (3.13) a (3.15) se concluye que:

$$PS_v = W_n PS_d \quad (3.16)$$

$$PS_a = W_n^2 PS_d \quad (3.17)$$

Se ha encontrado que para el rango de valores de período (T) y amortiguamiento (ζ) de interés práctico en ingeniería estructural los Pseudo-espectros son muy parecidos a los espectros reales ^[8], por lo tanto la función de los pseudo-espectros es de ahorrarse cálculos complicados para graficar los espectros de respuesta sabiendo que para períodos mayores a 3 segundos las curvas de los pseudo-espectros difieren de las curvas de los espectros, lo propio sucede para períodos menores a 0.10 segundos. La mayor parte de las estructuras

tienen períodos comprendidos entre 0.10 y 3 segundos por lo que se acepta que:

$$PS_v \approx S_v \quad PS_a \approx S_a \quad (3.18)$$

$$S_v = W_n S_d \quad (3.19)$$

$$S_a = W_n^2 S_d = W_n S_v \quad (3.20)$$

3.3 ESPECTROS DE DISEÑO.

Los *espectros de diseño* son una herramienta de gran utilidad en el diseño de estructuras sismorresistentes debido a que el ingeniero estructural puede estimar el valor máximo de la respuesta (usualmente en términos de aceleración) sin necesidad de evaluar la historia temporal completa. Sin embargo, en el diseño de estructuras no pueden utilizarse los espectros de respuesta ya que ellos se obtienen para un terremoto dado. Las curvas espectrales para diseño deben considerar el efecto de varios terremotos, es decir, deben ser representativos de la sismicidad propia de cada región.

Se han desarrollado varias metodologías, basadas en procedimientos estadísticos, para obtener los espectros de diseño. El procedimiento más usual es considerar el valor promedio más la desviación estándar de los espectros de respuesta de varios terremotos representativos. Si los valores de los espectros son similares, la desviación estándar es baja y la curva espectral se asemeja al promedio. Por el contrario, si los valores presentan diferencias significativas, la desviación estándar es alta y la curva espectral se acerca al valor máximo e

incluso puede superarlo. De modo que este procedimiento tiene en cuenta la mayor o menor dispersión de los datos y conduce a resultados confiables.

Para efectos de diseño sismorresistente resulta conveniente que las curvas espectrales se suavicen con líneas envolventes para evitar los valles o variaciones bruscas que surgen de las formas complejas que presentan los espectros de respuesta.

Es por ello, que los espectros de diseño que definen los códigos están formados por una serie de líneas o curvas, las cuales pueden expresarse mediante ecuaciones simples. Los espectros de diseño de aceleración suelen presentar una rama lineal creciente (con origen en el valor de aceleración máxima del terreno), luego una zona de aceleración constante, o plafón con un valor 2 a 3 veces superior a la aceleración máxima del terreno y finalmente una o más formas decrecientes (ver figura 3.1).

3.5. ESPECTROS DE DEMANDA.

Como se mencionó anteriormente *espectro de demanda* es una representación gráfica de la aceleración máxima de respuesta (S_a) respecto el correspondiente desplazamiento máximo (S_d), para un período (T) y nivel de amortiguamiento (ξ) dado. Como se mencionó anteriormente estos valores máximos corresponden con los valores pseudo-espectrales siempre que se trate de pequeños valores del amortiguamiento.

3.5.1 Procedimiento para calcular el espectro de demanda.

El procedimiento que se utiliza para construir el espectro de demanda sísmica en el formato AD es el siguiente:

1. Cálculo del espectro elástico de aceleraciones S_a .

Este espectro de respuesta elástico debe ser sucesivamente ajustado para un factor de amortiguamiento (ξ) compatible con el nivel de deformaciones esperado. En el caso de El Salvador este factor de ajuste es del 5% del amortiguamiento crítico y el espectro se calcula para una probabilidad de excedencia de un 10 % en un periodo de retorno de 50 años. El procedimiento para elaborar este espectro elástico es el presentado en el apartado anterior.

2. Cálculo del espectro elástico de desplazamientos S_d .

El siguiente paso es encontrar el valor del desplazamiento espectral, este se calcula relacionando los datos de aceleraciones espectrales (S_a) calculados en el espectro elástico con los períodos de la estructura.

Basándose en las propuestas realizadas por la ATC-40 ^[7] y la FEMA-356 ^[8], los valores del desplazamiento espectral pueden ser calculados aplicando la siguiente expresión:

$$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} S_a \quad (3.21)$$

Donde:

S_a son las aceleraciones espectrales.

S_d son los desplazamientos espectrales

T son los períodos.

Ya obtenidos los valores se procede a graficar en el eje de las ordenadas los desplazamientos (S_{de}) y en el eje de las abscisas los valores de los períodos (T), formando el espectro de desplazamientos, como se muestra en la siguiente figura:

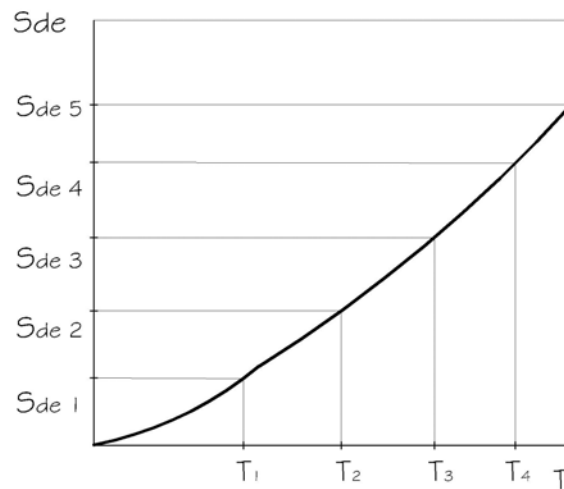


FIGURA 3.3. Espectro de desplazamientos.

3. Construcción del espectro elástico en formato aceleración – desplazamiento

AD (S_a vs. S_d).

Con los valores obtenidos de ambos espectros se grafica en el eje de las ordenadas la aceleración espectral y en las abscisas el desplazamiento espectral. Las líneas radiales que parten del origen corresponden a períodos constantes T_i (ver figura 3.4). La ventaja de este formato es que la capacidad y la demanda pueden superponerse en el mismo diagrama, permitiendo una

solución grafica del nivel de desempeño de la estructura. Es importante notar que este formato es tan solo una representación diferente de los mismos datos, y no proporciona información adicional.

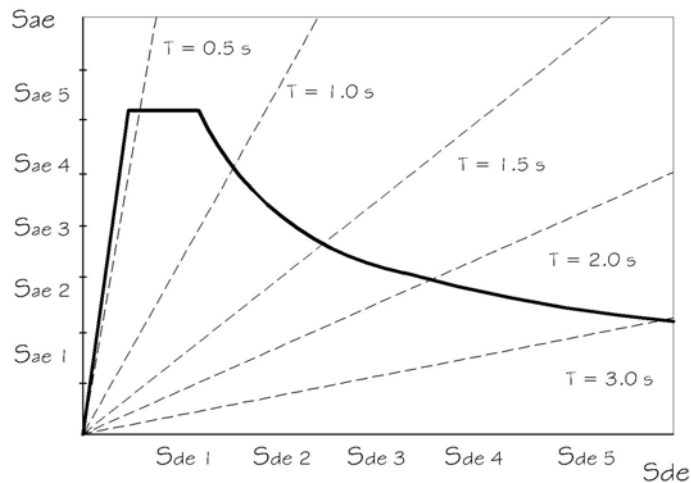


FIGURA 3.4 Espectro de demanda en formato S_{ae} vs. S_{de} .

3.6. ESPECTRO DE DISEÑO PARA EL SALVADOR.

El espectro de diseño sísmico actual fue desarrollado a partir del estudio de peligro sísmico realizado por la Universidad Autónoma de México en 1993 [10]. En este estudio se determinó la ley de atenuación para la región, a través del análisis de movimientos fuertes en varios países de Centroamérica, procesando la información con diversas técnicas estadísticas se llegó a la siguiente expresión:

$$E(\log a_{max} | M, R_o) = 2.74 + 0.2 | 2M - 0.99 \log G(R) - 9.43 \times 10^{-4} R \quad (3.22)$$

$$R^2 = R_o^2 + (e^{0.47M})^2 \quad (3.23)$$

$$G(R) = \begin{cases} R, & \text{si } R \leq 100 \text{ km} \\ (100R)^{1/2}, & \text{si } R > 100 \text{ km} \end{cases} \quad (3.24)$$

$$\sigma(\log a_{max}) = 0.26 \quad (3.25)$$

La ecuación (3.22) proporciona el valor esperado del logaritmo de a_{max} dadas la magnitud y la distancia mínima de la zona de ruptura R_o . El término $\exp(0.47M)$ puede interpretarse como la dimensión del área de ruptura, la cual crece al aumentar la magnitud; este término hace que a_{max} alcance un valor de saturación con la magnitud.

El catalogo sísmico que se utilizó para el estudio de peligro sísmico fue obtenido a partir de la base de datos del USGS/NEIC (United States Geological Survey/Nacional Earthquake Information Center), version 1.0, empleando la ventana $11^{\circ} - 16^{\circ} N$ y $86^{\circ} - 93^{\circ} W$ y los siguientes catálogos tanto mundiales como regionales: ABE (Abe, 1982), BCIS (Bureau Central International Seismologique, 1935, 1950-1963), GUTE (Gutenberg and Richter, 1904.1952), HDS (NEIS Preliminary Determination of Epicenter) ISS (Internacional Seismological Summary) y NGDC (Nacional Geophysical Data Center, 1900-1979, Mid-America). El número de eventos contenidos en el catálogo final para El Salvador es de 2790 sismos, para los años 1898 a 1988.

La ley de atenuación presentada corresponde a sitios de terreno firme, representativos de los lugares en que se encuentran instalados los instrumentos de movimiento fuerte cuyos registros se usaron en el análisis. No se consideran en este estudio por tanto las amplificaciones locales o efectos de sitio.

En este estudio también se presentaron los mapas de peligrosidad sísmica de aceleraciones máximas para tres diferentes períodos de recurrencia: 72, 475 y 900 años. El que se ocupó para el espectro de diseño sísmico de la NTDS-94 fue el de 475 años. Las tasas de excedencia se relacionan con probabilidades de excedencia en lapsos dados a partir de la siguiente expresión:

$$P_{\theta}(a_{max}, T) = 1 - e^{-v(a_{max})T} \quad (3.26)$$

Donde: $P_{\theta}(a_{max}, T)$ es la probabilidad de que se exceda la aceleración a_{max} en un lapso de exposición (T).

Para convertir las aceleraciones máximas esperadas asociadas a ciertos períodos de recurrencia a fuerzas para diseño sísmico de edificaciones, se utilizó el criterio propuesto por el ATC-40 (Applied Technology Council), verificando los resultados con lineamientos aplicados en México.

De acuerdo con los criterios del ATC-40, el análisis debe iniciarse no a partir de las aceleraciones máximas del terreno, sino a partir de la Aceleración Pico Efectiva (EPA, por sus siglas en inglés Effective Peak Acceleration) cuya probabilidad de excedencia es de 10% en 50 años, lo cual equivale a un período de recurrencia de 475 años; la EPA se define de la siguiente manera:

$$EPA = \frac{1}{2.5(0.5 - 0.1)} \int_{0.1}^{0.5} S_a(T) dT \quad (3.27)$$

Donde: $S_a(T)$ es el espectro de respuesta de aceleración para el 5% del amortiguamiento crítico (ζ). En otras palabras, la EPA se calcula a partir del promedio de las amplitudes espectrales entre 0.1 y 0.5 segundos.

La aplicación de esta definición a espectros de respuesta como los que se han registrado en El Salvador, resultó aproximadamente el 70% de las aceleraciones máximas del terreno. Sin embargo, no bastó con multiplicar por 0.7 los valores presentados en el mapa de peligrosidad sísmica de aceleraciones máximas, debido a que la incertidumbre en la predicción de la aceleración pico efectiva (EPA) fue apreciablemente menor que la asociada a a_{max} .

En este estudio de peligro sísmico en El Salvador se dividió al país en dos zonas, una de máxima sismicidad llamada Zona A y una de menor sismicidad llamada Zona B, siendo la frontera entre ambas zonas sísmicas una línea que divide al país entre los 14°N y los 89°W.

Los valores de aceleración pico efectivas (EPA) correspondientes a 475 años se presentan a continuación:

Tabla 3.2. Aceleración pico equivalente, aceleración corregida por duración y ordenadas máximas del espectro de diseño en Gal.

ZONA	EPA	$Z=0.75*EPA$	$S_a=2.75*Z$
A	480	360	990
B	360	270	740

Los valores presentados en la tabla 3.2 serían, de acuerdo con el ATC, los coeficientes base para determinar las ordenadas espectrales. Sin embargo, se juzgó conveniente efectuar una reducción adicional debido a que los criterios del ATC han sido calibrados, en su mayor parte, a partir del análisis de los daños por temblor en California. Estos temblores, en general, son de magnitud mayor a los que usualmente han provocado daños en El Salvador, y por tanto, de mayor

duración. Así que se usó un valor de 0.75 para afectar las EPA equivalentes determinadas, luego se multiplicó por 2.75 (de acuerdo con el UBC-SEAOC) las aceleraciones pico efectivas corregidas para encontrar el valor máximo que pueden alcanzar los espectros de diseño que se propusieron en el estudio de Peligro Sísmico desarrollado por la Universidad Autónoma de México.

Sin embargo, los coeficientes de reducción de aceleración (Z) (ver tabla 3.2) que se describieron anteriormente corresponden a sitios de terreno firme así que en este estudio se propuso revisar y adaptarse a las particularidades de los tipos y calidades de construcción del país y para terrenos más blandos se sugirió, contrario a las prácticas norteamericanas, se utilizarán ordenadas espectrales superiores a las de terreno firme aun para período corto. Es por esto, que la Norma Técnica para Diseño por Sismo salvadoreña^[23], la cual fue desarrollada y publicada por el Ministerio de Obras Públicas en el año de 1994 basándose en diferentes características y propiedades propias del país como lo son: zonas sísmicas, geología local y características del suelo, categorías de ocupación, configuración estructural y sistemas estructurales, propone en el capítulo 5 apartado 5.2 las ecuaciones para elaborar un espectro de diseño con una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, las cuales se definen a continuación (al final de este documento se muestran como anexo los números de las ecuaciones según el capítulo 5 de la NTDS-94):

$$S_I \quad T_m < \frac{T_o}{3} \quad C_s = \frac{IA}{R} \left[1 + \frac{3(C_o - 1)T_m}{T_o} \right] \quad (3.28)$$

$$S_I \quad \frac{T_o}{3} \leq T_m \leq T_o \quad C_s = \frac{IAC_o}{R} \quad (3.29)$$

$$S_I \quad T_o \leq T_m \leq 4s \quad C_s = \frac{IA}{R} \left[1 + \frac{3(C_o - 1)T_m}{T_o} \right] \quad (3.30)$$

$$S_I \quad T_m > 4s \quad C_s = \frac{2.5IAC_o T_o^{2/3}}{RT_m^{4/3}} \quad (3.31)$$

Donde:

A: Factor de zonificación sísmica.

I: Factor de importancia.

C_o, T_o : Coeficientes de sitio.

R: Factor de modificación de respuesta.

T_m : Periodo fundamental de vibración de la estructura en estudio.

3.5.1. Zonificación Sísmica.

En la NTDS-94 se consideraron las dos zonas sísmicas propuestas en el estudio de peligro sísmico desarrollado por la Universidad Autónoma de México, cambiándole el nombre de A y B a 1 y 2 respectivamente. Los factores de zonificación sísmica (A) propuestos no son más que la aceleración pico efectiva (EPA) correspondiente al máximo nivel esperado del movimiento del terreno con un 10% de excedencia en 50 años, definidas de tal manera que corresponda

numéricamente a cada zona. El factor A se expresa como una fracción de la constante de la gravedad g (ver tabla 3.3.).

Tabla 3.3. Factor A de zonificación sísmica.

ZONA	FACTOR A
1	0.40
2	0.30

En este Trabajo de Graduación se han evaluado estos factores detalladamente a partir de los espectros de respuesta de aceleración absoluta generados con datos registrados durante los sismos del 19 de junio de 1982 y del 10 de Octubre de 1986, los cuales fueron incluidos en el catálogo sísmico del estudio de Peligro Sísmico que se realizó para fundamentar estos valores, pero debido a que este catálogo sísmico solamente se hizo con registros tomados hasta el año de 1988, se han analizado los sismos del 13 de enero y 13 de febrero de 2001 para comprobar si estos valores cumplen con los objetivos fundamentales del diseño sísmico; en el siguiente capítulo se muestra el análisis y procedimiento realizado para evaluar estos factores de Zonificación Sísmica o Aceleraciones Pico Efectivas.

3.5.2. Geología Local y características del suelo.

Anteriormente, los reglamentos del país no proporcionaban fórmulas para cuantificar los efectos de la geología local y las características del suelo, estos efectos se han incluido en este reglamento mediante los coeficientes de sitio (C_d) y (T_d) para cuatro perfiles típicos de suelo, los cuales se definieron para el

área metropolitana de San Salvador (AMSS), en base al análisis de los datos proporcionados por estudios geotécnicos existentes para esta zona. Es importante hacer mención que a falta de información, la clasificación de los perfiles de suelo y sus correspondientes coeficientes de sitio se generalizaron para toda la república, se asignaron períodos fundamentales del suelo para el coeficiente de sitio (T_o) sin justificación, por lo que la normativa incorpora el efecto de sitio en la evaluación de los cortantes sísmicos de diseño de manera generalizada y no en base a estudios detallados. A continuación se muestran en la tabla 3.4 los coeficientes de sitio incluidos en la NTDS-94:

Tabla 3.4. Coeficientes de Sitio C_o y T_o .

Tipo	Descripción	C_o	T_o
S_1	Perfiles de suelo siguientes: a) Materiales de apariencia rocosa caracterizados por velocidades de onda de corte mayores de 500 m/s. b) Suelo con condiciones rígidas o muy densas, cuyo espesor sea menor de 30 m sobre el manto rocoso.	2.5	0.3
S_2	Perfiles de suelo siguientes: a) Suelo con condiciones rígidas o muy densas cuyo espesor sea de 30m o más sobre el manto rocoso. b) Suelo con condiciones compactas o muy compactas o medianamente denso con espesor menor a 30 m.	2.75	0.5
S_3	Perfil de suelo que contiene un espesor acumulado de 4 a 12 m de suelos cohesivos blandos a medianamente compactos o suelos no cohesivos sueltos.	3.0	0.6
S_4	Perfil de suelo que contiene mas de 12 m de suelo cohesivo blando o suelo no cohesivo suelto y caracterizado por una velocidad de onda de corte menor de 150 m/s.	3.0	0.9

Estos perfiles de suelo que se muestran en la tabla anterior han sido tomados de manera generalizada a partir de otras normativas extranjeras, en el país no existe ningún estudio que se haya hecho a profundidad para validar y justificar si las características geológicas antes mostradas en realidad coinciden o pueden ser aplicadas satisfactoriamente, es necesario hacer una revisión de estas características y evaluar si los períodos fundamentales de los suelos mencionados en esta tabla son aceptables para un diseño sismorresistente.

En este Trabajo de Graduación se han ordenado los espectros de respuesta de aceleración absoluta para los eventos antes mencionados según el perfil del suelo donde tenga el emplazamiento la estación acelerográfica que registró las aceleraciones del terreno, en base a esto se han comparado las aceleraciones espectrales máximas de cada sismo con las aceleraciones máximas del espectro de respuesta y así observar las variaciones que existen entre los perfiles de suelo.

4.3.3. Categorías de Ocupación.

Se ha considerado que el incremento de las fuerzas de diseño para estructuras especiales, tiende a proporcionar un mejor nivel de comportamiento sísmico y una mayor seguridad para esas estructuras. Los grupos por categoría de ocupación y sus correspondientes factores de incremento de fuerzas de diseño, "I", se definen a continuación en las tablas 3.5 y 3.6:

Tabla 3.5. Factores de Importancia.

Categoría de Ocupación	Factor de Importancia
I Establecimientos esenciales o peligrosos	1.5
II Edificios de ocupación especial	1.2
III Edificios de ocupación normal	1.0

Tabla 3.6. Categorías de Ocupación.

Categoría de Ocupación	Tipo de Ocupación o Función de la Estructura
I	Comprende aquellas edificaciones que son indispensables después de un sismo para atender la emergencia y preservar la salud y la seguridad de las personas. Incluye hospitales, centros de salud, estaciones de bombero, centrales telefónicas y de comunicaciones, instalaciones escolares y militares y cualquier otra edificación y/o instalación de servicio público, almacenamiento de sustancias tóxicas que se requiere para superar la emergencia.
II	Cualquier edificación que tenga niveles altos de ocupación o edificaciones que requieren su operación inmediatamente después del sismo. Incluye: edificios gubernamentales, universidades, guarderías, mercados, centros comerciales con un área mayor de 3000 m ² , almacenes con un área de piso de 500 m ² o más de 10 m de altura, salones que agrupan mas de 200 personas, estadio con graderías al aire libre para 2000 personas o mas, edificios de mas de 4 pisos o mas de 1000 m ² por piso, museos, monumentos, terminales de transporte, instalaciones hospitalarias diferentes a las de categoría de ocupación I, locales que alojen equipos especialmente costosos.
III	Construcciones que tengan niveles bajos de ocupación, incluye aquellas construcciones comunes destinadas a viviendas, oficinas, locales comerciales, hoteles, edificaciones industriales y todas aquellas construcciones no incluidas en las categorías de ocupación I y II.

A continuación se muestran los espectros de diseño de la NTDS-94 los cuales han sido graficados con la ayuda de una hoja de cálculo de Microsoft Excel, estos han sido ordenados por categoría de ocupación, sus respectivos cuatro

perfiles de suelo y para cada zona sísmica del país, en total se tienen 24 espectros de diseño diferentes:

✚ Espectros de diseño para la zona sísmica I :

Los espectros de diseño para la zona sísmica I por ser la zona que mayor riesgo sísmico se tiene, presenta las aceleraciones espectrales mas altas, teniendo un valor máximo de 1.20 g (1176 cm/s^2) para los perfiles de suelo S4 y S3 siendo estos los mas desfavorables (suelos cohesivos blandos o suelos no cohesivos sueltos), y valores máximos entre 1.0 a 1.10g (980 a 1078 cm/s^2) para los perfiles de suelo S1 y S2 (ver Figura 3.5), estos valores son correspondientes para categoría de ocupación III, para las siguientes dos categorías simplemente se amplifican estas aceleraciones espectrales máximas por 1.2 y 1.5 (coeficientes de importancia (I)) para las categorías de ocupación II y I respectivamente (ver figuras 3.6 y 3.7):

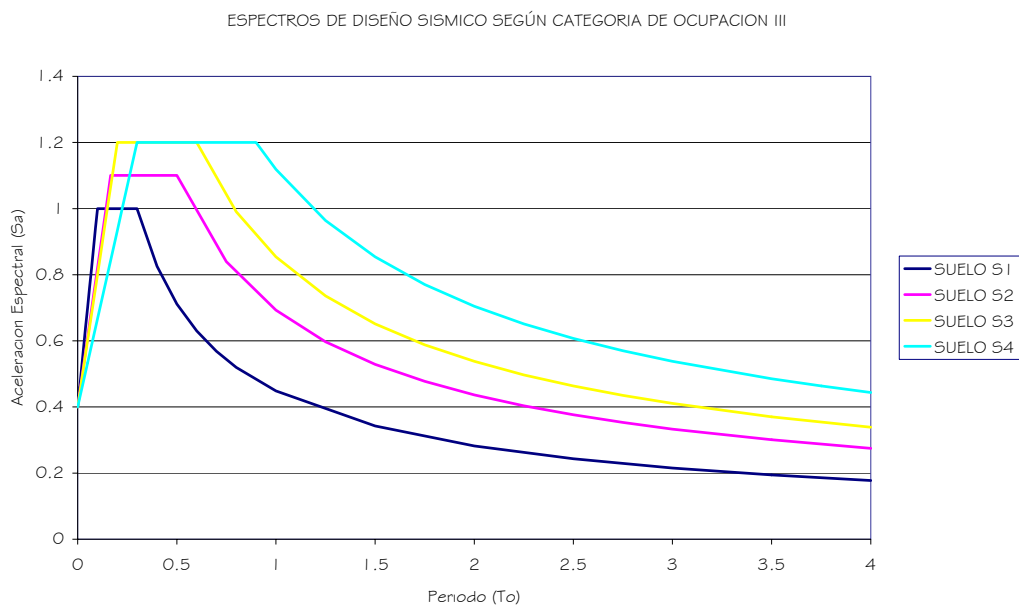


FIGURA 3.5. Espectros de Diseño según NTDS para categoría de ocupación III

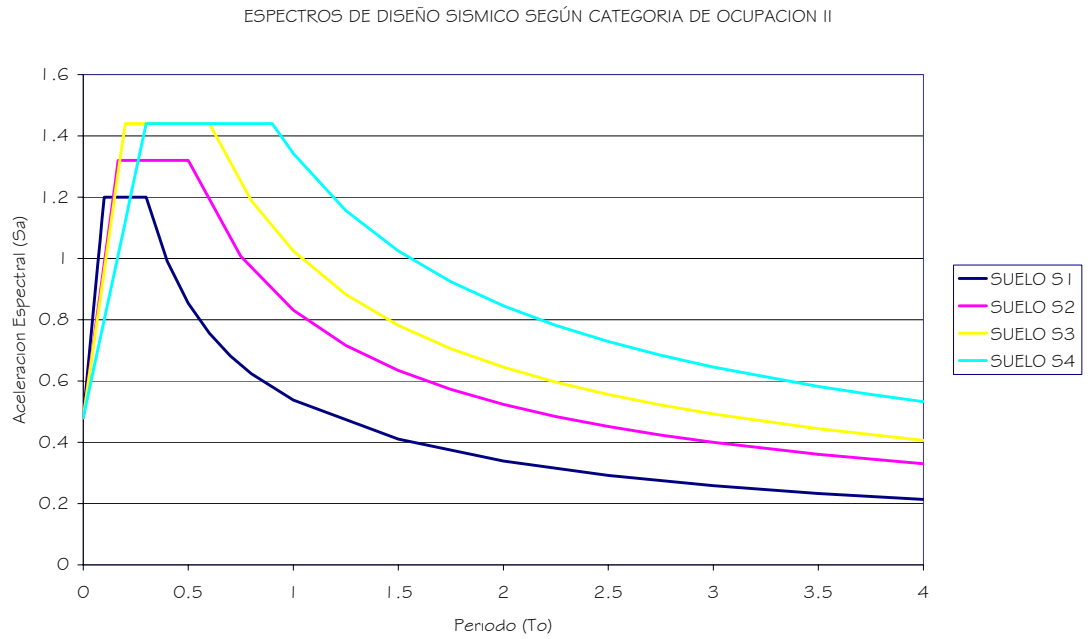


FIGURA 3.6. Espectros de Diseño según NTDS para categoría de ocupación II

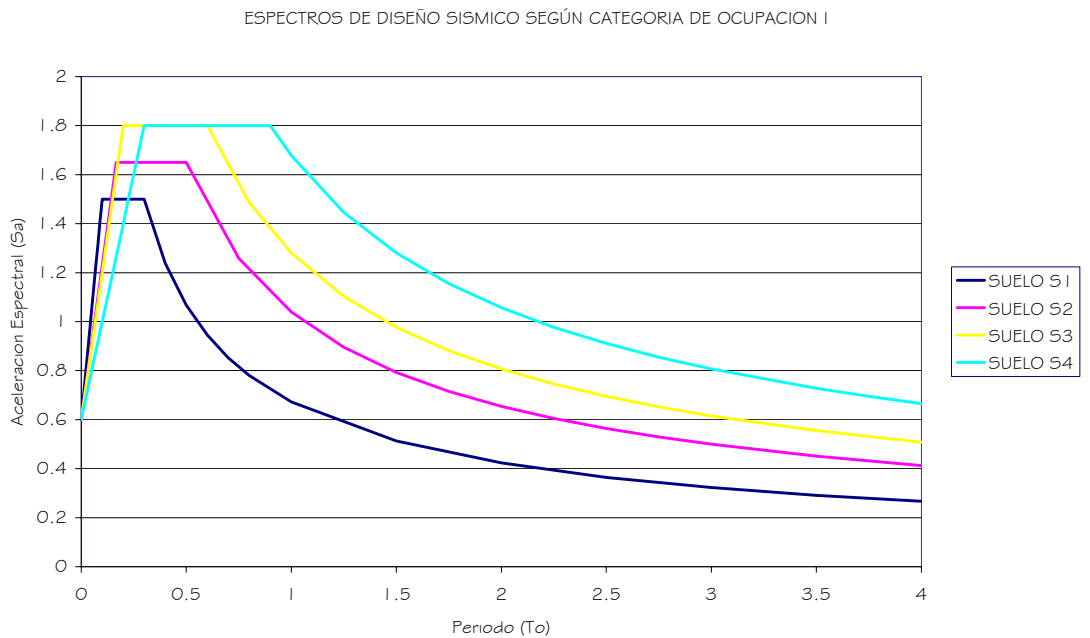


FIGURA 3.7. Espectros de Diseño según NTDS para categoría de ocupación I

✚ Espectros de diseño para la zona sísmica 2:

Los espectros de diseño para la zona sísmica 2 por el contrario presentan valores de aceleraciones espectrales máximas menores con respecto a la zona sísmica 1, debido a que el riesgo sísmico que se tiene disminuye en la zona norte del país, estos espectros presentan las aceleraciones espectrales más bajas, teniendo un valor máximo de 0.9 g (882 cm/s²) para los perfiles de suelo S4 y S3 (suelos cohesivos blandos o suelos no cohesivos sueltos), y valores máximos entre 0.75 a 0.83g (735 a 814 cm/s²) para los perfiles de suelo S1 y S2 (Ver figura 3.8), estos valores son correspondientes para categoría de ocupación III, al igual que para la zona sísmica 1 para las siguientes dos categorías simplemente se amplifican estas aceleraciones espectrales máximas por 1.2 y 1.5 (coeficientes de importancia (I)) para las categorías de ocupación II y I respectivamente (ver figuras 3.9 y 3.10):

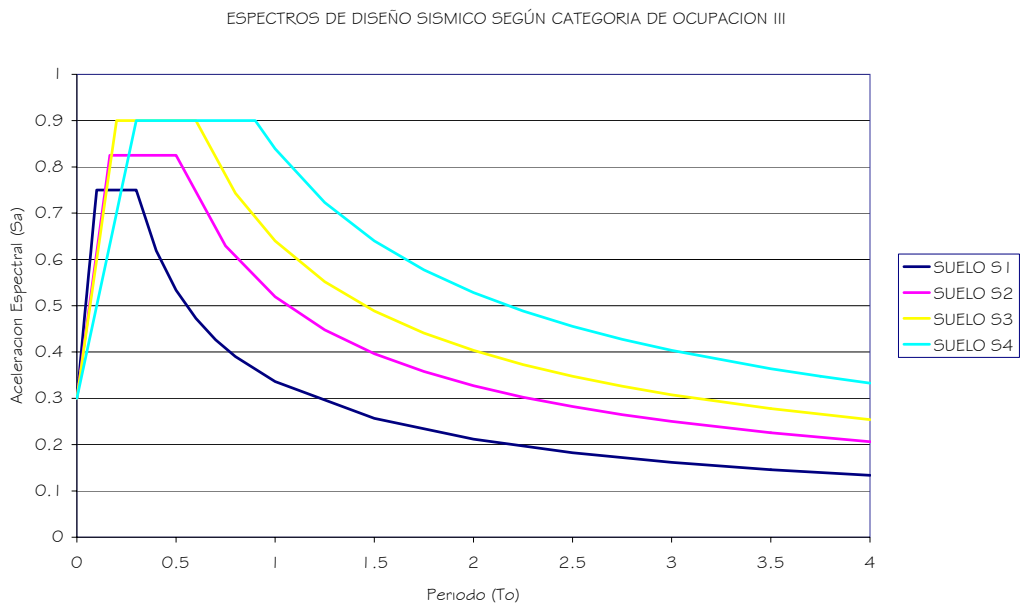


FIGURA 3.8. Espectros de Diseño según NTDS para categoría de ocupación III

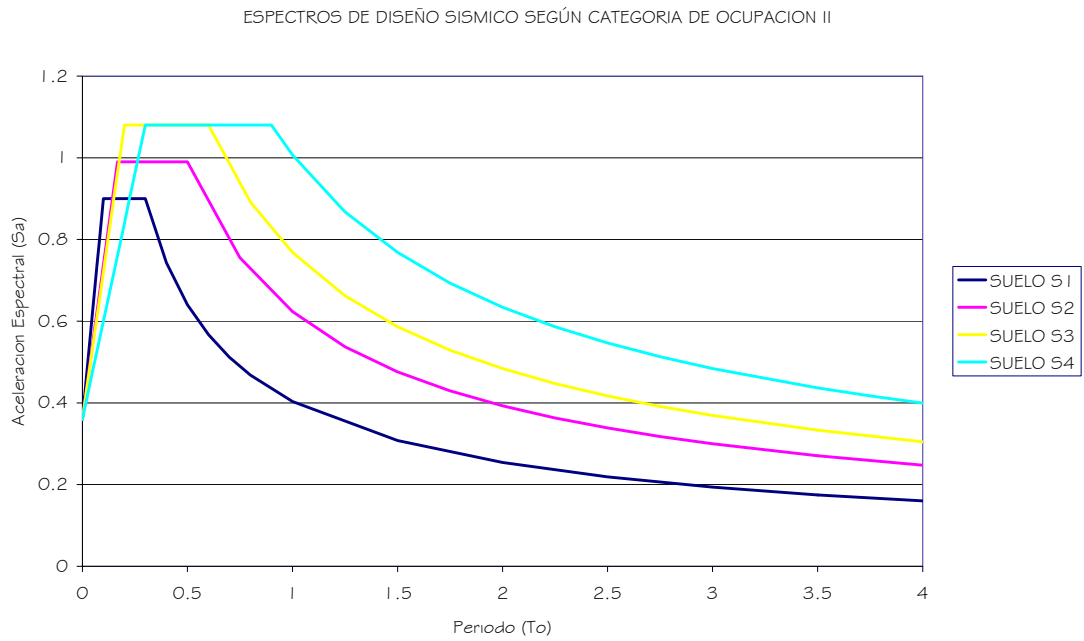


FIGURA 3.9. Espectros de Diseño según NTDS para categoría de ocupación II

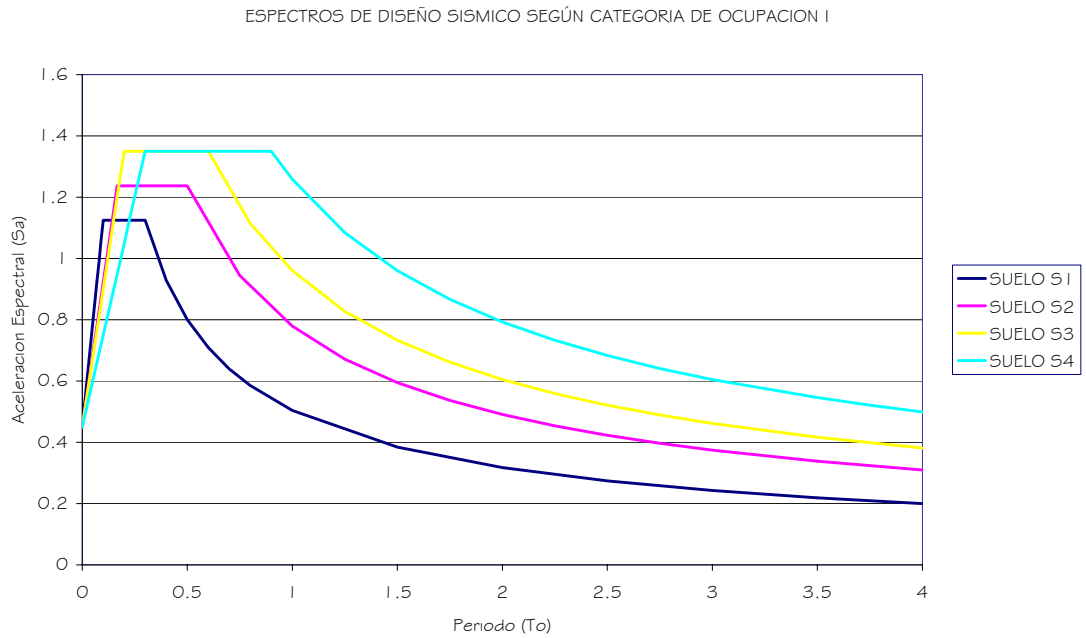


FIGURA 3.10. Espectros de Diseño según NTDS para categoría de ocupación I

CAPITULO IV

EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

4.1. INTRODUCCION.

Para el desarrollo de este capítulo se llevó a cabo el cálculo de las aceleraciones pico efectivas (EPA) que son los factores de zonificación sísmica que presenta la Norma Técnica para Diseño por Sismo de 1994; la evaluación se realizó a partir de una comparación entre el espectro de diseño elástico de aceleración y los espectros de respuesta elásticos de aceleración absoluta generados para las dos componentes horizontales (Norte-Sur y Este-Oeste) y también para la componente vertical a partir acelerogramas corregidos proporcionados por el SNET registrados para cada una de las estaciones acelerograficas de la Red de Movimiento Fuerte para los sismos del 19 de junio de 1982, 10 de octubre de 1986, 13 de enero y 13 de febrero de 2001.

Los espectros de respuesta de aceleración han sido generados a partir de acelerogramas que han sido previamente corregidos por el SNET para cada una de las componentes ortogonales (Norte-Sur, Este-Oeste y Vertical), siendo generados con la ayuda de los programas especializados para el procesamiento de acelerogramas Degtra NET 2007 (ver figura 4.1), creado por el Dr. Mario Ordaz Schroeder y el Dr. Carlos Montoya-Dulché de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); y también con la ayuda del programa SeismoSignal 3.2.0 (ver figura 4.2), desarrollado por SeismoSoft que se especializa en el desarrollo y suministro de soluciones de informática en el ámbito de la ingeniería sísmica, sismología y el análisis y evaluación de estructuras civiles.

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

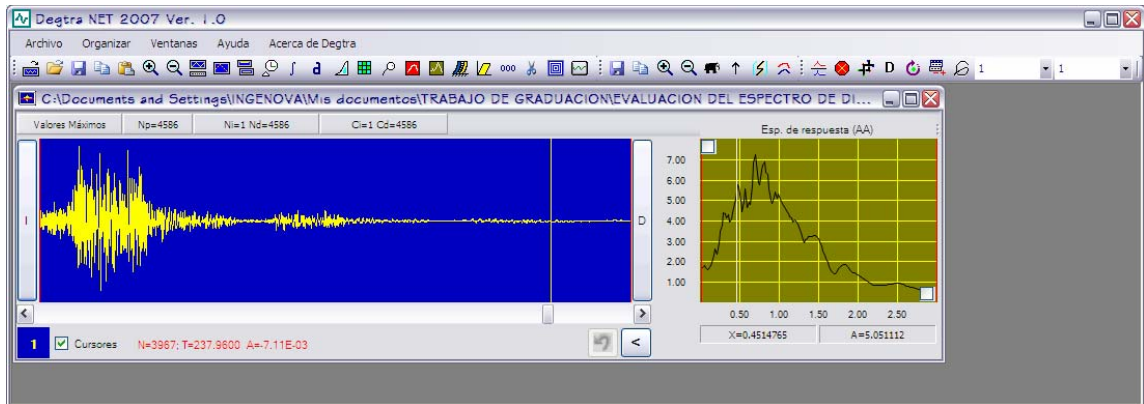


Figura 4.1. Imagen del programa Degtra NET 2007.

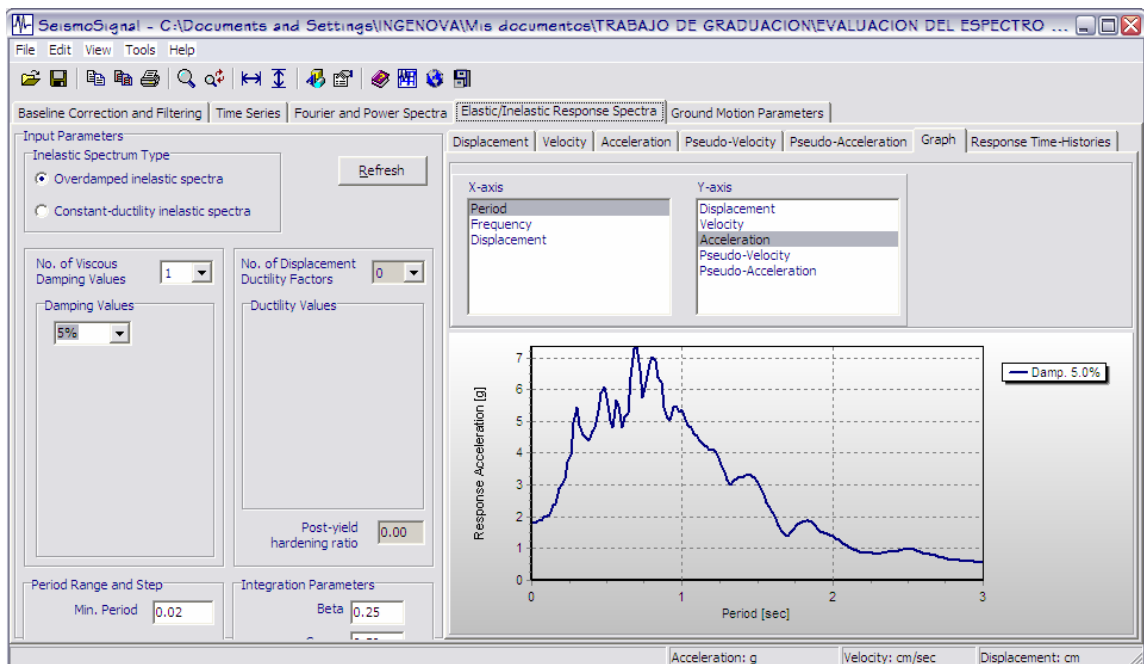


Figura 4.2. Imagen del programa SeismoSignal 3.2.0.

La evaluación se llevó a cabo comparando la aceleración pico efectiva (EPA, por sus siglas en inglés) calculada para cada uno de los espectros de respuesta de aceleración absoluta generados a partir de los datos registrados en cada una de las estaciones acelerográficas del país. La EPA ha sido calculada por medio de la

ecuación 3.27 (Capítulo III, Pág. 66) que considera las amplitudes espectrales entre los períodos 0.1 y 0.5 y también se evaluó por medio de la ecuación definida por Donovan (1978) en la cual considera las amplitudes espectrales entre los períodos de 0.2 y 0.5 como otro parámetro de evaluación.

Se compararon los espectros de diseño para una categoría de ocupación III, en los casos que la respuesta de aceleración de los sismos para esta categoría haya sobrepasado la del espectro de diseño, se comprobó si para las categorías I y II también ha sido sobrepasada, de lo contrario solamente se evaluó para la categoría de ocupación III ya que no se consideró necesario.

Para la construcción del espectro de diseño, se graficó utilizando las ecuaciones 3.28 a 3.31 (Capítulo III, Pág. 69) que son las presentadas por la NTDS-94 para las componentes horizontales (Norte-Sur y Este-Oeste) y para el caso de la componente vertical la norma define en el apartado 5.2 que las aceleraciones espectrales se multipliquen por un factor de $2/3$ para graficar el espectro de diseño. Para elaborar cada espectro de diseño se creó una hoja de cálculo en el programa Microsoft Excel (Ver anexo I.10).

Se tomaron en cuenta los factores de zonificación sísmica (Capítulo III, Pág. 70) que son los correspondientes al máximo nivel esperado del movimiento del terreno con un 10% de excedencia en 50 años siendo modificados por los factores de sitio C_0 y T_0 que corresponden a la geología local y características del suelo de cada estación acelerográfica (ver anexo I.5). Para las estaciones

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS
SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

acelerográficas que registraron los sismos del 13 de enero y febrero de 2001 estos datos han sido retomados del estudio desarrollado por la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” (UCA) y la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) en el año 2004 con el nombre “Strong-Motion characteristics of January and February 2001 earthquakes in El Salvador” en el cual se encuentran documentadas las características geológicas de cada estación acelerografica de la Red de Movimiento Fuerte del país, las cuales se muestran en la tabla 4.1 :

TABLA 4.1 . Características Geológicas de las Estaciones Acelerográficas.

Código	Geología	Descripción	NEHRP-03
AH	s3	Piroclastitas acidas, epiclastitas volcánicas (tobas cafés).	D
CA	b1	Epiclastitas volcánicas, Piroclastitas.	Roca
CM	Q'f	Aluvión, localmente con Piroclastitas.	Roca
CU	c3	Andesita-basáltica expansiva.	Roca
DB	s4	Cenizas Volcánicas (Tierra Blanca) poco consolidadas.	D
MG	s3	Piroclastitas acidas, epiclastitas volcánicas (tobas cafés).	C
OB	s4	Cenizas Volcánicas (Tierra Blanca) poco consolidadas.	D
QC	c3	Andesita-basáltica expansiva.	Roca
RF	s3'a	“Tobas cafés” con cenizas y escoria.	C
RS	s3'a	“Tobas cafés” con cenizas y escoria.	D
SA	s3	Piroclastitas acidas, epiclastitas volcánicas (tobas cafés).	D
SE	b1	Epiclastitas volcánicas, Piroclastitas.	Roca
SM	s3	Piroclastitas acidas, epiclastitas volcánicas (tobas cafés).	D
SS	s4	Cenizas Volcánicas (Tierra Blanca) poco consolidadas.	D
ST	s3	Piroclastitas acidas, epiclastitas volcánicas (tobas cafés).	D
UC	s3'a	“Tobas cafés” con cenizas y escoria	D
VS	s4	Cenizas Volcánicas (Tierra Blanca) poco consolidadas.	D

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS
SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

Los datos anteriores han sido obtenidos del mapa geológicos de El Salvador (Ver anexo I.11). Debido a que la clasificación de suelos que se utilizó en ese estudio (ver Tabla 4.1) fue la del National Earthquake Hazard Prevention Program (NEHRP-2003), se ha realizado una comparación de esta clasificación con los perfiles de suelo presentados en la NTDS-94, tomando en cuenta las características los suelos y las velocidades de las ondas de corte (ver tabla 3.4, Cap. III, Pág. 71), y así poder determinar los factores de sitio C_o y T_o adecuadamente. Esta comparación se muestra a continuación en la siguiente tabla:

TABLA 4.2. Comparación Clasificación de Suelos entre NEHRP-03 y NTDS-94.

NEHRP	Descripción	Velocidad Ondas S	NTDS-94
A	Roca Dura	> 1500 m/s	S ₁
B	Roca firme a dura	760-1500 m/s	
C	Suelo firme, roca blanda	360-760 m/s	S ₂
D	Suelo duro	180-360 m/s	S ₃
E	Arcillas blandas	< 180 m/s	S ₄
F	Suelos que requieran un estudio especial.		N/A

Con las características de la tabla 4.2 se clasifican las estaciones acelerográficas para cada perfil de suelo según la NTDS-94 obteniéndose 5 estaciones ubicadas en el perfil de suelo S₁, 2 estaciones ubicadas en el perfil de suelo S₂ y 10 estaciones ubicadas en el perfil de suelo S₃, para el perfil de suelo S₄ no hay ninguna estación.

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS
SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

Para los sismos de 1982 y 1986 los datos registrados pertenecen en su mayoría a estaciones acelerograficas que a la fecha ya no existen o han sido cambiadas de lugar, en este caso, los datos de geología local y clasificación de suelos han sido proporcionados a partir de los registros del SNET que también están clasificados según la NEHRP-03 para lo cual se hizo la comparación respectiva según la tabla 4.2.

En el caso del factor de modificación de respuesta R se utilizará el valor de 1.0 para generar todos los espectros de diseño de cada estación acelerográfica ya que solamente se está evaluando la aceleraciones máximas del terreno y no se esta reduciendo por efectos de configuración estructural.

Los factores de zonificación sísmica A, equivalentes a las aceleraciones pico efectivas de diseño se presentan en la NTDS-94 para la Zona 1 como 0.4 y para la Zona 2 como 0.3, ambas se encuentran en valores de la gravedad (g), así que se han multiplicado por 980 para convertirlas a cm/s^2 , que son las unidades que presentan los acelerogramas y así poder efectuar una comparación gráfica con las mismas unidades. Por lo tanto los factores de zonificación A quedaron para la zona 1 y 2 como 392 y 290 respectivamente.

A continuación se presenta la evaluación de cada sismo en estudio, efectuándose la comparación para cada estación acelerográfica que haya registrado los datos, presentando así las características generales de los registros del sismo en cada estación, el acelerograma registrado, el espectro

de respuesta elástico de aceleración absoluta generado, la comparación gráfica entre el espectro de diseño (NTDS-94) y el espectro de respuesta y la comparación de datos para cada componente.

4.2. SISMO DEL 19 DE JUNIO DE 1982.

Para el sismo del 19 de junio de 1982 se cuenta únicamente con el registro de la estación acelerográfica del Observatorio del Centro de Investigaciones Geotécnicas (CIG), los datos del movimiento fuerte se registraron para las dos componentes horizontales y para la componente vertical, habiéndose obtenido un total de 3 registros para este sismo. A continuación se muestran los datos registrados para esta estación.

Para este sismo se ha hecho una comparación de los espectros de respuesta de aceleración absoluta generados por ambos programas (Degtra NET 2007 y SeismoSignal 3.2.0), se podrá ver que no existe mucha diferencia entre las aceleraciones espectrales generadas por ambos programas, y se muestra al final un cuadro comparativo entre los datos generados por los dos programas, para los siguientes sismos se mostrarán únicamente los datos del programa que haya presentado las mayores aceleraciones espectrales.

4.2.1. Cálculo de aceleraciones pico efectivas.

Las Aceleraciones Pico Efectivas (EPA) como se mencionó anteriormente se evaluarán considerando las amplitudes espectrales entre los períodos 0.1 y 0.5 que fueron las consideradas en el estudio de peligro sísmico realizado por la

UNAM en 1993 en el cual esta basada la NTDS-94 y también se considerará según la propuesta de Donovan (1978) considerando las amplitudes espectrales entre los períodos 0.2 y 0.5 como otro parámetro de comprobación. A continuación se muestra la ecuación general para calcular las EPA:

$$EPA = \frac{I}{2.5(T_2 - T_1)} \int_{T_1}^{T_2} S_a(T) dT \quad (4.1)$$

Las EPA se calculan como el área bajo la curva del espectro de respuesta para los períodos de interés (ver figura 4.3), y luego esta área se multiplica por un factor de amplificación, que se deriva a partir de la ecuación 4.1 el cual depende de los periodos que se estan evaluando, para el caso numero 1 (períodos entre 0.1 y 0.5s) el factor es 1.0 por lo tanto no se amplifica el área, pero para el caso numero 2 (períodos entre 0.2 y 0.5s) el factor es 1.33 incrementando el área calculada en un 33 %.

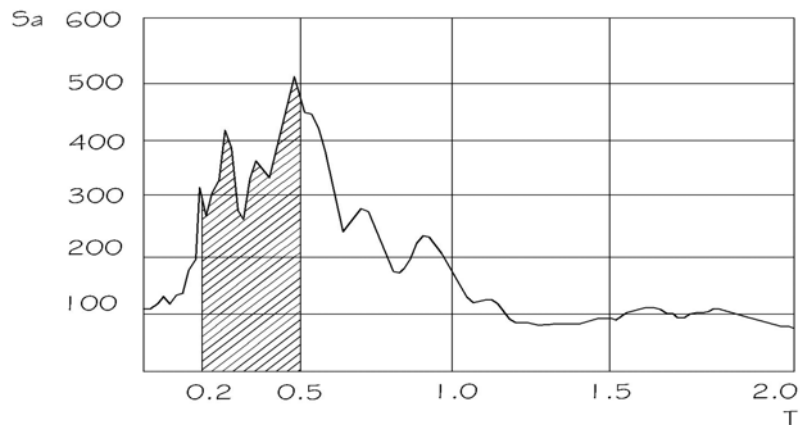


Figura 4.3. Área bajo la curva para calcular la EPA.

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

TABLA 4.3. Calculo de la Aceleración Pico Efectiva (en cm/s^2).

T	Sa(cm/s)	Aprom	dT	Aprom*dT
0.100	187.720			
		184.285	0.020	3.6857
0.120	180.850			
		183.315	0.020	3.6663
0.140	185.780			
		188.975	0.020	3.7795
0.160	192.170			
		202.480	0.020	4.0496
0.180	212.790			
		241.425	0.020	4.8285
0.200	270.06			
		293.505	0.020	5.8701
0.220	316.950			
		317.510	0.020	6.3502
0.240	318.070			
		328.235	0.020	6.5647
0.260	338.400			
		317.490	0.020	6.3498
0.280	296.580			
		344.025	0.020	6.8805
0.300	391.470			
		374.835	0.020	7.4967
0.320	358.200			
		346.130	0.020	6.9226
0.340	334.060			
		324.290	0.020	6.4858
0.360	314.520			
		339.750	0.020	6.795
0.380	364.980			
		384.320	0.020	7.6864
0.400	403.660			
		381.245	0.020	7.6249
0.420	358.830			
		352.015	0.020	7.0403
0.440	345.200			
		338.330	0.020	6.7666
0.460	331.460			
		339.785	0.020	6.7957
0.480	348.110			
		380.235	0.020	7.6047
0.500	412.360			
EPA 1 (0.1-0.5)				123.2436
EPA 2 (0.2-0.5)				137.3012

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS
SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

Para calcular el área bajo la curva, se creó una hoja de cálculo en el programa Microsoft Excel (ver tabla 4.3). Como ejemplo se muestra esta tabla para las coordenadas desde 0.1s a 0.5s (Caso 1) del espectro de respuesta de aceleración absoluta generado por el programa SeismoSignal para la componente Norte-Sur de la estación acelerográfica "Observatorio CIG" como ejemplo de la tabla que se ha creado para calcular el área bajo la curva, al final de la tabla se pueden ver las aceleraciones pico efectivas calculadas para este caso particular.

Como se mencionó anteriormente para el sismo del 19 de junio de 1982 solamente se tuvo el registro de la estación acelerográfica del "Observatorio CIG", presentando aceleraciones pico efectivas muy por debajo de las de la NTDS-94 para las tres componentes

En la tabla 4.4 se puede ver una comparación en porcentajes entre las aceleraciones espectrales máximas de diseño de la NTDS-94 y las máximas reales generadas por los dos programas y también se hace la comparación en porcentajes entre la aceleración pico efectiva de diseño y las dos aceleraciones pico efectivas calculadas para cada componente. Se han marcado en naranja los máximos valores para cada componente, obteniéndose porcentajes máximos del 35.73% con respecto a la EPA de diseño para la componente N-S, 46.01% para la componente E-O y 48.07% para la componente vertical. Por lo tanto no sobrepasa los valores de diseño para ninguna componente.

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS
SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

TABLA 4.4. Comparación de resultados sismo del 19 de junio de 1982.
ED (Espectro de Diseño), ER (Espectro de Respuesta), unidades en cm/s^2

Programa	Samax (ED)	Samax (ER)	EPA (ED)	EPA 1 (ER)	EPA 2 (ER)	% Sa	% EPA	% EPA 2
Componente Horizontal Norte-Sur								
DEGTRA NET	1176	720.038	392	110.55	124.61	61.23%	28.20%	31.79%
SEISMOSIGNAL	1176	737.92	392	123.24	137.30	62.75%	31.44%	35.03%
Componente Horizontal Este-Oeste								
DEGTRA NET	1176	726.26	392	147.18	169.21	61.76%	37.55%	43.17%
SEISMOSIGNAL	1176	735.75	392	154.17	180.35	62.56%	39.33%	46.01%
Componente Vertical								
DEGTRA NET	882	479.96	294	111.08	128.30	54.42%	37.78%	43.64%
SEISMOSIGNAL	882	510.05	294	120.98	141.32	57.83%	41.15%	48.07%

Debido a que solamente se cuenta con el registro de una sola estación acelerografica cuyo emplazamiento se encuentra ubicado en un perfil de suelo S3 no se puede hacer un análisis detallado de los diferentes perfiles de suelo según la NTDS-94.

Como se pudo observar en la tabla anterior no existe una diferencia considerable entre ambos programas, a continuación se muestra la comparación gráfica entre los espectros de respuesta generados por ambos programas para la componente horizontal N-S de la estación acelerográfica “Observatorio CIG”, En el gráfico 1, podemos observar que existen diferencias notables entre el rango de períodos de 0 y 0.5s, lo que hace que el valor de la EPA varíe un poco para cada programa, luego entre 0.5 y 1 segundo, los espectros tienen variaciones pero son menores, a partir de 1 segundo los espectros de respuesta prácticamente tienen la misma forma.

E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S
Comparacion entre Degtra Net 2007 y Seismosignal

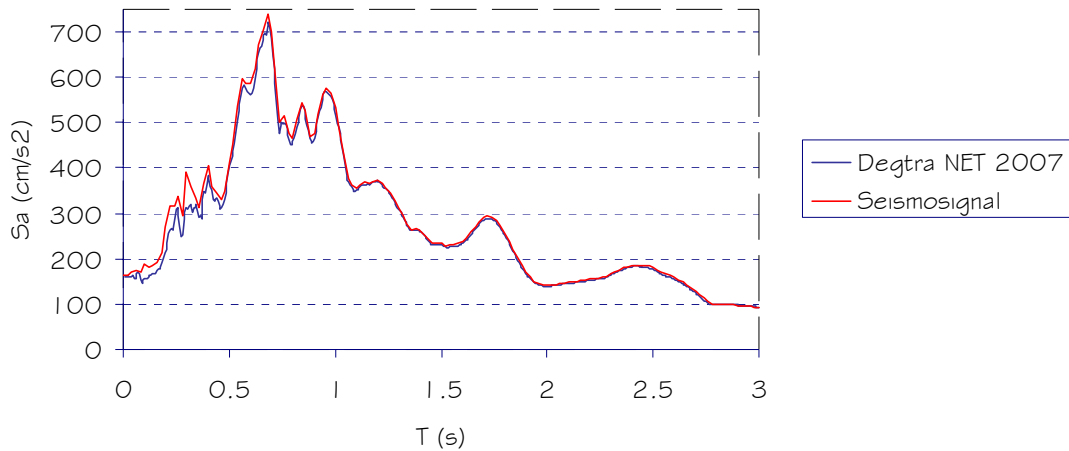


Gráfico 1. Comparación entre Degtra Net 2007 y Seismosignal 3.2.0.

A continuación se muestra la comparación gráfica entre los espectros de respuesta absoluta para las componente horizontal N-S y para la componente vertical (ver gráficos 2 y 3), con los de diseño de la NTDS-94, se puede observar que las aceleraciones espectrales máximas en los espectros generados para las componentes horizontales corresponden a un período que no coincide al rango de aceleraciones espectrales de diseño máximas, aunque para la componente vertical si se encuentran en el rango de períodos correspondientes a la máxima aceleración espectral. Para ambas componentes las aceleraciones espectrales generadas no sobrepasan a las de diseño de la NTDS-94, encontrándose muy por debajo del valor máximo de diseño. Como se mencionó anteriormente esta estación acelerografica tiene su emplazamiento en un perfil de suelo S3.

E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

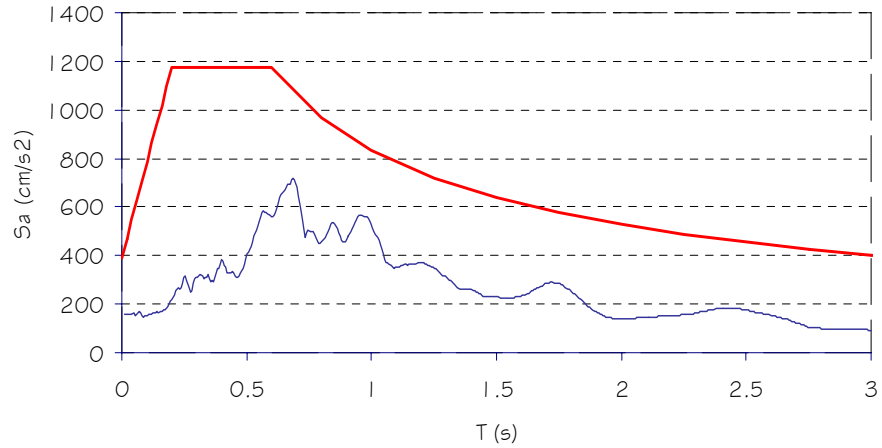


Gráfico 2. Espectro de Respuesta E.A. CIG, N-S 19-06-82.

E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
COMPONENTE VERTICAL

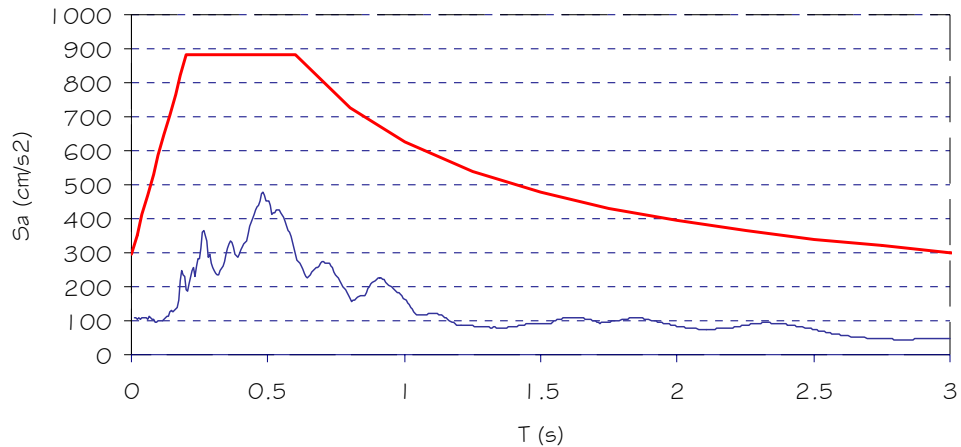


Gráfico 3. Espectro de Respuesta E.A. CIG, N-S 19-06-82.

4.3. SISMO DEL 10 DE OCTUBRE DE 1986.

Para el sismo del 10 de Octubre de 1986 se cuenta con el registro de 6 estaciones acelerográficas: Centro de Investigaciones Geotécnicas (CIG), Hotel Camino Real (HCR), Hotel Sheraton (HSH), Instituto Geográfico Nacional (IGN), Instituto de Vivienda Urbana (IVU) y Universidad Centroamericana “José Simeón

Cañas” (UCA). Para todas las estaciones se cuenta con registros en las dos componentes horizontales y la componente vertical, exceptuando la E.A. “Instituto de Vivienda Urbana” que solamente cuenta con el registro de las componentes horizontales obteniéndose un total de 17 registros. De estas 6 estaciones acelerográficas 3 tienen su emplazamiento en un perfil de suelo S2 (CIG, HSH y UCA) y las otras tres en un perfil de suelo S3 (HCR, IGN e IVU).

4.3.1. Calculo de Aceleraciones Pico Efectivas.

Para el caso del sismo del 10 de octubre de 1986, hubo 4 estaciones acelerográficas en las cuales las aceleraciones espectrales máximas sobrepasaron las de diseño con porcentajes entre el 23.20 al 48.89% de exceso para las componentes horizontales y porcentajes entre el 26.59 hasta 123.20% de exceso para la componente vertical. Aunque hayan sobrepasado las aceleraciones espectrales el límite de diseño en algunas estaciones, en la mayoría de los casos la EPA de diseño no ha sido excedida. Los 3 casos específicos en los que la EPA ha sido excedida fueron: la E.A. “Observatorio CIG” la cual excedió para la componente horizontal E-O en un 32.45% a la EPA de diseño, la E.A “Instituto Geográfico Nacional” para la componente horizontal E-O que excedió en un 8.44% a la EPA de diseño y la E.A “Instituto de Vivienda Urbana” la cual excedió en su componente horizontal N-S en un 14.59% a la EPA de diseño. Al igual que para el sismo del 19 de junio de 1982, para la estación del Observatorio CIG las aceleraciones espectrales máximas para las

componentes horizontales de este sismo corresponden a un período que no coincide al rango de aceleraciones espectrales de diseño máximas; también se dio este caso en la estación del Instituto Geográfico Nacional, en ambas para las dos componentes horizontales.

La estación acelerográfica “Centro de Investigaciones Geotécnicas” cuyo emplazamiento se encuentra en un perfil de suelo S2 ha sido la que ha presentado las aceleraciones espectrales más altas siendo la mayor de 1808.95 cm/s^2 para la componente vertical. Las estaciones acelerográficas cuyo emplazamiento se encuentra en perfil de suelo S3 son en general las que han presentado los valores más altos de aceleraciones espectrales. Al ver los valores tan altos de aceleraciones que se presentaron precisamente en estos perfiles de suelo se puede demostrar que los daños provocados por este sismo han sido en su mayoría debido a los efectos de sitio.

En la tabla 4.5 podemos observar un resumen de los valores calculados de las aceleraciones pico efectivas calculadas para cada caso, a partir de este sismo solamente se mostrarán los datos del espectro de respuesta de aceleración absoluta que haya generado mayores aceleraciones espectrales de ambos programas.

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS
SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

TABLA 4.5. Comparación de resultados sismo del 10 de octubre de 1986.
ED (Espectro de Diseño), ER (Espectro de Respuesta), C.O. (Categoría de Ocupación)
Unidades en cm/s^2

Estación	C.O.	Sa máx. (ED)	Sa máx. (ER)	EPA (ED)	EPA I (ER)	EPA 2 (ER)	% Sa	% EPA	% EPA 2
CIG	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	1078.00	1448.64	392	321.46	364.54	134.38%	82.00%	92.99%
	II	1293.60	1448.64	470.40	321.46	364.54	111.99%	68.34%	77.50%
	I	1617.00	1448.64	588.00	321.46	364.54	89.59%	54.67%	62.00%
	Componente Horizontal Este-Oeste								
	III	1078.00	1808.95	392.00	477.98	519.19	167.81%	121.93%	132.45%
	II	1293.60	1808.95	470.40	477.98	519.19	139.84%	101.61%	110.37%
	I	1617.00	1808.95	588.00	477.98	519.19	111.87%	81.29%	88.30%
	Componente Vertical								
	III	808.50	1929.82	392.00	284.44	206.71	238.69%	72.56%	52.73%
	II	970.20	1929.82	470.40	284.44	206.71	198.91%	60.47%	43.94%
	I	1212.75	1929.82	588.00	284.44	206.71	159.13%	48.37%	35.15%
HCR	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	1176.00	1095.67	392.00	267.56	296.41	93.17%	68.26%	75.61%
	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	1176.00	1448.87	392.00	321.09	381.44	123.20%	81.91%	97.31%
	II	1411.20	1448.87	470.40	321.09	381.44	102.67%	68.26%	81.09%
	I	1764.00	1474.10	588.00	321.09	381.44	83.57%	54.61%	64.87%
	Componente Vertical								
III	808.50	1034.47	392.00	188.83	204.84	127.95%	48.17%	52.25%	
II	1411.20	1034.47	470.40	188.83	204.84	73.30%	40.14%	43.55%	
HSH	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	1078.00	1047.98	392.00	205.03	218.10	97.22%	52.30%	55.64%
	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	1078.00	709.33	392.00	238.26	239.48	65.80%	60.78%	61.09%
	Componente Vertical								
III	808.50	519.54	392.00	141.71	133.25	64.26%	36.15%	33.99%	
IGN	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	1176.00	870.81	392.00	225.53	240.55	74.05%	57.53%	61.37%
	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	1176.00	1488.68	392.00	375.75	425.10	126.59%	95.85%	108.44%
	II	1411.20	1488.68	470.40	375.75	425.10	105.49%	79.88%	90.37%
I	1764.00	1488.68	588.00	375.75	425.10	84.39%	63.90%	72.30%	

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS
SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

Estación	C.O.	Sa máx. (ED)	Sa máx. (ER)	EPA (ED)	EPA I (ER)	EPA 2 (ER)	% Sa	% EPA	% EPA 2
IGN	Componente Vertical								
	III	882.00	1313.20	392.00	282.79	245.74	148.89%	72.14%	62.69%
	II	1058.40	1313.20	470.40	282.79	245.74	124.07%	60.12%	52.24%
	I	1323.00	1313.20	588.00	282.79	245.74	99.26%	48.09%	41.79%
IVU	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	1176.00	1598.44	392.00	398.57	449.20	135.92%	101.68%	114.59%
	II	1411.20	1598.44	470.40	398.57	449.20	113.27%	84.73%	95.49%
	I	1764.00	1598.44	588.00	398.57	449.20	90.61%	67.78%	76.39%
	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	1176.00	926.76	392.00	273.45	265.64	78.81%	69.76%	67.77%
UCA	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	1078.00	1302.76	392.00	325.92	370.50	120.85%	83.14%	94.51%
	II	1293.60	1302.76	470.40	325.92	370.50	100.71%	69.29%	78.76%
	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	1078.00	1118.73	392	268.365	301.7621	103.78%	68.46%	76.98%
	II	1293.60	1118.73	470.4	268.365	301.7621	86.48%	57.05%	64.15%
	Componente Vertical								
	III	808.5	824.53	392	210.9953	186.0256	101.98%	53.83%	47.46%
II	970.20	824.53	470.40	211.00	186.03	84.99%	44.85%	39.55%	

El Grafico 4 de la “E.A. Centro de Investigaciones Geotécnicas (CIG)” es uno de los casos en los que se excede la EPA de diseño:

E.A. CIG (CIG)
COMPONENTE HORIZONTAL ESTE-OESTE

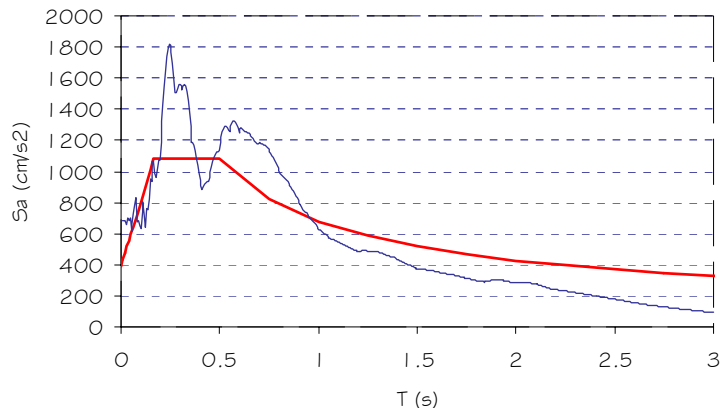


Gráfico 4. Espectro de Respuesta E.A. CIG, E-O 10-10-86.

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

Se puede observar que las aceleraciones espectrales sobrepasan en varias ocasiones a la aceleración espectral máxima del espectro de diseño de la NTDS-94 para la categoría de ocupación III; ya que los mayores valores de aceleraciones espectrales se encuentran dentro del rango de períodos de interés (0.1 a 0.5s) y siendo estos demasiado elevados ocasionan que la EPA calculada para el caso 1 (períodos entre 0.1 y 0.5s) sea de 477.98 cm/s^2 y para el caso 2 (períodos entre 0.2 y 0.5s) sea de 519.19 cm/s^2 sobrepasando así en ambos casos a la EPA de diseño que es de 392 cm/s^2 .

Lo otros casos en los que la EPA calculada sobrepasó a la EPA del espectro de diseño de la NTDS-94 se dieron en el caso del espectro de respuesta absoluta para la misma componente horizontal E-O para la E.A “Instituto Geográfico Nacional” (gráfico 5) y el caso de la componente horizontal N-S, ahora para la E.A “Instituto Vivienda Urbana” (gráfico 6) veamos estas comparaciones:

E.A. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL (IGN)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

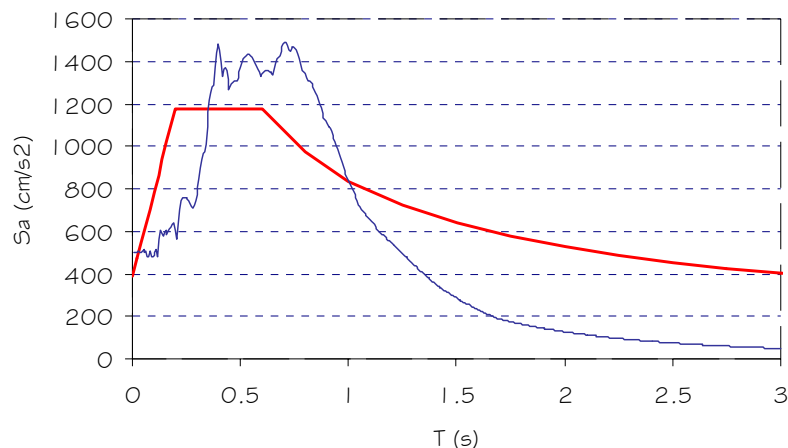


Gráfico 5. Espectro de Respuesta E.A. IGN, E-O 10-10-86.

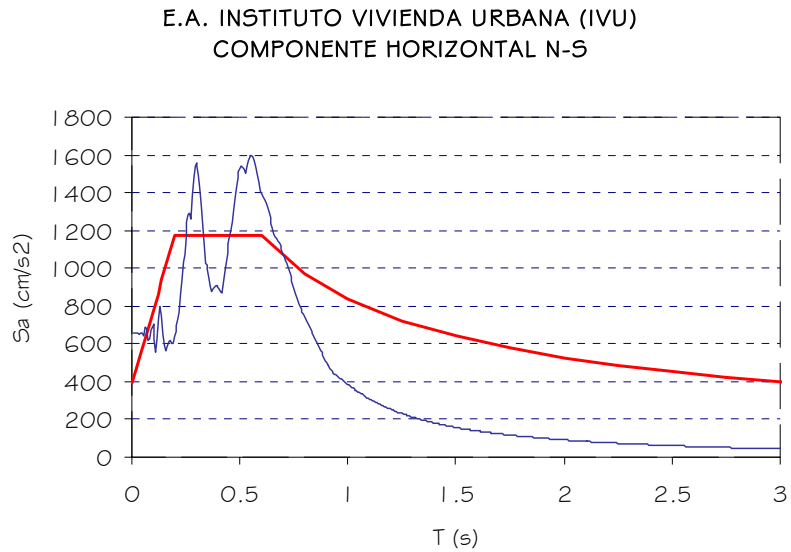


Gráfico 6. Espectro de Respuesta E.A. IVU, N-S 10-10-86.

4.4. SISMO DEL 13 DE ENERO DE 2001.

Ahora con los datos obtenidos para el sismo del 13 de enero de 2001 se cuenta con el registro para las tres componentes de las siguientes 16 estaciones acelerográficas: CEPA Acajutla (CA), Ahuachapán (AH), CESSA Metapán (CM), Ciudadela Don Bosco (DB), Cutuco (CU), Observatorio CIG (OB), Relaciones Exteriores Superficie (RS), Relaciones Exteriores Fondo (RF), San Miguel (MG), Santa Ana (SA), Santa Tecla (ST), Santiago de María (SM), Seminario San José de la Montaña (SS), Sensuntepeque (SE), Viveros de DUA (VS) y Presa 15 de septiembre (QC). Obteniéndose un total de 48 registros.

4.4.1. Calculo de Aceleraciones Pico Efectivas.

Para el caso del sismo del 13 de enero de 2001 en la mayoría de estaciones acelerográficas las aceleraciones espectrales al igual que la EPA de diseño no fueron sobrepasadas por las generadas a partir de los acelerogramas

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS
SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

registrados durante el sismo, habiéndose sobrepasado en tres estaciones en particular, las cuales se mencionarán mas adelante.

En el caso de las estaciones cuyo emplazamiento se encuentra en un suelo tipo S1 (Roca) que son las E.A. Acajutla, Cutuco, Presa 15 de septiembre, Sensuntepeque y CESSA Metapán, se presentaron los valores más bajos de las EPA los cuales varían con respecto a las EPA de diseño en porcentajes máximos que varían desde el 3.22% en la E.A. CESSA Metapán que se encuentra en la zona sísmica 2 al norte del país, hasta porcentajes del 42.90% en la E.A. "Presa 15 de septiembre" situada en la zona sísmica 1 en la zona oriente del país. Para las componentes horizontales y porcentajes máximos que varían desde el 3.60% al 17.19% para las estaciones anteriores. A pesar que el emplazamiento de estas estaciones acelerograficas tiene la misma geología local y características del suelo las variaciones de los registros se han dado debido a la distancia en la que encuentra el emplazamiento con respecto al epicentro del sismo.

En el caso de las estaciones cuyo emplazamiento se encuentra en un suelo tipo S2 (suelos muy densos o compactos) que son las E.A. San Miguel y Relaciones Exteriores (Fondo), se presentaron valores de las EPA los cuales varían con respecto a las EPA de diseño en porcentajes máximos del 25.16% y 52.47% para las componentes horizontales y entre el 23.26% y 32.36% para la componente vertical.

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS
SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

Todas las demás estaciones tienen su emplazamiento en suelo tipo S3 (suelos cohesivos blandos, medianamente compactos o suelos no cohesivos sueltos) estas han presentado los mayores valores de las EPA los cuales varían con respecto a las EPA de diseño en porcentajes máximos que varían desde el 44.50% al 72.41% para las componentes horizontales y valores que varían desde el 24.07% al 62.61% para la componente vertical. Hay que resaltar que dentro de este tipo de suelo S3 se dieron ciertos casos en los cuales la EPA generada a partir de los registros del sismo ha sobrepasado a la EPA de diseño, esto se dio únicamente para las componentes horizontales. Estos casos específicos se vieron en la E.A “Observatorio CIG” que se sobrepasó en un 3.23% a la EPA de diseño para la componente N-S, la E.A “Santa Tecla” que sobrepasó en un 59.93% a la EPA de diseño para la componente E-O y la E.A “Santiago de María” que sobrepasó en un 71.56% a la EPA de diseño para la componente E-O. Se revisó para las categorías de ocupación II y I y en los casos de las E.A de Santa Tecla y Santiago de Maria fue sobrepasada la EPA de diseño para las tres categorías de ocupación, presentando porcentajes máximos hasta de 6.62% y 14.37% respectivamente para la categoría de ocupación I. A continuación se muestra en la tabla 4.6 el resumen de todas las aceleraciones pico efectivas calculadas para cada uno de los 48 registros obtenidos durante el sismo del 13 de enero de 2001, nuevamente se muestran en naranja los porcentajes que hayan presentado mayores valores obtenidos en ambos casos.

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

TABLA 4.6. Comparación de resultados sismo del 13 de enero de 2001.
ED (Espectro de Diseño), ER (Espectro de Respuesta), C.O. (Categoría de Ocupación)
Unidades en cm/s^2

Estación	C.O.	Sa máx. (ED)	Sa máx. (ER)	EPA (ED)	EPA I (ER)	EPA 2 (ER)	% Sa	% EPA	% EPA 2
CA	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	980.00	285.83	392.00	76.21	72.82	29.17%	19.44%	18.58%
	Componente Horizontal Este-Oeste								
	III	980.00	262.60	392.00	72.61	72.02	26.80%	18.52%	18.37%
	Componente Vertical								
	III	735.00	152.45	392.00	41.59	40.21	20.74%	10.61%	10.26%
AH	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	1176.00	557.53	392.00	165.32	174.43	47.41%	42.17%	44.50%
	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	1176.00	552.13	392.00	144.61	160.37	46.95%	36.89%	40.91%
Componente Vertical									
III	882.00	485.25	392.00	94.36	91.20	55.02%	24.07%	23.27%	
CM	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	735.00	30.43	294.00	8.84	9.48	4.14%	3.01%	3.22%
	Componente Horizontal Este -Oeste								
III	735.00	35.64	294.00	10.06	10.59	4.85%	3.42%	3.60%	
DB	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	1176.00	659.61	392.00	207.80	215.57	56.09%	53.01%	54.99%
DB	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	1176.00	772.57	392.00	187.09	197.70	65.70%	47.73%	50.43%
	Componente Vertical								
III	882.00	428.01	392.00	100.78	91.47	48.53%	25.71%	23.33%	
CU	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	980.00	207.28	392.00	50.57	46.50	21.15%	12.90%	11.86%
	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	980.00	174.29	392.00	49.19	47.04	17.79%	12.55%	12.00%
Componente Vertical									
III	735.00	114.92	392.00	32.94	31.08	15.64%	8.40%	7.93%	
OB	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	1176.00	1481.25	392.00	384.39	404.68	125.96%	98.06%	103.23%
	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	1176.00	1125.42	392.00	283.84	273.77	95.70%	72.41%	69.84%
Componente Vertical									
III	882	845.81	392.00	117.07	89.95	71.92%	29.87%	22.95%	

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS
SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

Estación	C.O.	Sa máx. (ED)	Sa máx. (ER)	EPA (ED)	EPA I (ER)	EPA 2 (ER)	% Sa	% EPA	% EPA 2
RF	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	1078.00	739.27	392.00	180.54	201.78	68.58%	46.06%	51.47%
	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	1078.00	766.46	392.00	186.26	205.53	71.10%	47.51%	52.43%
RS	Componente Vertical								
	III	808.50	607.00	392.00	125.77	126.85	75.08%	32.08%	32.36%
	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	1176.00	1144.99	392.00	310.30	331.79	97.36%	79.16%	84.64%
MG	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	1176.00	1317.38	392.00	320.88	338.72	112.02%	81.86%	86.41%
	Componente Vertical								
	III	882.00	781.39	392.00	144.96	137.19	88.59%	36.98%	35.00%
SA	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	1078.00	321.54	392.00	98.63	97.82	29.83%	25.16%	24.95%
	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	1078.00	380.65	392.00	91.19	84.99	35.31%	23.26%	21.68%
SA	Componente Vertical								
	III	808.50	210.29	392.00	64.36	65.08	26.01%	16.42%	16.60%
	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	1176.00	407.07	392.00	90.26	94.14	34.62%	23.02%	24.02%
SA	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	1176.00	281.89	392.00	65.37	70.35	23.97%	16.68%	17.95%
	Componente Vertical								
	III	882.00	186.77	392.00	49.00	54.50	21.18%	12.50%	13.90%
ST	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	1176.00	1998.35	392.00	404.24	342.63	169.93%	103.12%	87.41%
	II	1411.20	1998.35	470.40	404.24	342.63	141.61%	85.94%	72.84%
	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	1176.00	2494.09	392.00	626.93	599.71	212.08%	159.93%	152.99%
	II	1411.20	2494.09	470.40	626.93	599.71	176.74%	133.28%	127.49%
	I	1764.00	2494.09	588.00	626.93	599.71	141.39%	106.62%	101.99%
SM	Componente Vertical								
	III	882.00	1341.68	392.00	222.73	197.88	152.12%	56.82%	50.48%
	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	1176	2494.20	392	482.0028	391.8467	212.09%	122.96%	99.96%
SM	II	1411.2	2494.20	470.4	482.0028	391.8467	176.74%	102.47%	83.30%
	I	1764	2494.20	588	482.0028	391.8467	141.39%	81.97%	66.64%

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS
SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

Estación	C.O.	Sa máx. (ED)	Sa máx. (ER)	EPA (ED)	EPA 1 (ER)	EPA 2 (ER)	% Sa	% EPA	% EPA 2
SM	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	1176.00	2940.25	392.00	672.52	602.00	250.02%	171.56%	153.57%
	II	1411.20	2940.25	470.40	672.52	602.00	208.35%	142.97%	127.98%
	I	1764.00	2940.25	588.00	672.52	602.00	166.68%	114.37%	102.38%
	Componente Vertical								
III	882.00	1085.94	392.00	245.41	215.69	123.12%	62.61%	55.02%	
SS	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	1176.00	735.38	392.00	214.88	207.03	62.53%	54.82%	52.81%
	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	1176.00	706.00	392.00	214.16	214.40	60.03%	54.63%	54.69%
Componente Vertical									
III	882.00	847.24	392.00	125.56	99.24	96.06%	32.03%	25.32%	
SE	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	735.00	221.74	294.00	55.73	56.48	30.17%	18.95%	19.21%
	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	735.00	195.12	294.00	49.29	49.83	26.55%	16.77%	16.95%
Componente Vertical									
III	551.25	194.36	294.00	36.16	29.31	35.26%	12.30%	9.97%	
VS	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	1176.00	885.53	392.00	229.09	238.70	75.30%	58.44%	60.89%
VS	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	1176.00	988.30	392.00	261.61	263.40	84.04%	66.74%	67.19%
	Componente Vertical								
III	882.00	704.04	392.00	140.46	119.02	79.82%	35.83%	30.36%	
QC	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	980.00	506.14	392.00	150.51	159.60	51.65%	38.39%	40.71%
	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	980.00	840.58	392.00	168.18	148.97	85.77%	42.90%	38.00%
Componente Vertical									
III	735.00	341.31	392.00	67.37	57.46	46.44%	17.19%	14.66%	

Al observar gráficamente las comparaciones entre los espectros de diseño de aceleración de la NTDS-94 y los espectros de respuesta de aceleración absoluta generados para este sismo podemos observar claramente como las aceleraciones espectrales varían dependiendo del tipo del suelo y las características geológicas del lugar de emplazamiento de las estaciones acelerograficas, observemos por ejemplo el caso de la E.A “Cessa Metapán” para la componente horizontal Norte-Sur en el gráfico 7:

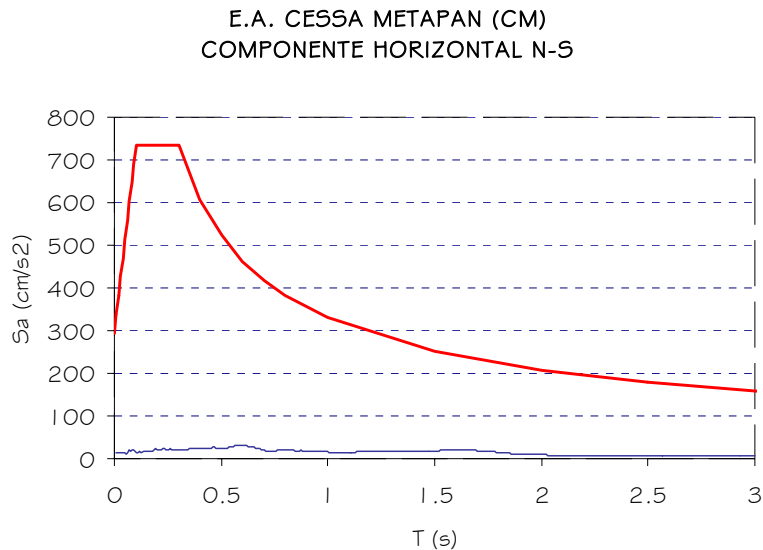


Gráfico 7. Espectro de Respuesta E.A. CM, E-O 13-01-01.

En este caso las aceleraciones espectrales como se puede observar se encuentran muy por debajo del límite de diseño, los factores que influyen para que se den estos valores son: primero el tipo de suelo del emplazamiento al ser este un perfil de suelo S1 (Roca), otro factor que influye es la distancia epicentral que son 165 km, ubicándose en la zona sísmica I. Veamos el caso contrario como es el de la E.A “Santiago de María” (Gráfico 8) para la misma

componente horizontal Norte-Sur el cual tiene una distancia epicentral relativamente pequeña (52.50Km) en comparación con la anterior y un perfil de suelo S3 (suelos cohesivos blandos, medianamente compactos o suelos no cohesivos sueltos). Podemos observar como estos factores afectan directamente las aceleraciones espectrales, siendo superada la barrera del espectro de diseño de la NTDS-94.

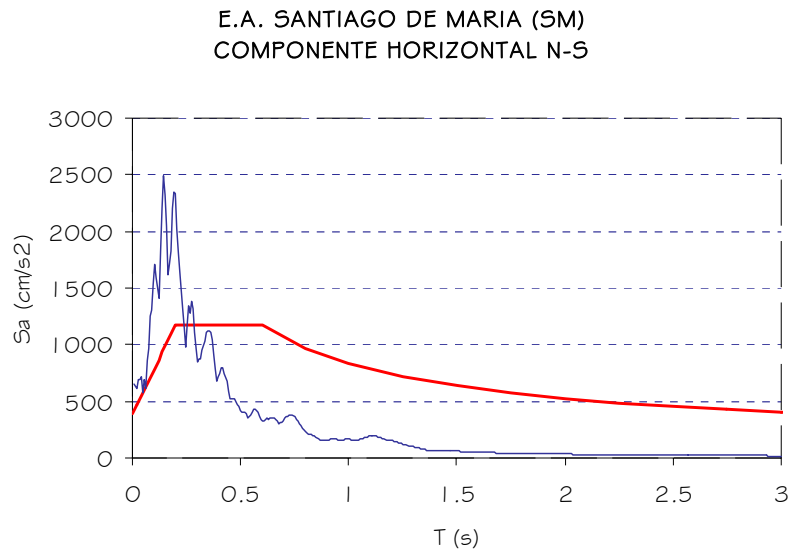


Gráfico 8. Espectro de Respuesta E.A. SM, N-S 13-01-01.

Ahora se observa como varían las aceleraciones espectrales en un mismo emplazamiento y a diferentes profundidades y perfiles de suelo como es el caso de la E.A. “Relaciones exteriores” (gráfico 9) la cual posee dos acelerógrafos uno en el fondo y uno en la superficie. Podemos observar claramente las variaciones ocasionadas por el efecto de sitio y como afecta este las aceleraciones espectrales viéndose amplificadas de manera significativa, en este caso para el fondo del emplazamiento se tiene un perfil de suelo S2 (suelos muy

densos o compactos) y en la superficie un perfil de suelo S3 (suelos cohesivos blandos, medianamente compactos o suelos no cohesivos sueltos) teniendo un porcentaje de amplificación aproximadamente del 35% para una misma distancia epicentral de 95.63 km.

E.A. RELACIONES EXTERIORES (FONDO y SUPERFICIE)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

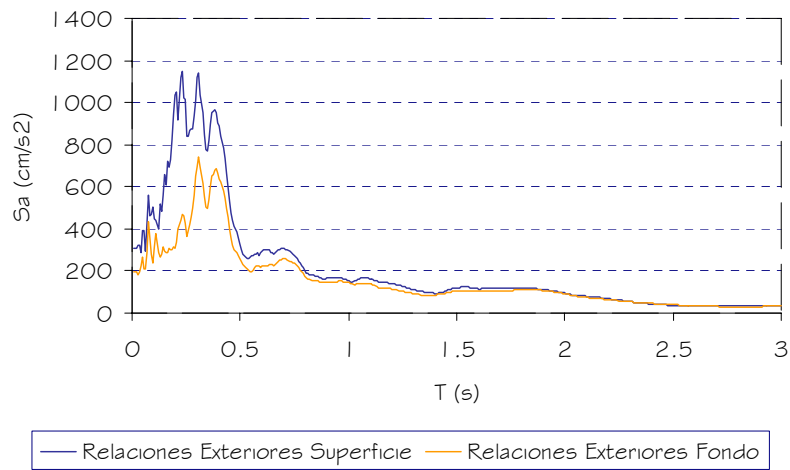
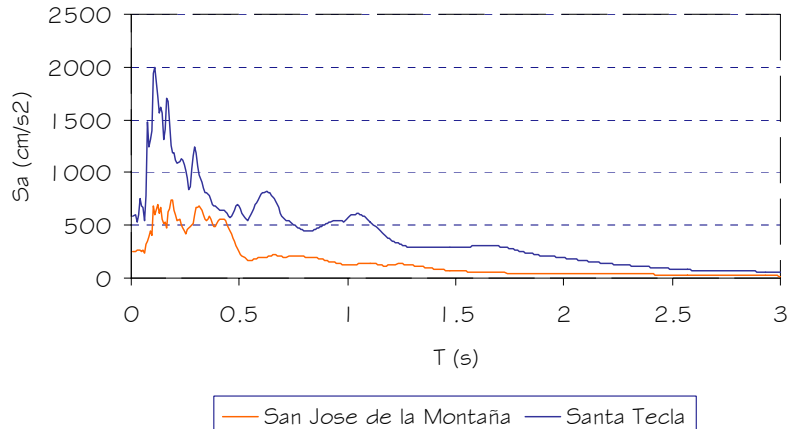


Gráfico 9. Espectro de Respuesta E.A. SM, N-S 13-01-01.

Veamos otra comparación (gráfico 10) entre las estaciones acelerográficas de “San José de la Montaña” y “Santa Tecla”, las cuales tienen su emplazamiento a iguales distancias epicentrales (94.9 y 98 km respectivamente) y en iguales perfiles de suelo S3:

ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACION
ABSOLUTA
COMPONENTE HORIZONTAL N-S



CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

Se puede ver una gran variación en cuanto a las aceleraciones espectrales teniendo las mismas características ambas estaciones acelerograficas, esto deja en duda si los factores de amplificación por efecto de sitio utilizados para un perfil de suelo S3 son los adecuados para ser utilizados en cualquier zona del país lo que hace necesario realizar un estudio de microzonificación sísmica para determinar adecuadamente los valores de los períodos naturales del terreno y modificar los factores de sitio C_0 y T_0 .

Si observamos la comparación entre los acelerogramas de ambas estaciones acelerograficas, podemos observar claramente que las aceleraciones máximas del terreno para la E.A “Santa Tecla” aumentan considerablemente con respecto a la aceleración máxima del terreno para la E.A “San José de la Montaña” esto nos hace comprobar las variaciones que existen para un mismo perfil de suelo S3:

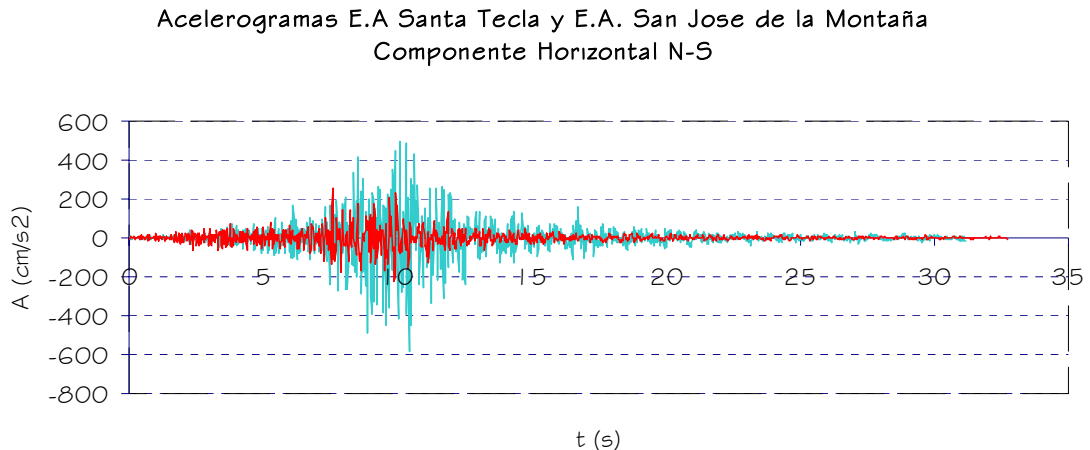


Gráfico 11. Acelerograma E.A. ST y SS, N-S 13-01-01.

4.5. SISMO DEL 13 DE FEBRERO DE 2001.

Para el sismo del 13 de febrero de 2001 se cuenta con el registro para las tres componentes de las siguientes 10 estaciones acelerográficas: Centro de Investigaciones Geotécnicas (CI), Ciudadela Don Bosco (DB), Observatorio CIG (OB), Relaciones Exteriores Superficie (RS), Relaciones Exteriores Fondo (RF), Santa Tecla (ST), Seminario San José de la Montaña (SS), Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas (UC), Viveros de DUA (VS) y Presa 15 de septiembre (QC). Por lo tanto se obtuvo un total de 30 registros.

4.5.1. Calculo de Aceleraciones Pico Efectivas.

Para este sismo en todas las estaciones acelerográficas las aceleraciones espectrales máximas y las EPA calculadas a partir de los registros tomados durante el sismo se encontraron muy por debajo de las aceleraciones espectrales máximas y EPA de diseño.

Los valores de las EPA los cuales varían con respecto a las EPA de diseño en porcentajes máximos para las componentes horizontales varían desde el 5.36% hasta el 7.16% para estaciones acelerográficas cuyo emplazamiento se encuentra en perfil de suelo S1, desde el 8.65% hasta el 9.41% para estaciones acelerográficas cuyo emplazamiento se encuentra en perfil de suelo S2 y desde el 7.19% hasta el 29.33% para estaciones acelerográficas cuyo emplazamiento se encuentra en perfil de suelo S3.

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS
SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

Los valores de las EPA los cuales varían con respecto a las EPA de diseño en porcentajes máximos para la componente vertical varían desde el 4.21% hasta 9.55% para estaciones acelerográficas cuyo emplazamiento se encuentra en perfil de suelo S1, no fueron mayores que el 5.82% para estaciones acelerográficas cuyo emplazamiento se encuentra en perfil de suelo S3 y variaron desde el 4.64% hasta el 12.25% para estaciones acelerográficas cuyo emplazamiento se encuentra en perfil de suelo S3. Por lo tanto los valores mas altos de aceleraciones espectrales y de aceleración pico efectiva se vuelven a dar en perfiles de suelo S3.

TABLA 4.7. Comparación de resultados sismo del 13 de febrero de 2001.
ED (Espectro de Diseño), ER (Espectro de Respuesta), C.O. (Categoría de Ocupación)
Unidades en cm/s^2

Estación	C.O.	Sa máx. (ED)	Sa máx. (ER)	EPA (ED)	EPA I (ER)	EPA 2 (ER)	% Sa	% EPA	% EPA 2
CI	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	980.00	213.32	392.00	63.80	71.13	21.77%	16.27%	18.15%
	Componente Horizontal Este-Oeste								
	III	980.00	349.82	392.00	94.64	98.36	35.70%	24.14%	25.09%
	Componente Vertical								
	III	735.00	140.95	392.00	37.43	37.28	19.18%	9.55%	9.51%
DB	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	1176.00	299.08	392.00	90.49	99.85	25.43%	23.09%	25.47%
	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	1176.00	294.08	392.00	77.31	83.59	25.01%	19.72%	21.32%
	Componente Vertical								
	III	882.00	229.84	392.00	49.29	45.89	26.06%	12.57%	11.71%
OB	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	1176.00	386.71	392.00	111.96	114.99	32.88%	28.56%	29.33%
	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	1176.00	323.67	392.00	88.78	96.35	27.52%	22.65%	24.58%
	Componente Horizontal Vertical								
	III	882.00	280.12	392.00	48.41	35.14	31.76%	12.35%	8.96%

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS
SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

RF	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	1078.00	113.25	392.00	30.54	33.92	10.51%	7.79%	8.65%
	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	1078.00	141.92	392.00	34.29	36.90	13.17%	8.75%	9.41%
RS	Componente Vertical								
		808.50	99.62	392.00	21.81	22.83	12.32%	5.56%	5.82%
	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	1176.00	207.30	392.00	55.34	56.44	17.63%	14.12%	14.40%
ST	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	1176.00	230.42	392.00	58.15	63.80	19.59%	14.83%	16.28%
	Componente Vertical								
	III	882.00	115.98	392.00	26.10	24.98	13.15%	6.66%	6.37%
SS	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	1176.00	120.46	392.00	30.74	27.47	10.24%	7.84%	7.01%
	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	1176.00	102.86	392.00	28.07	28.18	8.75%	7.16%	7.19%
UC	Componente Vertical								
	III	882.00	54.48	392.00	17.15	18.20	6.18%	4.38%	4.64%
	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	1176.00	341.94	392.00	56.66	61.78	29.08%	14.45%	15.76%
QC	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	1176.00	319.01	392.00	65.04	73.03	27.13%	16.59%	18.63%
	Componente Vertical								
	III	882.00	116.11	392.00	28.47	28.17	13.16%	7.26%	7.19%
UC	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	1176.00	243.17	392.00	58.70	67.09	20.68%	14.97%	17.11%
	Componente Vertical								
	III	882.00	141.30	392.00	30.02	24.40	16.02%	7.66%	6.22%
QC	Componente Horizontal Norte-Sur								
	III	980.00	68.83	392.00	19.32	21.01	7.02%	4.93%	5.36%
	Componente Horizontal Este -Oeste								
	III	980.00	88.45	392.00	26.58	28.06	9.03%	6.78%	7.16%
QC	Componente Vertical								
	III	735.00	56.02	392.00	16.50	16.16	7.62%	4.21%	4.12%

4.6. ANALISIS DE RESULTADOS.

Los daños producidos por los sismos del 13 de enero y 13 de febrero de 2001, como se habló anteriormente en el capítulo 2 fueron mas graves en las viviendas construidas de Adobe y Bahareque, en comparación con los daños provocados en el sismo del 10 de Octubre de 1986 que afectó de manera mas grave a las edificaciones de concreto reforzado que ya habían soportado los sismos del 3 de mayo de 1965 y del 19 de junio de 1982 y hay que tomar en cuenta que estas edificaciones no habían sido diseñadas con un código de diseño sísmico adecuado.

Los daños producidos durante los sismos del 2001 fueron grandes, en su mayoría se dieron en las viviendas de adobe más no en las edificaciones de concreto reforzadas, ya que estas han sido diseñadas considerando la NTDS-94, por el contrario las viviendas construidas de adobe fueron las mas afectadas debido a que fueron construidas en épocas en las que no existía un código específico de diseño para viviendas de Adobe, sino hasta el año 2003 que el Ministerio de Obras Públicas publicó la “Norma Especial para el Diseño y la Construcción de Viviendas” la cual menciona en el Capítulo 3 apartado 3.2.1 los coeficientes sísmicos a ser utilizados para la revisión de la seguridad estructural ante sismos, siendo estos 0.5 y 0.4 para la zona sísmica 1 y 2 respectivamente, estos serían equivalentes a valores de aceleraciones espectrales de 490 y 392 cm/s^2 .

En el espectro de respuesta de la E.A “Santiago de María” (gráfico 12) correspondiente a un perfil de suelo S3 del sismo del 13 de enero de 2001 se puede observar que las aceleraciones espectrales para los períodos naturales entre 0.2 y 0.3 s que son los que presentan las viviendas de adobe se encuentran muy arriba de las aceleraciones máximas de diseño para este tipo de viviendas.

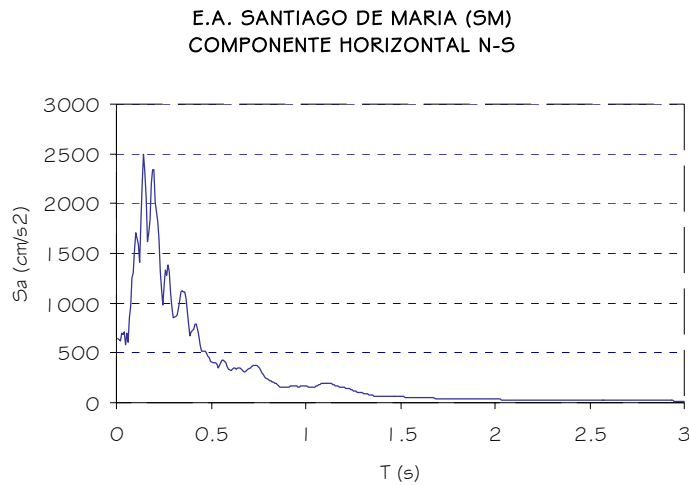


Gráfico 12. Espectro de Respuesta E.A SM, N-S 13-01-01.

Para observar con más detalle las variaciones de los espectros de respuesta calculados se presentan a continuación dichos espectros ordenados según el perfil del suelo del emplazamiento de cada estación para todos los sismos y su comparación con el espectro de diseño correspondiente.

4.6.1. Espectros de Respuesta para perfil de suelo S1.

Para las estaciones acelerográficas cuyo emplazamiento se encuentra ubicados en perfiles de suelo S1 se obtuvieron las aceleraciones espectrales y las aceleraciones pico efectivas más bajas, no se presentó ningún caso en el que se haya superado la barrera de diseño (ver gráficos del 13 al 15).

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

ESPECTROS DE RESPUESTA PARA PERFIL DE SUELO S1
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

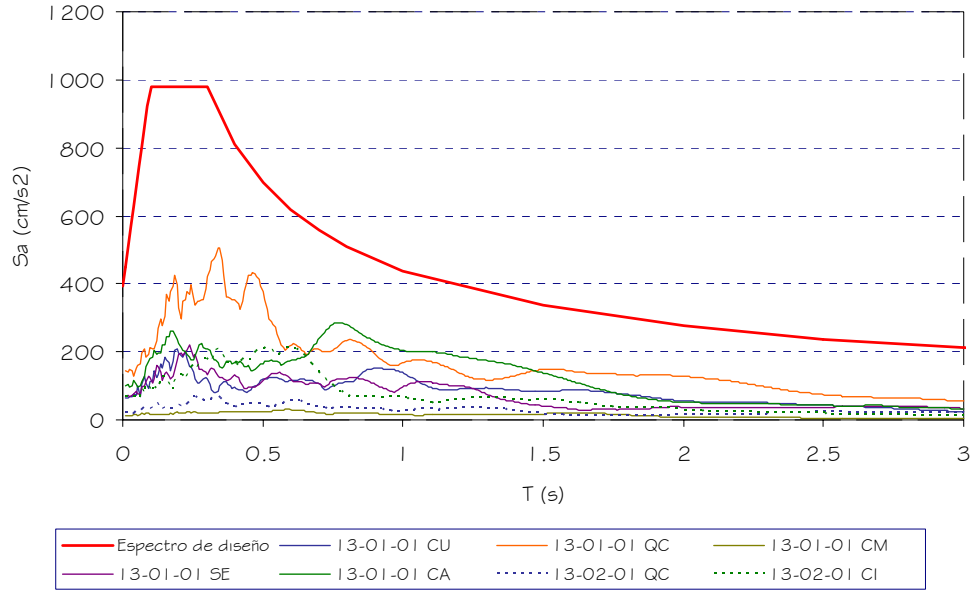


Gráfico 13. Espectro de Respuesta para perfil de Suelo S1 Componente Horizontal N-S.

ESPECTROS DE RESPUESTA PARA PERFIL DE SUELO S1
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

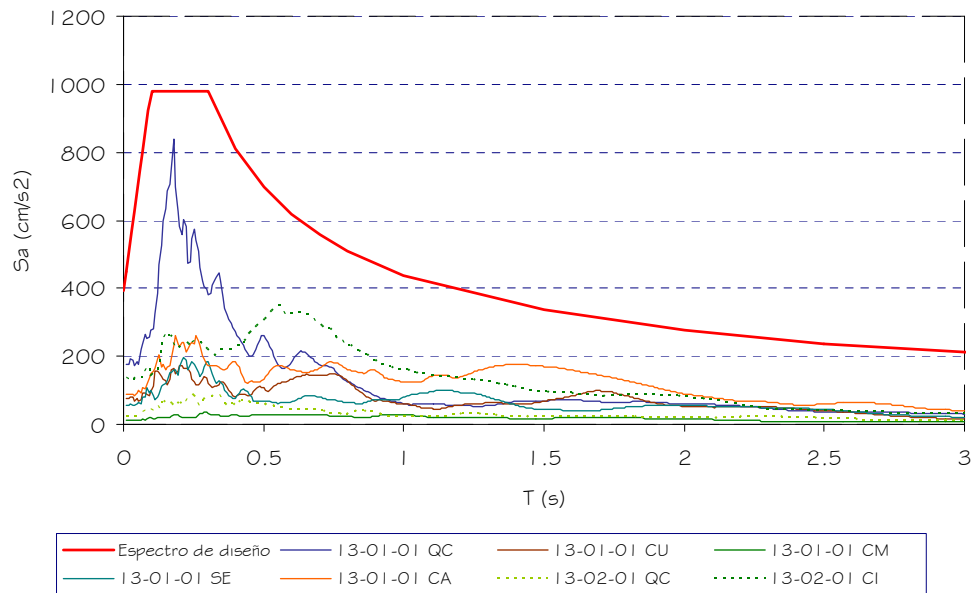


Gráfico 14. Espectro de Respuesta para perfil de Suelo S1 Componente Horizontal E-O.

ESPECTROS DE RESPUESTA PARA PERFIL DE SUELO S1
COMPONENTE VERTICAL

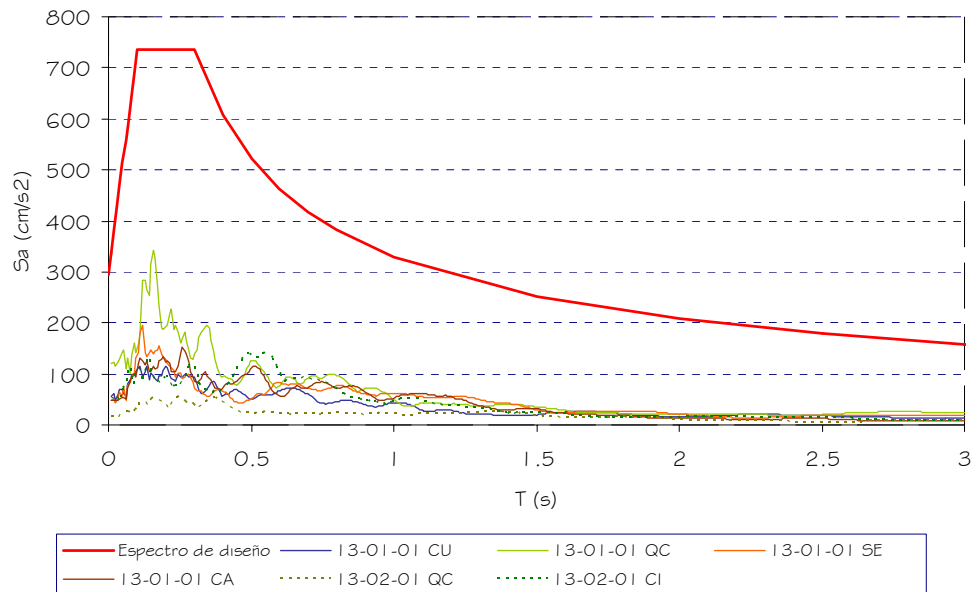


Gráfico 15. Espectro de Respuesta para perfil de Suelo S1 Componente Vertical.

Al observar todos los espectros de respuesta de aceleración absoluta para los perfiles de suelo S1 se puede ver que los mayores valores de aceleraciones espectrales han sido los del sismo del 13 de enero de 2001, no se tiene registro de estaciones que tengan su emplazamiento en este tipo de perfil de suelo para los sismos de 1982 y 1986.

4.6.2. Espectros de Respuesta para perfil de suelo S2.

En el caso de las estaciones acelerográficas que tienen su emplazamiento en perfiles de suelo S2 y perfiles de suelo S3 se puede observar un aumento en las aceleraciones espectrales y las aceleraciones pico efectivas con respecto a las que tienen su emplazamiento en perfiles S1 debido a los efectos de sitio, para estos perfiles se podrán ver casos en los cuales se supera la barrera del

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

espectro de diseño de la NTDS-94, específicamente para el sismo del 10 de octubre de 1986 y el 13 de enero de 2001.

Para el caso de las estaciones acelerográficas que tienen su emplazamiento en perfiles de suelo S2 (Ver gráficos del 16 al 18) se puede apreciar que el sismo del 10 de Octubre de 1982 la E.A “Centro de Investigaciones Geotécnicas” ha sido la única que sobrepasa el límite de aceleraciones espectrales máximas para las tres componentes ortogonales, además, la E.A “San Miguel” para el caso del sismo del 13 de enero de 2001 también sobrepasa el límite de aceleraciones espectrales máximas únicamente para la componente horizontal Norte-Sur. Esto se puede observar detalladamente en las siguientes envolventes de espectros de respuesta:

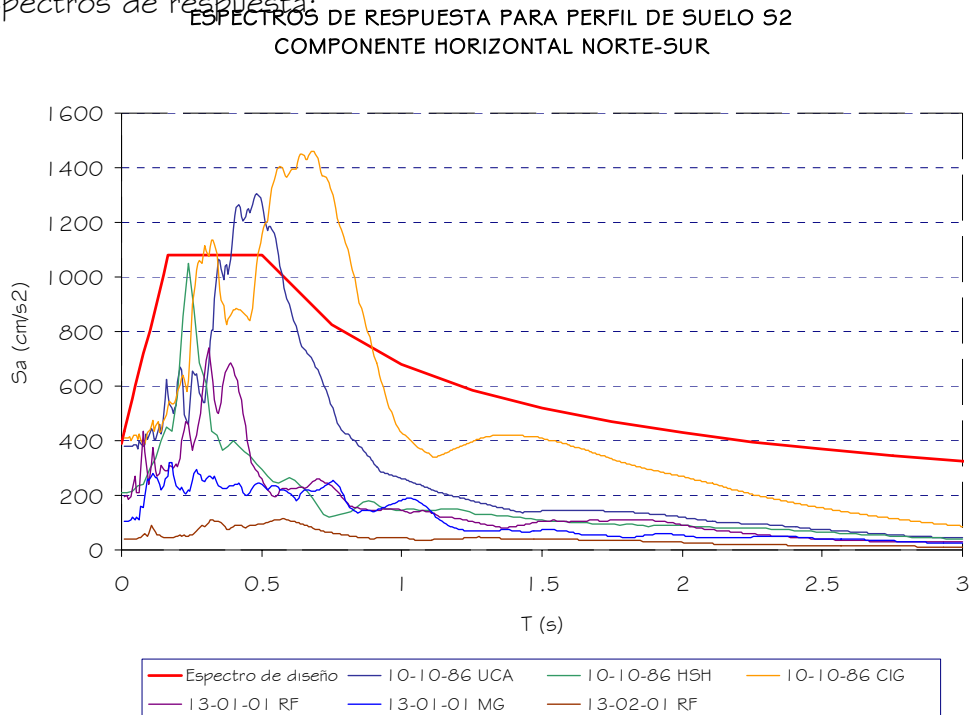


Gráfico 16. Espectro de Respuesta para perfil de Suelo S2 Componente Horizontal N-S.

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

ESPECTROS DE RESPUESTA PARA PERFIL DE SUELO S2
COMPONENTE HORIZONTAL ESTE-OESTE

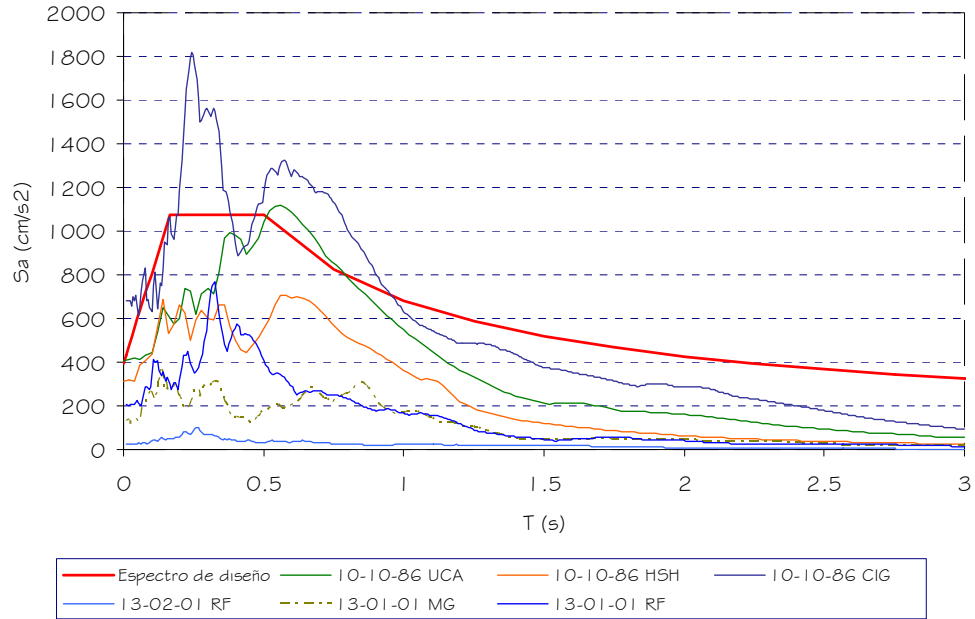


Gráfico 17. Espectro de Respuesta para perfil de Suelo S2 Componente Horizontal E-O.

ESPECTROS DE RESPUESTA PARA PERFIL DE SUELO S2
COMPONENTE VERTICAL

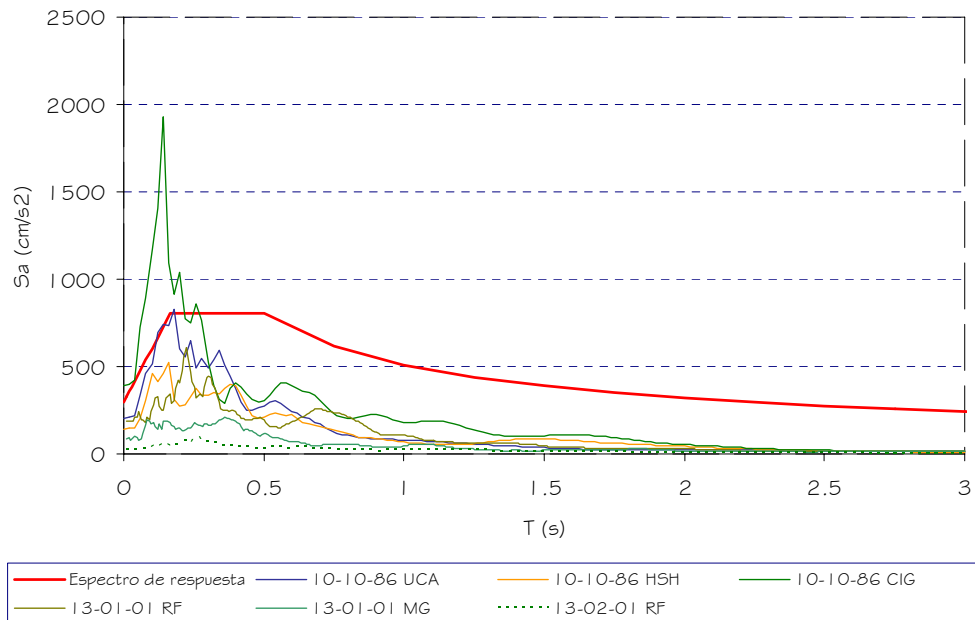


Gráfico 18. Espectro de Respuesta para perfil de Suelo S2 Componente Vertical.

4.6.3. Espectros de Respuesta para perfil de suelo S3.

ESPECTROS DE RESPUESTA PARA PERFIL DE SUELO S3
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

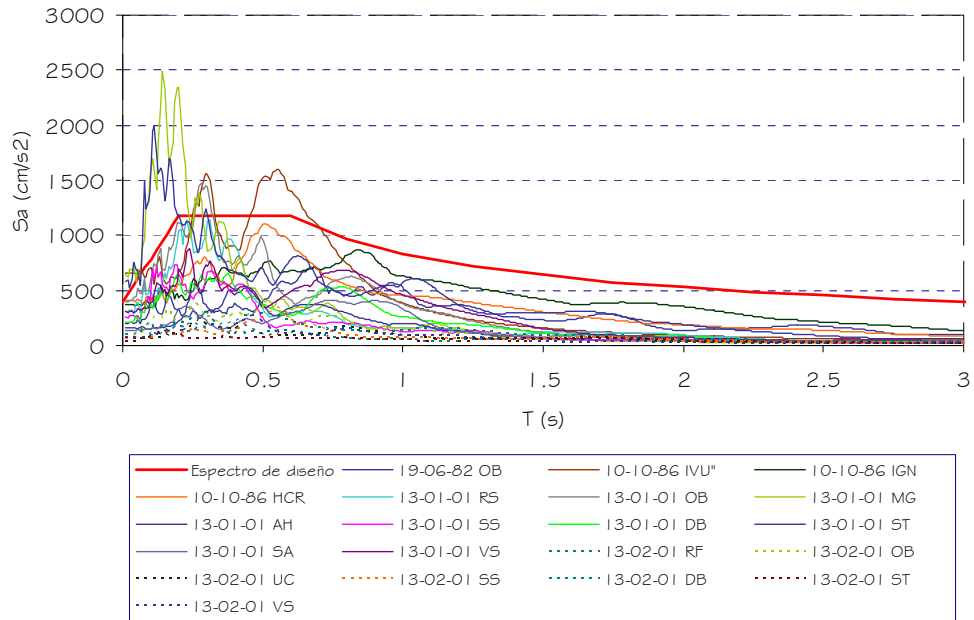


Gráfico 19. Espectro de Respuesta para perfil de Suelo S3 Componente Horizontal N-S.

ESPECTROS DE RESPUESTA PARA PERFIL DE SUELO S3
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

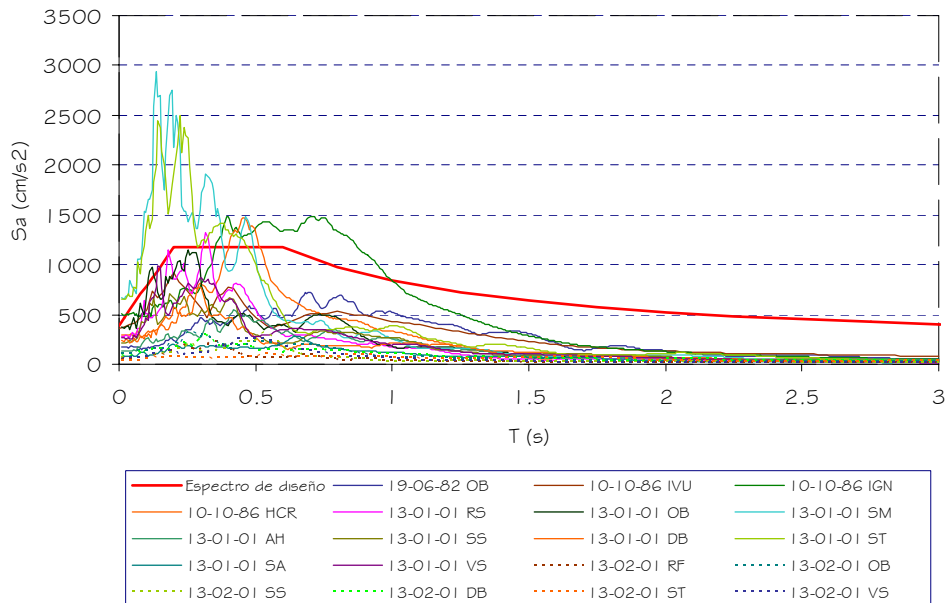


Gráfico 20. Espectro de Respuesta para perfil de Suelo S3 Componente Horizontal E-O.

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

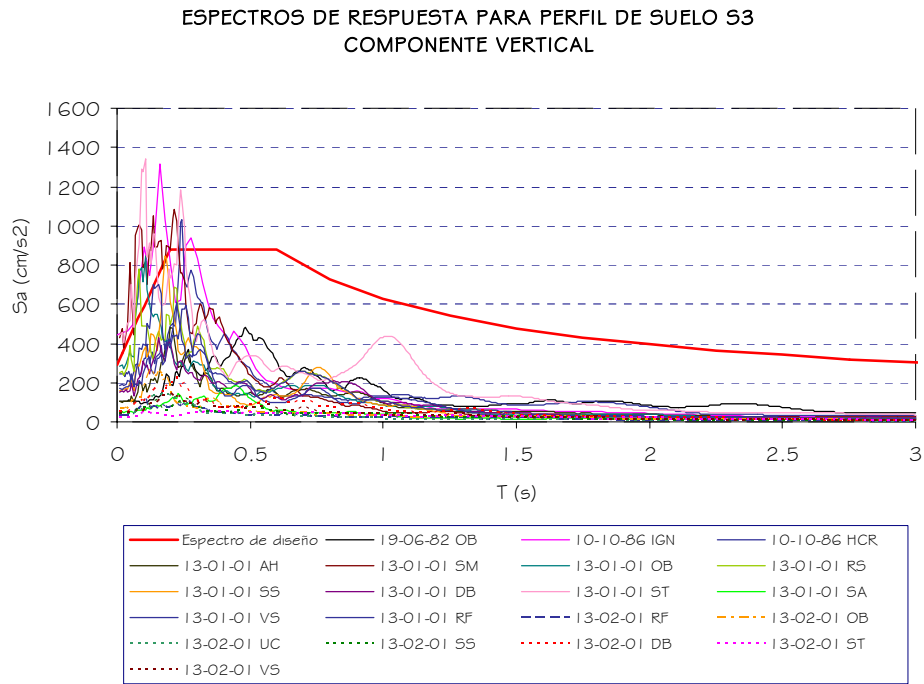


Gráfico 21 . Espectro de Respuesta para perfil de Suelo S3 Componente Vertical.

Al observar todos los espectros de respuesta de aceleración anteriores (gráficos del 19 al 21) correspondientes al perfil de suelo S3 se puede ver que han sido más los espectros de respuesta que han sobrepasado el límite de las aceleraciones espectrales máximas de diseño de la NTDS-94 habiéndose dado específicamente para los sismos del 10 de octubre de 1986 y 13 de enero de 2001, las variaciones que se dan en todos los espectros de respuesta y cómo cambian los valores para un mismo perfil de suelo, lo que necesita una revisión y ver si es necesario subdividirlo y estudiar a profundidad las características geológicas de estos perfiles de suelo y modificar los valores de los Coeficientes de Sitio, tanto de amplificación por efectos de sitio (C_0) como los valores de períodos naturales de los suelos (T_0).

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

Para mostrar más detalladamente las variaciones que se dan en cada perfil de suelo se muestra a continuación en la Tabla 4.8 las aceleraciones máximas del terreno (PGA) para cada componente, la distancia epicentral y el perfil de suelo al que pertenece:

TABLA 4.8. Distancia Epicentral (DE Km) y Aceleraciones Máximas del Terreno (PGA en cm/s^2)

Sismo	Estación	DE	PGA (N-S)	PGA (E-O)	PGA (V)	Suelo
19/06/1982	OB	80.00	159.98	172.13	107.24	S3
10/10/1986	CIG	18.50	410.37	680.48	389.27	S2
	HCR	21.50	407.77	294.99	243.29	S3
	HSH	24.50	210.71	290.63	143.96	S2
	IGN	18.00	372.63	501.65	445.43	S3
	IVU	23.00	658.48	246.93	N.D.	S3
	UCA	25.50	370.26	362.84	445.43	S2
13/01/2001	CA	139.42	101.04	84.90	48.73	S1
	AH	157.36	198.84	136.28	103.17	S3
	CM	165.8	13.47	12.21	N.D.	S1
	DB	92.43	206.79	237.40	154.32	S3
	CU	96.63	64.96	64.96	204.86	S3
	OB	91.0	370.67	396.64	283.97	S3
	RF	95.63	195.55	204.86	184.01	S2
	RS	95.63	310.74	287.23	252.60	S3
	MG	69.95	106.03	133.21	87.63	S2
	SA	142.0	130.73	75.71	49.56	S3
	ST	98.00	582.21	657.04	440.78	S3
	SM	52.60	647.41	670.51	426.82	S3
	SS	94.90	257.05	219.37	161.23	S3
	SE	90.50	70.14	56.92	47.22	S1
	VS	96.90	305.34	262.03	169.99	S3
QC	93.90	142.95	177.81	119.47	S1	
13/02/2001	CI	13.6	65.45	135.25	53.73	S1
	DB	12.4	95.42	80.96	50.86	S3
	OB	13.7	89.47	135.25	66.77	S3
	RF	19.3	39.57	42.04	23.88	S2
	RS	19.3	63.52	53.76	31.74	S3
	ST	22.4	40.30	37.78	18.15	S3
	SS	18.5	67.02	63.27	41.75	S3
	UC	19.5	57.73	N.D.	37.10	S3
QC	17.4	18.75	25.28	16.32	S3	

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS
SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

Se observa en la tabla anterior para el caso del sismo del 10 de octubre de 1986, se tiene registros de 6 estaciones acelerográficas a distancias relativamente iguales comprendidas en un radio de alrededor de 8 Km del epicentro y se observan grandes variaciones en las aceleraciones máximas del terreno registrándose aceleraciones máximas del terreno para la componente horizontal de 210.71 cm/s^2 hasta 680.48 cm/s^2 (0.22 a 0.69g) en un perfil de suelo S2 y de 159.98 cm/s^2 hasta 658.48 cm/s^2 (0.16 a 0.67g) para un perfil de suelo S3. Hay que tomar en cuenta las aceleraciones máximas del terreno en la componente vertical las cuales han sido significativas para este sismo registrándose aceleraciones máximas del terreno de hasta 445.43 cm/s^2 (0.45g). Estas variaciones tan grandes que existen en un mismo perfil de suelo se dan debido a que en San Salvador existen diferentes tipos de suelos y esto genera una gran influencia en las condiciones locales del movimiento.

Al Observar las variaciones que se dan para el sismo del 13 de enero de 2001; en el caso del perfil de suelo S1 se pueden observar variaciones mínimas entre todos los registros con excepción de las aceleraciones máximas del suelo para la Estación Acelerográfica "Cessa Metapán" en la que se puede ver una reducción notable, esto es debido a que el emplazamiento que es en roca esta ubicado en la Zona Sísmica 2 siendo este el único registro que se tiene para la misma, lo que muestra la poca sismicidad que existe al norte del país. En el caso de las aceleraciones máximas del terreno para los perfiles de suelo S2 muestra

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS
SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

una diferencia relativamente significativa obteniendo se valores desde 106.03 cm/s^2 hasta 195.55 cm/s^2 (0.11 a 0.20g) estas variaciones se pueden asociar con la diferencia que existe en cuanto a distancias epicentrales que va desde los 69.95 a los 95.63 Km. Ahora para el caso de los perfiles de suelo S3 existen variaciones significativas, las cuales en algunos casos pueden ser asociadas a la distancia epicentral, tal es el caso de la Estación Acelerográfica "Ahuachapán" que presentó los valores de aceleración máxima del terreno mas bajos (198.84 cm/s^2 para la componente Horizontal) y también la distancia epicentral mas lejana (157.36 Km). Pero existen otros casos en los cuales se ve una variación en cuanto aceleraciones máximas del terreno grande y obteniéndose una distancia epicentral relativamente igual, tal es el caso de las Estaciones Acelerográficas "Seminario San José de la Montaña", "Viveros de DUA" y "Santa Tecla" en este caso tenemos una variación desde 219.37 cm/s^2 hasta 657.04 cm/s^2 (0.22 a 0.67g). Y por ultimo el caso de la Estacion Acelerográfica "Santiago de María" la cual tiene la distancia epicentral mas corta y la aceleración máxima del terreno mas alta (670.51 cm/s^2 o 0.68g).

A continuación se muestra el gráfico 22 para observar detalladamente las variaciones de las aceleraciones máximas del terreno con respecto a las distancias epicentrales para el perfil de suelo S3 del sismo del 13 de enero de 2001, para las 3 componentes ortogonales, donde la vertical es mas baja respecto a las horizontales:

ACELERACION MAXIMA DEL TERRENO Y DISTANCIA EPICENTRAL
(PERFIL S3 SISMO 13-01-01)

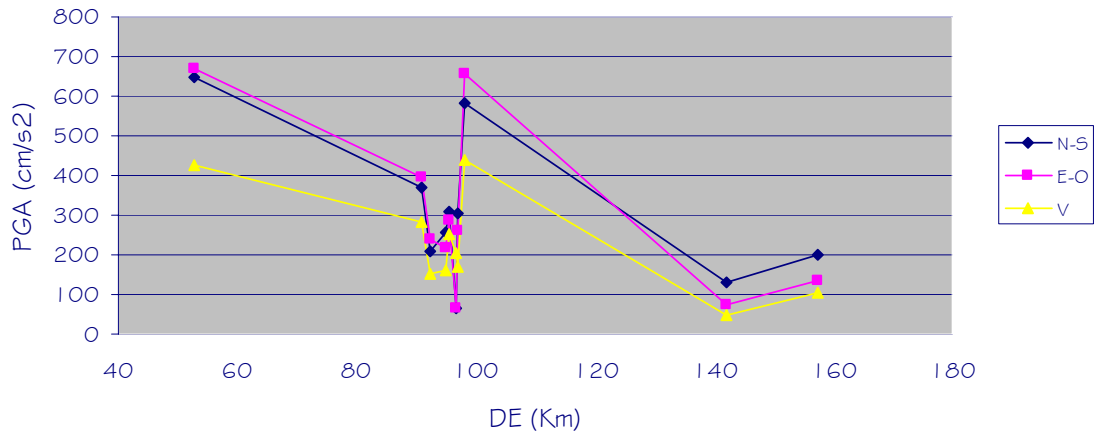


Gráfico 22. Aceleración Máxima del Terreno y Distancia Epicentral para Perfil de Suelo S3.

Para el caso del sismo del 13 de febrero de 2001 solamente se tiene un registro para el perfil de suelo S1 y uno para el perfil de suelo S2, pero al observar las variaciones en el perfil de suelo S3 se puede ver que son mínimas, para ver detalladamente estas variaciones se muestra a continuación el gráfico

23:

ACELERACION MAXIMA DEL TERRENO Y DISTANCIA EPICENTRAL
(PERFIL S3 SISMO 13-02-01)

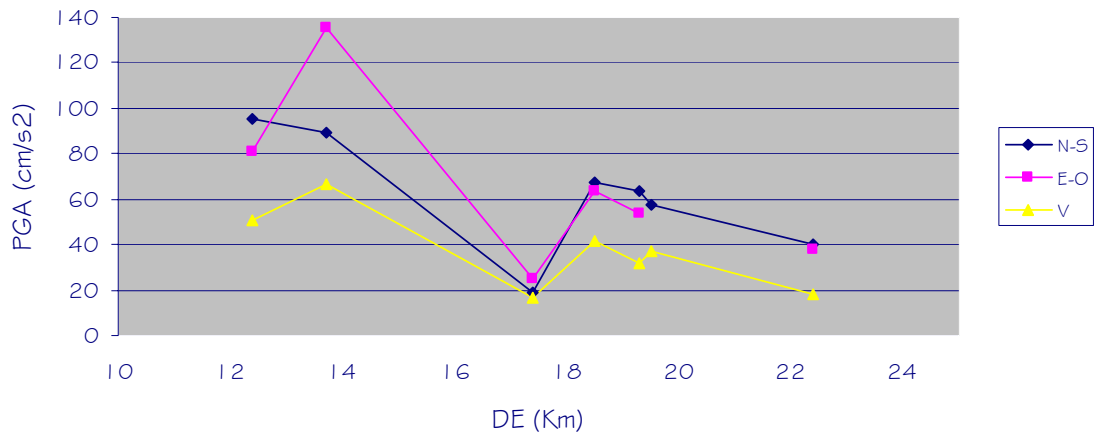


Gráfico 23. Aceleración Máxima del Terreno y Distancia Epicentral para Perfil de Suelo S3.

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

4.6.4. Aceleraciones Pico Efectivas para los sismos de 1982, 1986 y 2001.

En la tabla 4.8 se muestran las EPA calculadas para ambos casos, para cada una de las estaciones acelerograficas que han registrado los sismos de 1982, 1986 y 2001, además se calculó la media (X) y la media más la desviación estándar ($X+\sigma$) de las EPA calculadas de cada uno de los espectros de respuesta generados para cada componente para comparar las EPA que se presentan en la NTDS-94. Se puede observar que las medias calculadas andan muy por debajo del valor de diseño de la norma que es 392 para las componentes horizontales y 294 para la componente vertical, en cambio al sumarles la desviación estándar el valor aumenta aunque ninguno sobrepasa el limite de diseño.

Tabla 4.9. Aceleraciones Pico Efectivas Promedio y Promedio más desviación estándar.

Sismo	Estación	N-S		E-O		V	
		EPA 1	EPA 2	EPA 1	EPA 2	EPA 1	EPA 2
19/06/1982	OB	123.24	137.30	154.17	180.35	120.98	141.33
10/10/1986	CIG	321.46	364.54	477.982	519.188	284.44	206.71
	HCR	267.56	296.41	321.093	381.442	188.83	204.84
	HSB	205.03	218.10	238.261	239.483	141.71	133.25
	IGN	225.53	240.55	375.748	425.10	282.79	245.74
	IVU	398.57	449.20	273.452	265.639	ND	ND
	UCA	325.92	370.50	268.365	301.762	211.00	186.03
13/01/2001	CA	76.21	72.82	72.61	72.02	41.59	40.21
	AH	165.32	174.43	144.61	160.37	94.36	91.2
	CM	8.84	9.48	10.06	10.59	ND	ND
	DB	207.8	215.57	187.09	197.7	100.78	91.47
	CU	50.57	46.5	49.19	47.04	32.94	31.08
	OB	384.39	404.68	283.84	273.77	117.07	89.95
	RF	180.54	201.78	186.26	205.53	125.77	126.85
	RS	310.3	331.79	320.88	338.72	144.96	137.19
MG	98.63	97.82	91.19	84.99	64.36	65.08	

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS
SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

Sismo	Estación	N-S		E-O		V	
		EPA 1	EPA 2	EPA 1	EPA 2	EPA 1	EPA 2
13/01/2001	SA	90.26	94.14	65.37	70.35	49.00	54.50
	ST	404.24	342.63	626.93	599.71	222.73	197.88
	SM	482.003	391.847	672.52	602.00	245.41	215.69
	SS	214.88	207.03	214.16	214.4	125.56	99.24
	SE	55.73	56.48	49.29	49.83	36.16	29.31
	VS	229.09	238.7	261.61	263.4	140.46	119.02
	QC	150.51	159.6	168.18	148.97	67.37	57.46
13/02/2001	CI	63.8	71.13	94.64	98.36	37.43	37.28
	DB	90.49	99.85	77.31	83.59	49.29	45.89
	OB	111.96	114.99	88.78	96.35	48.41	35.14
	RF	30.54	33.92	34.29	36.9	21.81	22.83
	RS	55.34	56.44	58.15	63.8	26.1	24.98
	ST	30.74	27.47	28.07	28.18	17.15	18.2
	SS	56.66	61.78	65.04	73.03	28.47	28.17
	UC	58.7	67.09	30.02	24.4	ND	ND
QC	19.32	21.01	26.58	28.06	16.5	16.16	
TOTAL		5494.18	5675.58	6015.74	6185.03	3083.42	2792.66
X		171.693	177.362	187.992	193.282	96.357	87.271
σ		131.391	131.547	169.252	167.447	82.565	71.446
X+ σ		303.08	308.91	357.24	360.73	178.92	158.72
C.V.		76.53	74.17	90.03	86.63	85.69	81.87

Las aceleraciones pico efectivas calculadas con la ecuación utilizada en el estudio de peligro sísmico de la Universidad Autónoma de México (UNAM 1993) considerando las amplitudes espectrales entre los períodos 0.1 y 0.5 presentaron los valores más bajos para las componentes horizontales, habiendo sido 303.08 cm/s^2 (0.31g) para la componente Norte-Sur y 357.24 cm/s^2 (0.36g) para la componente Este-Oeste, en cambio para la componente vertical se presentó el más alto habiendo sido de 178.92 cm/s^2 (0.18g). Las aceleraciones pico efectivas calculadas con la ecuación Donovan (1978)

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS
SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

considerando las amplitudes espectrales entre los períodos 0.2s y 0.5s presentaron los valores más altos para las componentes horizontales, habiendo sido 308.91 cm/s^2 (0.32g) para la componente Norte-Sur y 360.73 cm/s^2 (0.37g) para la componente Este-Oeste, en cambio para la componente vertical se presentó el más bajo habiendo sido de 158.72 cm/s^2 (0.16g).

Las aceleraciones pico efectivas calculadas como la media más la desviación estándar de los registros obtenidos en todas las estaciones acelerográficas para este trabajo de graduación se encuentran por debajo que las que se encuentran en la NTDS-94 (tabla 3.3, Pág.70). Para el caso de la zona sísmica 1 se contó solamente con un registro por lo tanto no se calculó el promedio pero se encontraba muy por debajo del valor que propone la Norma; en el caso de la zona sísmica 2 el valor promedio para las componentes horizontales es de 332.49 cm/s^2 (0.34g) encontrándose debajo de 392 cm/s^2 (0.4g) que se encuentra en la NTDS-94; para la componente vertical el valor promedio fue de 168.82 cm/s^2 (0.17g) que también se encuentra por debajo de las 2/3 partes de las componentes horizontales que propone la NTDS-94 (292 cm/s^2 o 0.3g). Por lo tanto los valores de aceleraciones pico efectivas o factores de zonificación sísmica que se encuentran en la NTDS-94 se pueden considerar adecuados.

Si se saca un porcentaje entre las aceleraciones pico efectivas para la componente vertical y las componentes horizontales y así evaluar el factor de

CAPITULO IV: EVALUACION DE LAS ACELERACIONES PICO EFECTIVAS A PARTIR DE LOS EVENTOS SISMICOS DE 1982, 1986 Y 2001.

reducción del 66.66% (2/3 partes) tenemos lo siguiente: Para el caso 1 (amplitudes espectrales 0.1-0.5) se obtiene un factor de reducción del 55%, para el caso, Para el caso 2 (amplitudes espectrales 0.2-0.5) se obtiene un factor de reducción del 48%, si se calcula un promedio de ambos casos obtenemos entonces un factor de reducción del 50% aproximadamente, por lo tanto el factor propuesto por la NTDS-94 esta un poco sobrado.

Se ha calculado un coeficiente de variación entre las series de datos de las aceleraciones pico efectivas, al comparar los datos calculados para cada caso (amplitudes espectrales entre 0.1-0.5s y 0.2-0.5s) se puede ver que no existen variaciones significativas en los datos, dándose una diferencia en la aceleración pico efectiva para la componente horizontal Norte-Sur del 2.36%, la componente horizontal Este-Oeste varía en un 3.4% y la componente vertical en un 3.8% siendo esta la que mas varía. Ahora los valores de los coeficientes de variación se pueden considerar poco representativos con respecto a la media ya que andan demasiado elevados obteniéndose porcentajes de hasta el 90% de variación en el caso de la componente horizontal Este-Oeste, esto se ha debido al margen de diferencia que existe entre las aceleraciones pico efectivas obtenidas para el sismo del 10 de octubre de 1986 y el 13 de enero de 2001 con respecto a los sismos del 19 de junio de 1982 y el 13 de febrero de 2001. Es por esto que a continuación se depura más esta información separando estos valores en diferentes categorías para su análisis.

4.6.5. Análisis de los sismos del 13 de enero y 13 de febrero de 2001.

En la tabla 4.8 se muestra una comparación entre las aceleraciones espectrales de los sismos del 13 de enero y 13 de febrero de 2001, donde se calculó el promedio, la desviación estándar y por ultimo la suma del promedio y la desviación estándar para estos eventos, en esta tabla se puede observar claramente que los valores de las EPA para el sismo del 13 de enero en ambos casos superan a los sismos del 13 de febrero ampliamente para cada una de las tres componentes ortogonales, al final se puede observar que los valores de la media mas la desviación estándar de estos eventos andan por debajo de los valores de la EPA de diseño, exceptuando el caso 1 para la componente Este-Oeste del sismo del 13 de enero que sobrepasa la barrera de diseño, aunque haya sido sobrepasada no es un valor significativo ya que solamente lo ha sobrepasado por el 1.78%.

Al final de la tabla se muestran los coeficientes de variación calculados para cada serie de datos, se puede observar que la dispersión de datos es mayor para el sismo del 13 de enero de 2001 presentando una variación que anda entre 65 al 88% para las componentes horizontales esto debido a los aumentos bruscos de aceleraciones pico efectivas en las estaciones de Santa Tecla y Santiago de María lo que hace menos representativos los resultados, por el contrario para la componente vertical tenemos un porcentaje de variación del 55% haciendo un poco mas representativo estos valores calculados.

TABLA 4.10. Aceleraciones Pico Efectivas para los sismos del 13 de enero y 13 de febrero de 2001.

Estación	Componente Norte-Sur				Componente Este-Oeste				Componente Vertical			
	13/01/2001		13/02/2001		13/01/2001		13/02/2001		13/01/2001		13/02/2001	
	EPA-1	EPA-2	EPA-1	EPA-2	EPA-1	EPA-2	EPA-1	EPA-2	EPA-1	EPA-2	EPA-1	EPA-2
CI	ND	ND	63.8	71.13	ND	ND	94.64	98.36	ND	ND	37.43	37.28
CA	76.21	72.82	ND	ND	72.61	72.02	ND	ND	41.59	40.21	ND	ND
AH	165.32	174.43	ND	ND	144.61	160.37	ND	ND	94.36	91.2	ND	ND
CM	8.84	9.48	ND	ND	10.06	10.59	ND	ND	ND	ND	ND	ND
DB	207.8	215.57	90.49	99.85	187.09	197.7	77.31	83.59	100.8	91.47	49.29	45.89
CU	50.57	46.5	ND	ND	49.19	47.04	ND	ND	32.94	31.08	ND	ND
OB	384.39	404.68	111.96	114.99	283.84	273.77	88.78	96.35	117.1	89.95	48.41	35.14
RF	180.54	201.78	30.54	33.92	186.26	205.53	34.29	36.9	125.8	126.85	21.81	22.83
RS	310.3	331.79	55.34	56.44	320.88	338.72	58.15	63.8	145	137.19	26.1	24.98
MG	98.63	97.82	ND	ND	91.19	84.99	ND	ND	64.36	65.08	ND	ND
SA	90.26	94.14	ND	ND	65.37	70.35	ND	ND	49.00	54.50	ND	ND
ST	404.24	342.63	30.74	27.47	626.93	599.71	28.07	28.18	222.7	197.88	17.15	18.2
SM	482.003	391.85	ND	ND	672.52	602.00	ND	ND	245.4	215.69	ND	ND
SS	214.88	207.03	56.66	61.78	214.16	214.4	65.04	73.03	125.6	99.24	28.47	28.17
SE	55.73	56.48	ND	ND	49.29	49.83	ND	ND	36.16	29.31	ND	ND
VS	229.09	238.7	ND	ND	261.61	263.4	ND	ND	140.5	119.02	ND	ND
UC	ND	ND	58.7	67.09	ND	ND	30.02	24.4	ND	ND	ND	ND
QC	150.51	159.6	19.32	21.01	168.18	148.97	26.58	28.06	67.37	57.46	16.5	16.16
X	194.332	190.33	57.506	61.52	212.74	208.71	55.88	59.19	107.2	96.409	30.65	28.58
σ	134.485	121.78	27.891	29.888	187.21	173.48	25.6	28.6	61.99	54.105	12.22	9.53
X+ σ	328.82	312.1	85.4	91.41	399.9	382.2	81.48	87.78	169.2	150.5	42.9	38.1
C.V.	69.20	63.98	48.50	48.58	88.00	83.12	45.81	48.32	57.83	56.12	39.87	33.34

Se observa ahora los coeficientes de variación de la tabla 4.10 para el sismo del 13 de febrero de 2001 estos disminuyen de manera considerable con respecto a los del 13 de enero, obteniendo resultados mas representativos, con porcentajes de variación del 50% aproximadamente para las componentes horizontales y un porcentaje aproximado de variación del 35% para la componente vertical.

4.6.5. Análisis de los Sismos Regionales y Sismos Locales.

En la tabla 4.11 se muestran los valores de aceleraciones pico efectivas para los sismos del 19 de junio de 1982 el cual solamente cuenta con un registro y el sismo del 10 de octubre de 1986 que cuenta con 6 registros de los cuales se ha sacado la media, la desviación estándar y la media mas la desviación estándar. Al observar los valores de aceleraciones pico efectivas (EPA) para el sismo de 1986 se ve claramente que las aceleraciones pico efectivas de diseño han sido sobrepasadas para el caso en la componente horizontal Norte-Sur y para ambos casos en la componente horizontal Este-Oeste; por el contrario, para la componente vertical no sobrepasa el límite de diseño (294 cm/s^2) pero anda muy cerca de él. Ahora si se observa el coeficiente de variación nos muestra datos mucho más representativos comparados con los sismos del 2001 obteniendo porcentajes de variación aproximadamente del 25% para ambas componentes horizontales. Para la componente vertical se pueden considerar medianamente representativos debido a la variación brusca existente

en la E.A. "Instituto Geográfico Nacional" con un porcentaje del 55% aproximado.

TABLA 4.11. Aceleraciones Pico Efectivas para los sismos del 19 de junio de 1982 y 10 de octubre de 1986.

Sismo	Estacion	N-S		E-O		V	
		EPA 1	EPA 2	EPA 1	EPA 2	EPA 1	EPA 2
19/06/1982	OB	123.24	137.30	154.17	180.35	120.98	141.33
10/10/1986	CIG	321.46	364.54	477.982	519.188	284.44	206.71
	HCR	267.56	296.41	321.093	381.442	188.83	204.84
	HSH	205.03	218.10	238.261	239.483	141.71	133.25
	IGN	225.53	240.55	375.748	425.10	282.79	245.74
	IVU	398.57	449.20	273.452	265.639	0	0
	UCA	325.92	370.50	268.365	301.762	211.00	186.03
TOTAL		1744.08	1939.30	1954.90	2132.61	1108.76	976.56
X		290.679	323.216	325.817	355.436	184.79	162.76
σ		72.0334	87.6521	88.7452	106.521	106.06	87.739
X+ σ		362.71	410.87	414.56	461.96	290.85	250.5
CV		24.78	27.12	27.24	29.97	57.39	53.91

Si se toma en cuenta ahora los sismos del 19 de junio de 1982 y el 10 de octubre de 1982 (sismos regional y local respectivamente) y se obtiene un promedio con los datos obtenidos para los sismos del 13 de enero y 13 de febrero (sismos regional y local respectivamente) tenemos lo siguiente:

TABLA 4.11. Aceleraciones Pico Efectivas promedio para sismos regionales y locales.

Sismo	Fecha	N-S		E-O		V	
		EPA 1	EPA 2	EPA 1	EPA 2	EPA 1	EPA 2
Regionales	19/06/1982	123.24	137.30	154.17	180.35	120.98	141.33
	13/01/2001	328.82	312.1	399.9	382.2	169.2	150.5
X		226.03	224.70	277.03	281.28	145.09	145.91
Locales	10/10/1986	362.71	410.87	414.56	461.96	290.85	250.50
	13/02/2001	85.4	91.41	81.48	87.78	42.9	38.1
X		224.06	251.14	248.02	274.87	166.88	144.30

Al sacar el promedio entre los eventos de estudio tanto regionales como locales podemos ver un resultado similar entre ambos presentando valores mínimamente diferentes entre ambos, lo que se puede considerar empíricamente que tanto sismos locales como regionales son igual de destructivos.

Si se revisan los datos históricos, los sismos regionales han sido los que mayor magnitud han presentado, pero debido a que sus epicentros han sido mas lejanos y sus profundidades focales han sido mayores estos si bien han presentado daños, no han sido (con excepción del sismo del 13 de enero de 2001) tan destructivos como los sismos locales que debido a las condiciones en la que se dan (Distancias epicentrales mas pequeñas y profundidades focales mas superficiales) y aun obteniendo un promedio menor de magnitudes han sido en general los que mayores daños y perdidas han dejado en San Salvador y todo el país.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.

Este Trabajo de Graduación se ha centrado en el análisis de las aceleraciones pico efectivas de la NTDS-94 a partir de una muestra de 98 registros (3 para el sismo del 19 de junio de 1982, 17 para el sismo del 10 de octubre de 1982, 48 para el sismo del 13 de enero de 2001 y 30 para el sismo del 13 de febrero de 2001) y con lo cual se ha llegado a las siguientes conclusiones:

✚ Se observó en cada uno de los sismos de estudio principalmente para perfiles de suelo S1 a medida que va aumentando la distancia epicentral las aceleraciones registradas van disminuyendo. Ahora bien en los perfiles de suelo S2 y S3 en algunos casos a pesar que su distancia epicentral es grande, se ha visto la influencia del suelo en la amplificación de las aceleraciones debido al efecto de sitio, lo que vuelve necesario tener estudios de suelos y de las características geológicas adecuados para tomar en cuenta estos efectos de sitio específicamente en la zona metropolitana de San Salvador y así utilizar factores que sea adecuen a las necesidades de los códigos sismorresistente y cumplir satisfactoriamente con sus objetivos.

✚ En las estaciones acelerográficas cuyo emplazamiento se encuentra en perfil de suelo S1 (Roca), los coeficientes de sitio cumplen adecuadamente, ya que las aceleraciones espectrales generadas para cada componente en los

sismos de estudio se encuentran por debajo de las del espectro de diseño de la NTDS-94, por lo que se concluye que los valores propuestos por dicha normativa son adecuados para ser utilizados en un diseño sismorresistente.

✚ Por el contrario en las estaciones acelerográficas cuyo emplazamiento se encuentra en perfiles de suelo S2 (suelos muy densos o compactos) y perfiles de suelo S3 (suelos cohesivos blandos, medianamente compactos o suelos no cohesivos sueltos) las aceleraciones espectrales generadas para cada componente en los sismos de estudio, en casos específicos como el sismo del 10 de octubre de 1982 y 13 de enero de 2001 han superado la barrera del espectro de diseño, lo que vuelve necesario estudiar adecuadamente los períodos fundamentales de suelo y los factores de amplificación por efecto de sitio para estos perfiles de suelo.

✚ Las aceleraciones pico efectivas calculadas como la media más la desviación estándar de los registros obtenidos en todas las estaciones acelerográficas se encuentran por debajo que las que se encuentran en la NTDS-94 tanto para las componentes horizontales Norte-Sur y Este-Oeste como para la componente vertical, por lo tanto el valor de aceleración pico efectivas o factor de zonificación sísmica que se encuentra en la NTDS-94 definido para

la zona sísmica 1 que es de 0.4 (392 cm/s^2) se puede considerar adecuado, pudiéndose utilizar en un diseño sismorresistente satisfactoriamente.

✚ El factor de zonificación sísmica o aceleración pico efectiva para la zona sísmica 2 definido como 0.3 (294 cm/s^2) en la NTDS-94 no ha podido evaluarse de manera profunda, pero al observar los valores calculados a partir de los datos registrados se encuentran muy por debajo del límite de diseño, lo que vuelve necesario realizar una revisión de éste ya que puede estar muy sobrado a la hora de ser utilizado en diseños sismorresistentes encareciendo considerablemente el valor de las edificaciones.

✚ Para el cálculo de espectros de diseño de aceleración para la componente vertical se determinó que puede reducirse a la mitad el valor de las aceleraciones espectrales de las componentes horizontales en contraste a la NTDS-94 que define que puede reducirse en las dos terceras partes ($2/3$) del valor de las aceleraciones espectrales de las componentes horizontales, pero por efecto de seguridad es correcto utilizar el factor de reducción normado.

✚ Los coeficientes de variación pueden considerarse como “no representativos” debido a la gran variación en los valores de aceleraciones

que se han dado (específicamente en el sismo de enero de 2001), esto no implica que los valores calculados sean erróneos ya que se ha considerado una envolvente de los valores de aceleraciones pico efectivas calculados para todos los sismos sin importar su fuente (ya sea regional o local) por lo cual se le esta aplicando un factor de seguridad a los valores de aceleraciones pico efectivas, lo que para un código de diseño sísmico es de suma importancia para evitar tanto daños materiales como pérdidas humanas.

✚ Al calcular un valor promedio de las aceleraciones pico efectivas y comparar los resultados entre sismos regionales y locales se obtienen datos muy semejantes, que supone que al momento de cualquier tipo de sismo no importa su fuente tiende a ser destructivo por igual, ahora si revisamos los datos históricos los sismos regionales han sido los que mayor magnitud han presentado, pero debido a que sus epicentros han sido mas lejanos y sus profundidades focales han sido mayores, estos si bien han presentado daños, no han sido (con excepción del sismo del 13 de enero de 2001) tan destructivos como los sismos locales que debido a las condiciones en la que se dan (Distancias epicentrales mas pequeñas y profundidades focales mas superficiales) y aun obteniendo un promedio menor de magnitudes han sido en general los que mayores daños y pérdidas han dejado en San Salvador y todo el país.

✚ Los daños mas graves provocados por el sismo del 10 de octubre de 1986 fueron producidos en edificaciones de concreto reforzado debido a que habían soportado los sismos previos del 5 de mayo de 1965 y el 19 de junio de 1982 no habían sido diseñados con una Normativa de Diseño Sismorresistente adecuado.

✚ Los daños mas graves provocados por los sismos del 13 de enero y 13 de febrero de 2001 fueron producidos en viviendas construidas de adobe y bahareque debido a que estas fueron construidas antes que se publicara la Norma Especial para el Diseño de Viviendas Especiales en 2003 por ende no fueron diseñadas considerando la seguridad ante sismos.

5.2. RECOMENDACIONES

- ✚ Ya que el Área Metropolitana de San Salvador es la zona donde se concentra la mayoría de construcciones relevantes y los daños son mayores se recomienda efectuar una Microzonificación Sísmica ya que es necesario evaluar los períodos fundamentales y la geología local y características del suelo. Aunque las aceleraciones pico efectivas se consideren que son adecuadas para ser utilizadas en el diseño sísmico de una edificación, los factores de amplificación por sitio, para los perfiles de suelo S2 y S3 son insuficientes para cumplir con los objetivos de los códigos de diseño sismorresistente.
- ✚ Es necesario tener registros de aceleraciones en los diferentes estratos del suelo, por lo tanto se recomienda aumentar los pozos a cielo abierto que tiene la Red de Movimiento Fuerte del país y así evaluar otras zonas del país no solamente el Área Metropolitana de San Salvador, si no también incluir registros del subsuelo en otras partes que han sido afectadas gravemente por sismos, como el departamento de San Miguel en la zona oriental del país y otros departamentos de la zona central como La Libertad y San Vicente ubicadas en las zona del graben central o fallas sísmicas locales.

✚ Debería de realizarse estudios mas detallados del perfil estratigráfico del suelo de las estaciones acelerográficas y conocer con mayor detalles las características geológicas local y características del suelo de cada estación para así tener un mayor registro de los emplazamientos de la zona para realizar futuros estudios de comportamiento de suelos versus efectos de sismo; estos estudios a la vez servirían para modificar los perfiles de suelo que se encuentran en la actual normativa por unos adecuados y actualizados que se acoplen a la realidad del país.

✚ Sería considerable evaluar si es necesario seguir utilizando un factor de zonificación sísmica tan elevado como el que propone la NTDS-94 para la zona 2 ya que es una zona de baja sismicidad.

REFERENCIAS

LIBROS.

1. A. Barbat y J. Canet, "Estructuras sometidas a acciones sísmicas: Cálculo por ordenador", Centro Internacional de Métodos Numéricos de Ingeniería, Segunda Edición, Barcelona, 1994.
2. Aguilar C.E. "Geología, Geografía de El Salvador" Dirección de publicaciones, Ministerio de cultura y comunicaciones, San Salvador, 1986.
3. Alvarez, Salvador de J., 1988. "Estado actual de la Red Sismológica de El Salvador, hasta enero de 1988. Centro de Investigaciones Geotécnicas, Departamento de Sismología, San Salvador, El Salvador.
4. Bommer J., Hernandez D.A., Navarrete J.A. y Salazar W.M. "Seismic Hazard Assessments for El Salvador", Geofísica Internacional, Vol 35, 1996.
5. C. Lomnitz, "Global Tectonics and Earthquake Risk", Elsevier Scientific Publishing Company, Ámsterdam, 1974.
6. C.F. Richter, "Elementary Seismology", Freeman, San Francisco, 1958.

7. E. Rosenblueth, "Characteristics of earthquakes", en Design of Earthquake Resistant Structures (E. Rosenblueth, editor) Halsted Press, 126, 1980.
8. Faccioli E., C. Battistella, P. Alemani y A. Tibaldi, "Seismic Microzoning Investigation in the Metropolitan Area of San Salvador, El Salvador, following the destructive Earthquake of October 10, 1986. Proceedings, International Seminar on Earthquake Engineering, Universitat Innsbruck, Austria, 1988.
9. N. M. Newmark, "A Method of computation for structural dynamics", Transactions, ASCE, 127, 1406-1435, 1962.
10. Singh S.K., Gutierrez C., Arboleda J. y Ordaz M. "Peligro Sísmico en El Salvador", Universidad Autónoma de México, México, 1993.
11. Schmidt-Thomé, M. "The geology in the San Salvador area (El Salvador, Central America): a basis for city development and planning. Geologisches Jahrburg, Hannover, Alemania, 1975.

REVISTAS, REPORTES Y MONOGRAFÍAS.

12. Aguiar R., 1998. "Acciones para el diseño sísmico de estructuras".
Monografías de Ingeniería Sísmica. Centro Internacional de Métodos Numéricos
de Ingeniería. Barcelona, España.

13. Alfaro C.S., Kiremidjian A.S. y White R.A. "Seismic Zoning and Ground
Motion Parameters for El Salvador", Report #93, The John A. Blume Earthquake
Engineering Center, Stanford University, California, 1990.

14. Algermissen S.T., Hansen S.L. y Thenhaus P.C. "Seismic Hazard evaluation
of San Salvador, El Salvador", Report of the U.S. agency for International
Development, 21 pp, 1988.

15. Atakan, K. y Torres, 1994 "Local site response in San Salvador, El
Salvador, based on the October 10, 1986 earthquake". Reduction of Disasters
in Central America Report No. 6, Inst. Sol. Earth Phys., University of Bergen.

16. D.E. Hudson "Some Problems in the application of spectrum techniques to
strong-motion earthquake analysis", Bulletin of the Seismological Society of
America, 52, 417-430, 1962.

17. Harlow D.H., White R.A., Rymer M.J. y Alvarez S. "The San Salvador Earthquake of 10 October 1986 and its Historical Context". Bulletin of the Seismological Society of America, Vol 83, #4, 1993.

18. Lindholm C., Rojas W., Bungum H., Dahle A., Camacho E., Cowan H. y Laporte M. "New Regional Seismic Zonation for Central América", proceedings, Fifth International Conference on Seismic Zonation, Nice, Vol. 1, 1995.

19. Martínez H., Maximiliano A. "Red de Telemetría Sísmica en El Salvador", Revista Asia, No 64, Abril 1981 pags. 26-32.

20. N. Newmark y W. J. Hall. "Seismic Design criteria for nuclear reactor facilities" 4th World Conference on Earthquakes Engineering, Santiago de Chile, 1969.

NORMATIVAS.

21. ASCE, Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, 2000, "Uniformación y comentarios para la rehabilitación sísmica de edificios", Federal Emergency Management Agency, FEMA-356, Virginia Estados Unidos.

22. ATC-40 "Seismic Evaluation and retrofit of concrete buildings", Applied Technology Council, Redwood City, California, 1996.

23. Ministerio de Obras Públicas, MOP, 1994, "Norma Técnica de Diseño por Sismo de la República de El Salvador, Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones", San Salvador El Salvador.

PAGINAS WEB.

24. Alvarenga E.R., Hernandez D.A. "Cronología de Sismos Destructivos en El Salvador", 2001 Pagina web del CIG. www.geotecnico.com.

25. Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) 2008, Vigilancia Sísmica. <http://www.snet.gob.sv/ver/sismologia/vigilancia>.

TESIS.

26. Kattan Jokisch, K. y Galdámez Fonseca, C., 2007, "Estudio de Respuesta de capas superficiales de suelo en el area metropolitana de San Salvador" Trabajo de Graduación, Universidad Centroamericana "Jose Simeon Cañas", San Salvador, El Salvador.

ANEXOS

ANEXO I.1. Escala de Intensidad Sísmica Rossi-Forel.

INTENSIDAD	SIGNIFICADO
I	<i>Sacudida microsísmica:</i> Se registra únicamente por un sismógrafo o por algunos sismógrafos del mismo tipo; el movimiento puede sentirlo un observador experimentado.
II	<i>Sacudida extremadamente débil:</i> Lo registran diferentes tipos de sismógrafos; se siente por un pequeño grupo de personas que se encuentran descansando.
III	<i>Sacudida muy débil:</i> lo sienten varias personas que se encuentran descansando; es lo suficientemente fuerte para que la duración o dirección se pueda apreciar.
IV	<i>Sacudida débil:</i> lo sienten las personas que se encuentran en movimiento; los objetos móviles que no se encuentran sujetos cambian de posición, como ventanas y puertas; se agrietan los revestimientos de los techos.
V	<i>Sacudida de intensidad moderada:</i> generalmente lo sienten todas las personas; se mueven muebles grandes y camas, suenan algunas campanas.
VI	<i>Sacudida ligeramente fuerte:</i> generalmente las personas que se encuentran durmiendo se despiertan; las campanas suenan; oscilan los candelabros; se detienen los relojes; es notorio el movimiento de los árboles y arbustos. Algunas personas se asustan y salen de sus hogares
VII	<i>Sacudida fuerte:</i> los objetos móviles pueden caerse; el yeso de las paredes se cae; suenan las campanas de las iglesias, se genera un panico general, sin daño en los edificios.
VIII	<i>Sacudida muy fuerte:</i> las chimeneas se caen y se agrietan las paredes de los edificios.
IX	<i>Sacudida extremadamente fuerte:</i> algunos edificios pueden destruirse parcial o totalmente.
X	<i>Sacudida de intensidad extrema:</i> ocurre el desastre, solo quedan ruinas, se mueven los estratos del suelo, pueden observarse grietas en la superficie; las rocas de las montañas se caen.

ANEXO 1.2. Escala de Intensidad Sísmica de Geofian.

INTENSIDAD	Xo (mm)	SIGNIFICADO
I	-	Las oscilaciones del terreno se detectan con instrumentos.
II	-	En algunos casos individuales, las personas muy sensibles en descanso lo perciben.
III	-	Algunas personas sienten balanceos.
IV	< 0.5	Se percibe por muchas personas. Las ventanas y las puertas se sacuden.
V	0.5-1.0	Los objetos se balancean, los pisos rechinan, vibran los cristales, el yeso exterior se desmorona.
VI	1.1-2.0	Los edificios sufren ligeros daños como: grietas delgadas en el yeso, grietas en baldosas, etc.
VII	2.1-4.0	Los edificios sufren daños considerables como: grietas delgadas en el yeso y desprendimiento total de algunas piezas individuales; grietas delgadas en los muros.
VIII	4.1-8.0	Destrucción dentro de los edificios: grietas grandes en los muros, caída de cornisas o chimeneas.
IX	8.1-16.0	Colapso de algunos edificios; destrucción de muros azoteas o pisos.
X	16.1-32.0	Colapso de muchos edificios; fisuras en el terreno con aberturas de hasta un metro
XI	> 32.0	Numerosas fisuras en la superficie de la tierra y grandes deslizamientos en las montañas.
XII	-	Grandes cambios en el paisaje.

ANEXO I.3. Escala de Intensidad Sísmica MSK.

INTENSIDAD	SIGNIFICADO
I	No apreciable. La intensidad de la vibraciones esta bajo el nivel del limite de la sensibilidad; solo puede ser detectado por sismógrafos.
II	Escasamente apreciable. Las vibraciones solo la sienten las personas individuales en descanso y en casa, especialmente en pisos superiores de edificios.
III	Débil. Solo se aprecia parcialmente. En los interiores lo perciben algunas personas. En el exterior se percibe solo en circunstancias favorables. Las vibraciones se parecen al paso de un camión pequeño. Algunas personas pueden observar el balanceo de un objeto.
IV	Observado fuertemente. El sismo se siente en el interior por mucha gente y en el exterior por algunos. Las personas se despiertan pero no se asustan. Las vibraciones son parecidas al paso de un camión grande. Las ventanas, puertas y platos se sacuden. Los pisos y muros crujen. Los muebles empiezan a moverse. Los objetos que cuelgan se balancean ligeramente. En los autos con motor apagado es posible percibirlo.
V	Despertarse. El sismo se siente en el interior por todos y en el exterior por muchos. Mucha gente se despierta. Los animales se ponen intranquilos. Los objetos que cuelgan se balancean considerablemente. Los cuadros chocan contra la pared. Los líquidos salpican. La sensación del movimiento es como si cayera un objeto pesado. Los edificios del tipo A, sufre un daño de grado I. Algunas veces las corrientes cambian de flujo.
VI	Aterrador. Todas las personas lo perciben en el interior y el exterior. Mucha gente se asusta y sale del edificio. Algunas personas pierden el equilibrio. Los animales huyen de los establos. Algunas veces los platos y los cristales se rompen y los libros se caen. Muebles pesados pueden moverse. Los campanarios pueden llegar a sonar. Algunos edificios aislados del tipo B y muchos edificios del tipo A, suelen sufrir un daño de grado I. En algunos casos el grosor de las grietas en suelo húmedo pueden superar el centímetro.
VII	Daño en edificios. Mucha gente se asusta y sale de los edificios. Mucha gente tiene dificultades para mantenerse en pie. Muchos edificios del tipo C dufre un daño grado I, muchos edificios del tipo B sufren un daño de grado 2. Muchos edificios del tipo A sufren un daño de grado 3 y algunos de grado 4. Grietas en los caminos y las tuberías se dañan en las uniones. Grietas en los muros de piedra. Se forman ondas en el agua y se enturbia el agua con la tierra del fondo.
VIII	Destrucción de los edificios. Se produce terror u pánico en toda la gente. Las personas conduciendo un auto, pueden perder el control. Los muebles pesados pueden llegar a caerse. Las lámparas con el balanceo pueden llegar a dañarse. Muchos edificios del tipo C sufren

	daños del grado 2, algunos del grado 3. Muchos edificios del tipo B, sufren daños del grado 3 y muchos del tipo A sufren daños de grado 4. Algunos monumentos se mueven e inclinan. Se producen grietas de varios centímetros en las carreteras. El agua de los lagos se enturbia. En muchos casos cambia el flujo de los ríos.
IX	Daño general en los edificios. Pánico general, considerable daño en los muebles. Los animales huyen desorientados. Muchos edificios del tipo C sufren daños de grado 3 y algunos de grado 4. Muchos edificios del tipo B muestran daños del grado 4 y algunos del 5. Muchos edificios del tipo S sufren daños del tipo 5. Los monumentos y columnas se caen. Se producen daños considerables en las presas. Las tuberías se dañan considerablemente. Las líneas del ferrocarril se pueden doblar. El agua se enturbia totalmente, observando la tierra y fango del fondo de los lagos. Grietas superiores a 10 cm en las carreteras. Se caen rocas y se producen grandes deslizamientos.
X	Destrucción general de los edificios. Muchos de los edificios de tipo C sufren daños del grado 4, algunos grado 5. muchos edificios del tipo B sufren daños de grado 5; la mayoría de los edificios del tipo A, sufren destrucción total. Daño crítico en presas y diques y daño severo en puentes. El asfalto y pavimentos muestran ondas. En el terreno, se producen grietas considerables en algunos casos hasta de 1 m. Los deslizamientos son considerables.
XI	Catastrofe. Severo daño en edificios bien construidos, puentes presas y líneas de ferrocarril; las autopistas quedan inservibles, las tuberías se destruyen completamente. El terreno cambia considerablemente con grietas y fisuras muy grandes.
XII	Cambios en el paisaje, prácticamente todas las estructuras enterradas y en la superficie se dañan o destruyen. Se observan grietas considerables con extensiones horizontales y verticales.

ANEXO I.4. Escala de Macrosísmica Europea EMS-98.

INTENSIDAD	SIGNIFICADO
I	No se percibe, aun en las circunstancias más favorables. No provoca daños.
II	Se percibe escasamente, principalmente en interiores. No provoca daños.
III	Débil. Se percibe en interiores por pocas personas sintiendo un ligero temblor. Mueve objetos ligeramente sin provocar daños.
IV	Observado por muchos. Lo percibe mucha gente en interiores y pocos en el exterior. Algunas personas se despiertan. El nivel de vibraciones no es alarmante. Las personas sienten un ligero vaivén de los edificios, habitaciones, camas o sillas. No provoca daños.
V	Fuerte. Se siente por todos en los interiores y pocos en el exterior. Muchos se despiertan. Las personas sienten un fuerte movimiento o vaivén del edificio, de la habitación o de los muebles. Los objetos se mueven considerablemente.
VI	Daños ligeros. Se siente por todas las personas en el interior y en el exterior. Las personas pierden su estabilidad. Los objetos pequeños caen y algunos muebles pueden levantarse. Los animales se asustan.
VII	Daños. Se siente dificultad para permanecer de pie, especialmente en los pisos superiores. Los muebles se levantan y se caen. El agua de los contenedores se salpica.
VIII	Daño fuerte. Todas las personas encuentran dificultad para permanecer de pie. Los muebles pueden caerse. Los televisores y computadoras caen al suelo. Las lapidas se mueven ocasionalmente. Se pueden ver ondas en el suelo muy suaves.
IX	Destruyivo. Las personas son lanzadas fuertemente al suelo. Muchos monumentos o columnas caen o se doblan. Se observan ondas en el terreno.
X	Muy destruyivo.
XI	Devastador.
XII	Completamente devastador.

ANEXO 1.5. Características generales de las estaciones acelerográficas.

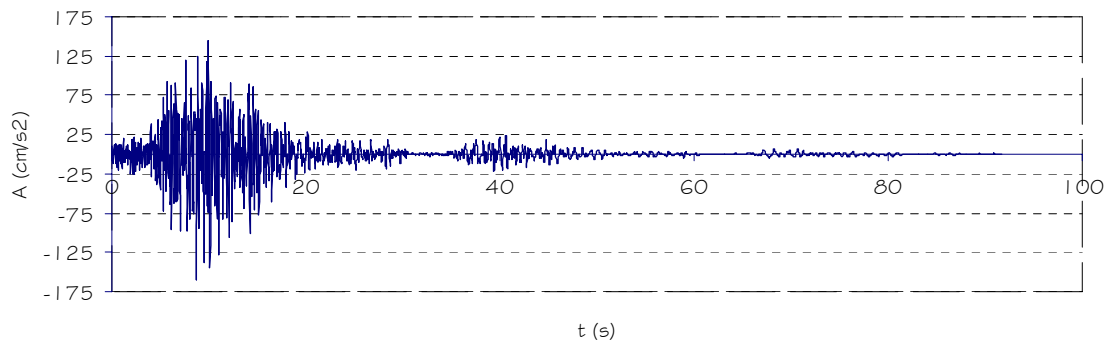
DR (Duración del Registro), DE (Distancia epicentral), A (Factor de zonificación sísmica o aceleración pico efectiva), C_0 y T_0 (Coeficientes de sitio)

Sismo	Estacion	DR (s)	DE (Km)	A	C_0	T_0
19/06/1982	OB	91.65	80.00	392	3.0	0.6
10/10/1986	CIG	9.01	18.00	392	2.75	0.5
	HCR	21.90	15.00	392	3.0	0.6
	HSH	22.80	20.00	392	2.75	0.5
	IGN	20.24	30.00	392	3.0	0.6
	IVU	11.52	30.00	392	3.0	0.6
	UCA	22.61	25.00	392	2.75	0.5
13/01/2001	CA	24.64	139.42	392	2.5	0.3
	AH	24.94	157.36	392	3.0	0.6
	CM	7.28	165.8	294	2.5	0.3
	DB	28.14	92.43	392	3.0	0.6
	CU	31.62	96.63	392	3.0	0.6
	OB	30.38	91.0	392	3.0	0.6
	RF	31.62	95.63	392	2.75	0.5
	RS	31.62	95.63	392	3.0	0.6
	MG	28.06	69.95	392	2.75	0.5
	SA	21.48	142.0	392	3.0	0.6
	ST	31.16	98.00	392	3.0	0.6
	SM	37.18	52.60	392	3.0	0.6
	SS	32.72	94.90	392	3.0	0.6
	SE	25.86	90.50	392	2.5	0.3
	VS	3.06	96.90	392	2.5	0.3
QC	33.9	93.90	392	2.5	0.3	
13/02/2001	CI	24.94	13.6	392	2.5	0.3
	DB	30.7	12.4	392	3.0	0.6
	OB	30.74	13.7	392	3.0	0.6
	RF	25.0	19.3	392	2.75	0.5
	RS	25.0	19.3	392	3.0	0.6
	ST	25.0	22.4	392	3.0	0.6
	SS	28.63	18.5	392	3.0	0.6
	UC	30.39	19.5	392	3.0	0.6
	QC	19.27	17.4	392	3.0	0.6

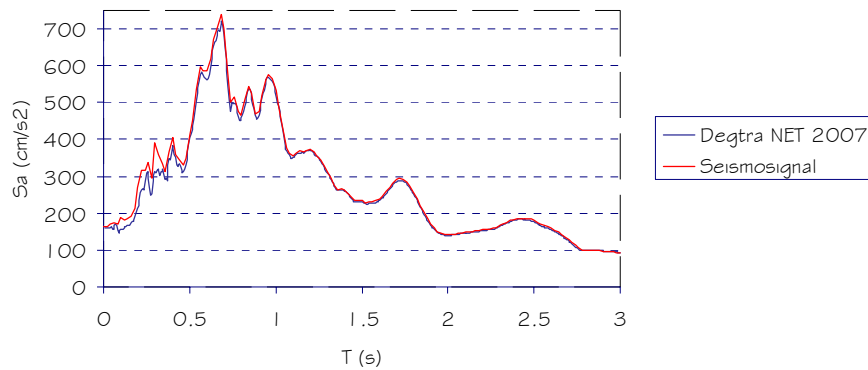
ANEXO I.6. ACELEROGRAMAS, ESPECTROS DE RESPUESTA Y COMPRARACION
 GRAFICA ENTRE ESPECTROS DE DISEÑO DE LA NTDS-94 Y ESPECTROS DE
 RESPUESTA PARA EL SISMO DEL 19 DE JUNIO DE 1982.

ANEXO I.6.1. Estación acelerografica "Observatorio CIG". Componente Norte-Sur.

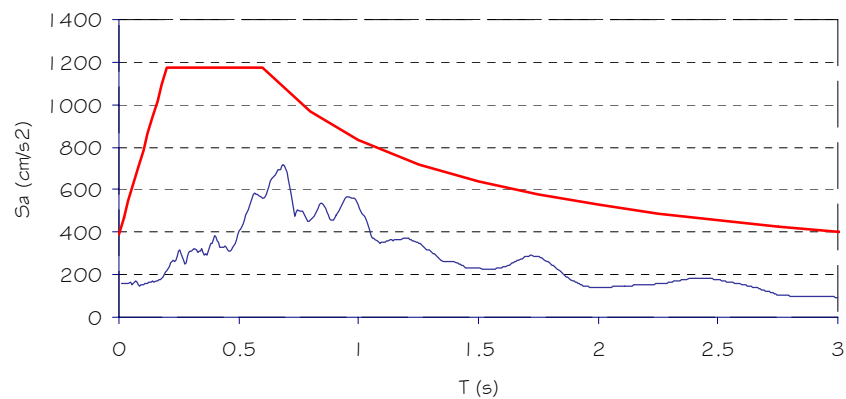
E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
 Acelerograma Componente horizontal N-S



E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
 COMPONENTE HORIZONTAL N-S
 Comparacion entre Degtra Net 2007 y Seismosignal

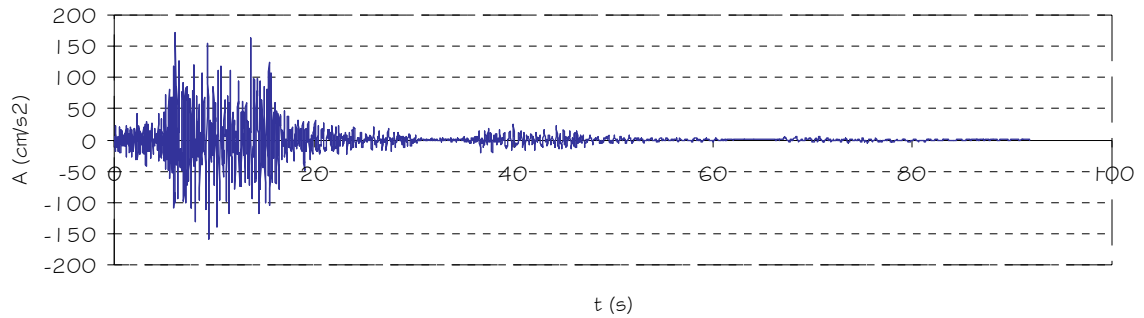


E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
 COMPONENTE HORIZONTAL N-S

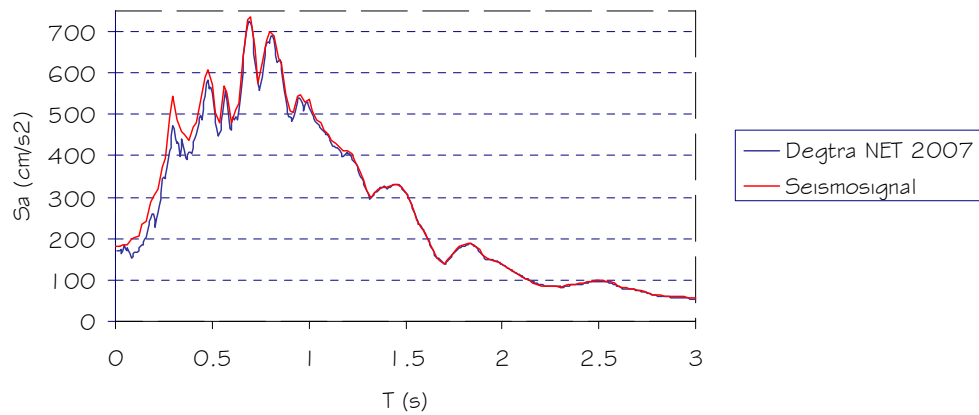


ANEXO 1.6.2. Estación acelerografica "Observatorio CIG". Componente Este-Oeste.

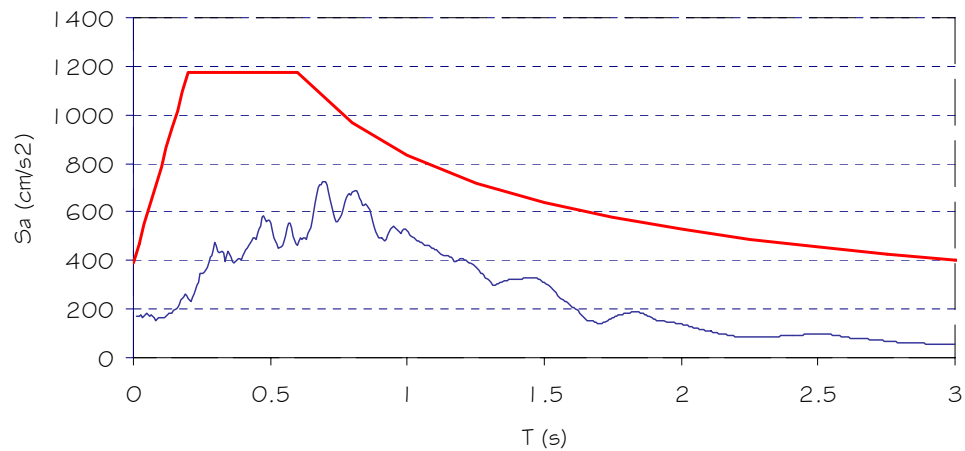
E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O
Comparacion entre Degtra Net 2007 y Seismosignal

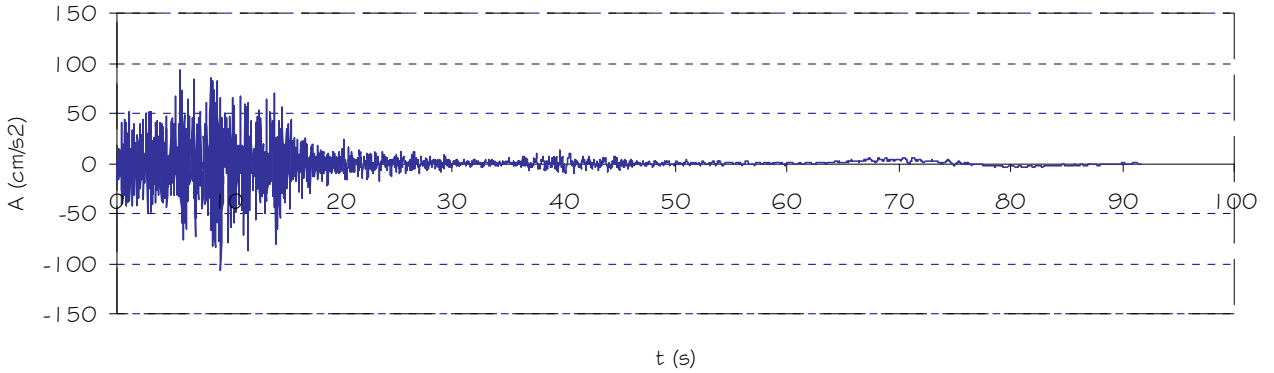


E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

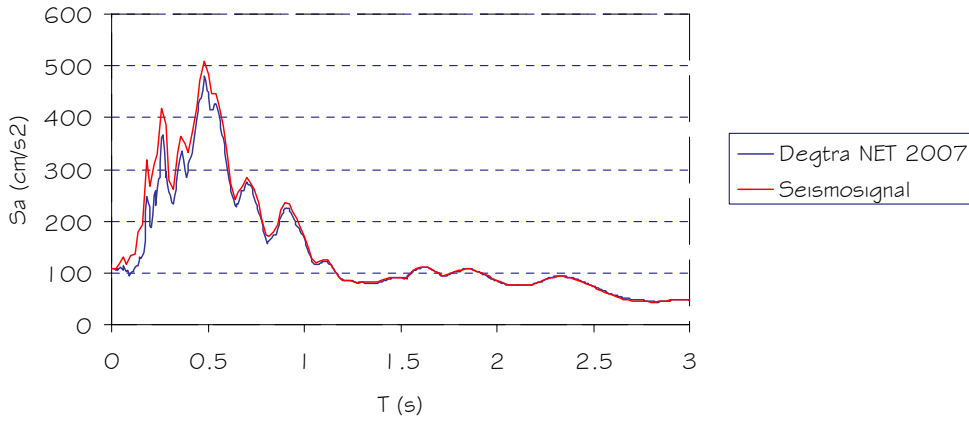


ANEXO I.6.3. Estación acelerografica "Observatorio CIG". Componente Vertical

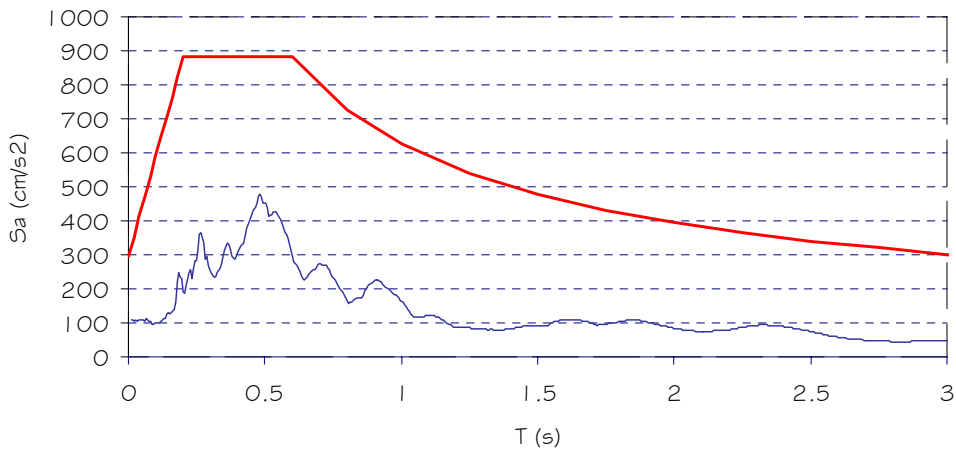
E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
COMPONENTE VERTICAL
Comparacion entre Degtra Net 2007 y Seismosignal



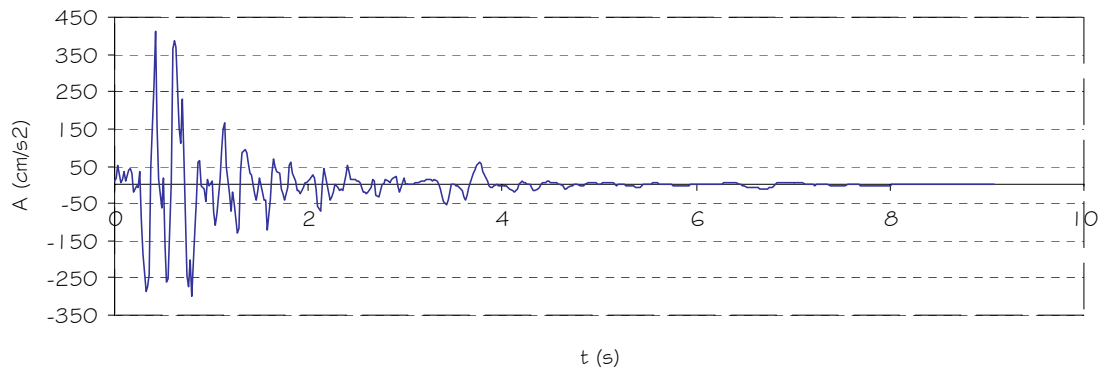
E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
COMPONENTE VERTICAL



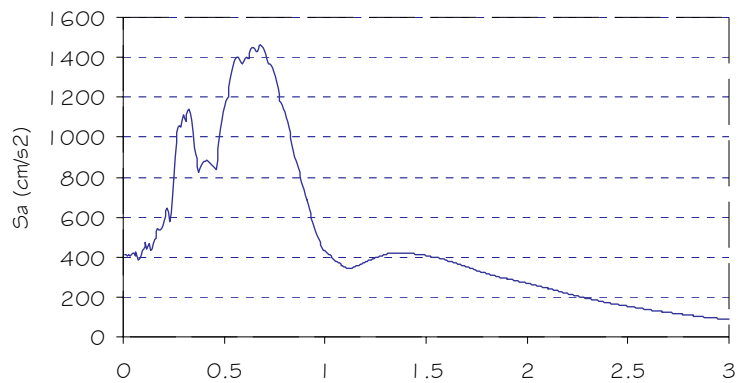
ANEXO I.7. ACELEROGRAMAS, ESPECTROS DE RESPUESTA Y COMPRARACION
 GRAFICA ENTRE ESPECTROS DE DISEÑO DE LA NTDS-94 Y ESPECTROS DE
 RESPUESTA PARA EL SISMO DEL 10 DE OCTUBRE DE 1986.

ANEXO I.7.1. Estación acelerografica "Centro de Investigaciones Geotécnicas CIG".
 Componente Horizontal Norte-Sur

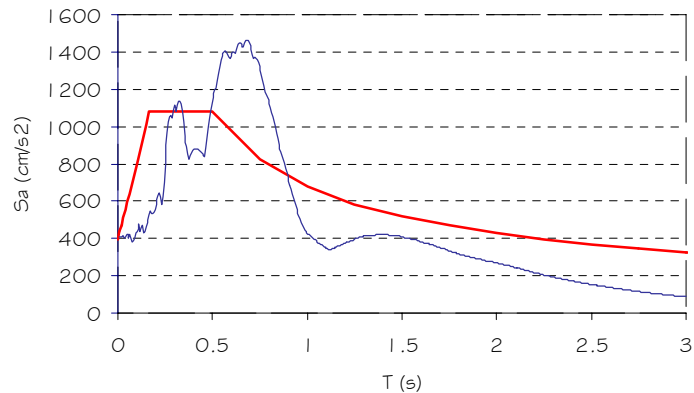
E.A. CIG (CIG)
 Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. CIG (CIG)
 COMPONENTE HORIZONTAL NORTE-SUR

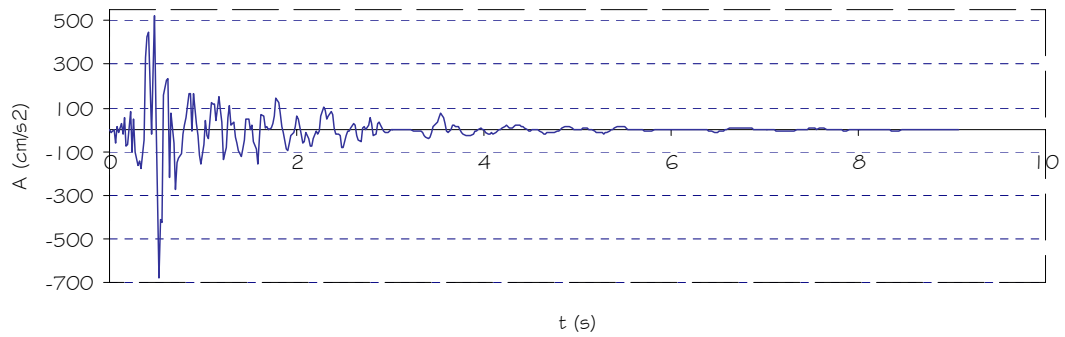


E.A. CIG (CIG)
 COMPONENTE HORIZONTAL NORTE-SUR

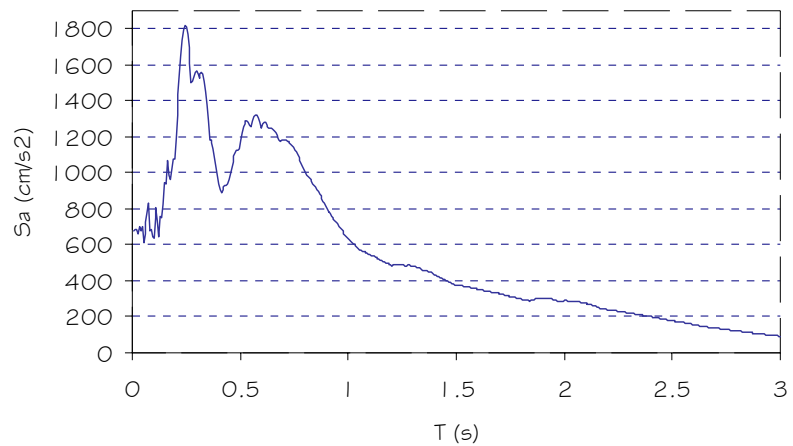


ANEXO 1.7.2. Estación acelerografica "Centro de Investigaciones Geotécnicas CIG".
Componente Horizontal Este-Oeste.

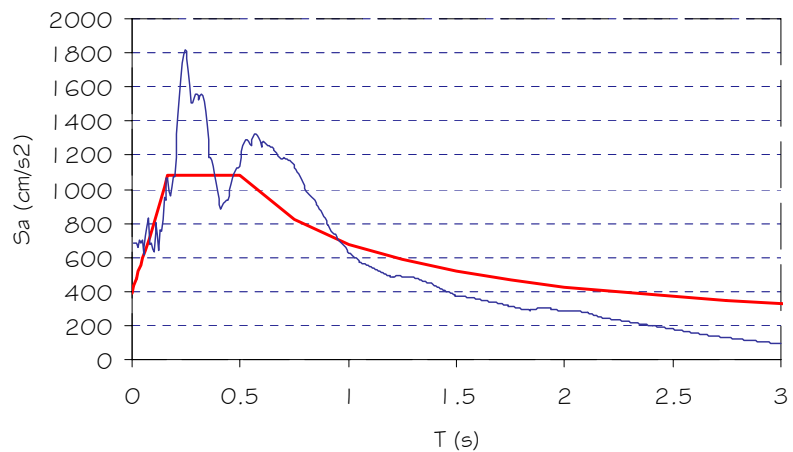
E.A. CIG (CIG)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. CIG (CIG)
COMPONENTE HORIZONTAL ESTE-OESTE

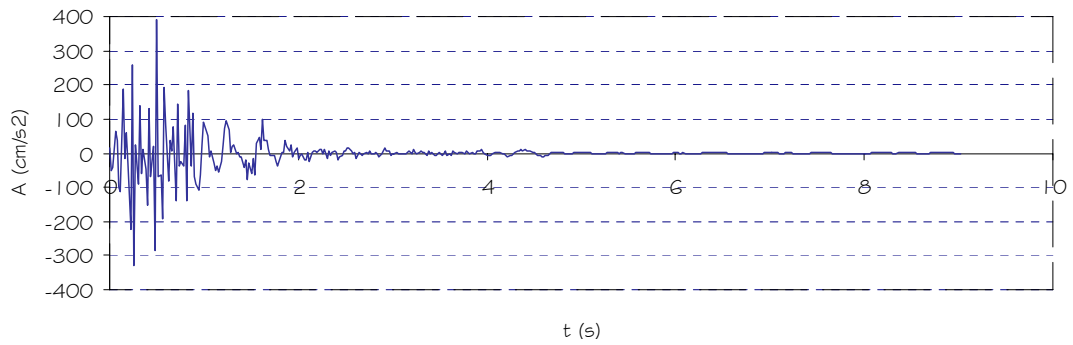


E.A. CIG (CIG)
COMPONENTE HORIZONTAL ESTE-OESTE

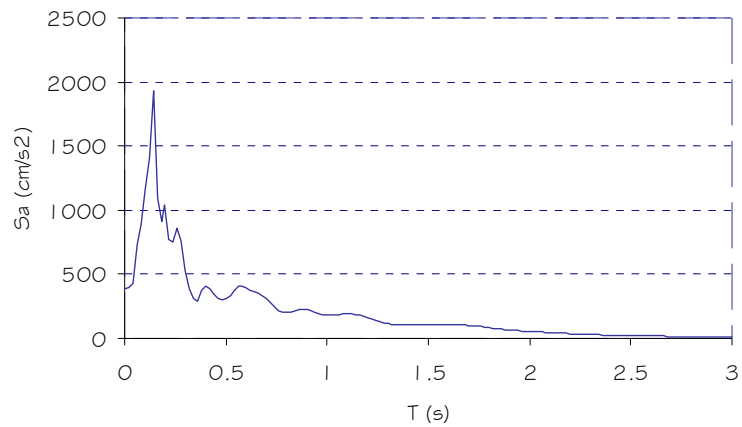


ANEXO 1.7.3. Estación acelerografica "Centro de Investigaciones Geotécnicas CIG".
Componente Vertical.

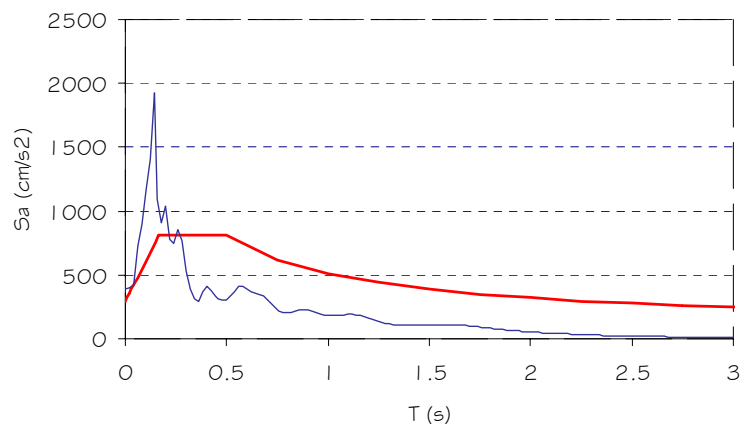
E.A. CIG (CIG)
Acelerrograma Componente Vertical



E.A. CIG (CIG)
COMPONENTE VERTICAL



E.A. CIG (CIG)
COMPONENTE VERTICAL

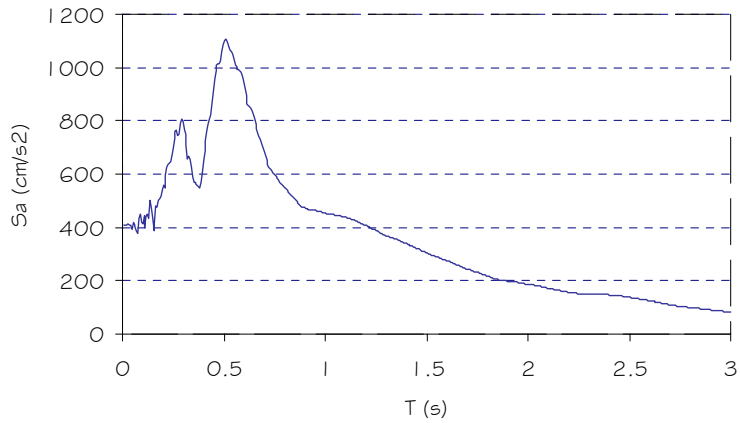


ANEXO I.7.4. Estación acelerográfica "Hotel Camino Real".
Componente Horizontal Norte-Sur.

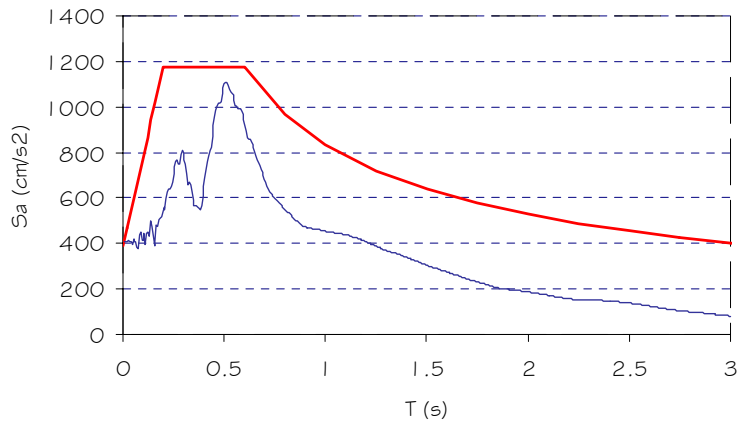
E.A. HOTEL CAMINO REAL (HCR)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. HOTEL CAMINO REAL (HCR)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

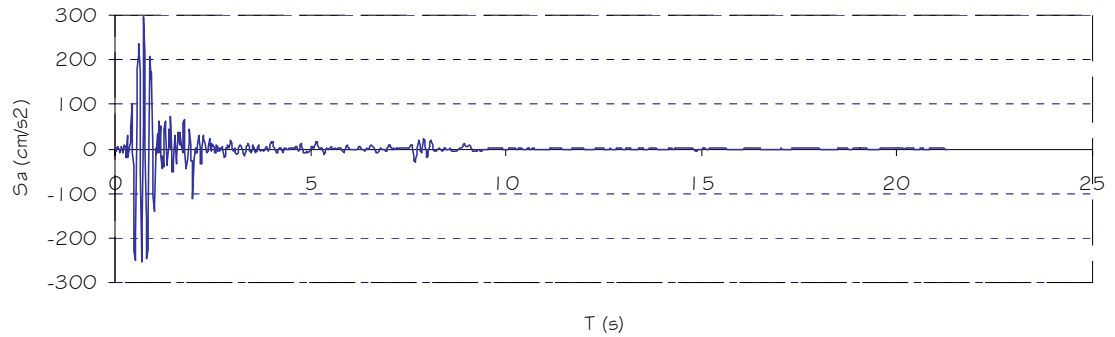


E.A. HOTEL CAMINO REAL (HCR)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

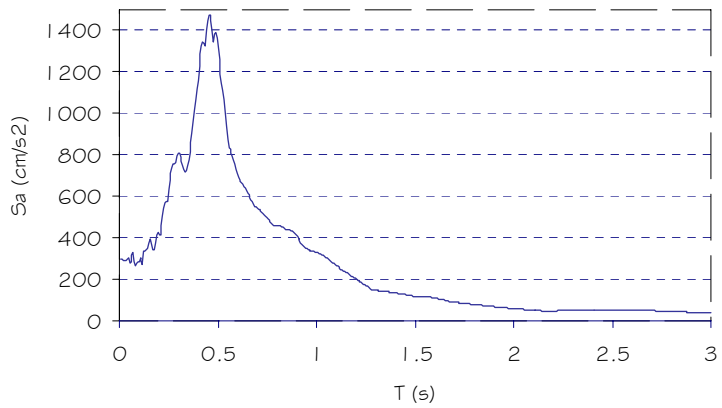


ANEXO I.7.5. Estación acelerográfica "Hotel Camino Real".
Componente Horizontal Este-Oeste.

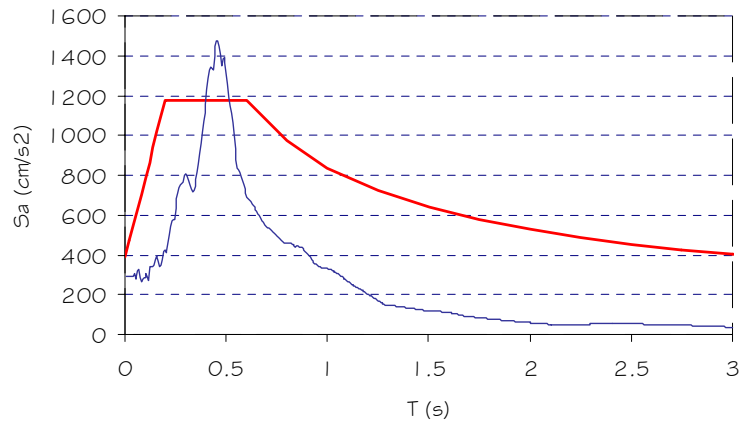
E.A. HOTEL CAMINO REAL (HCR)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. HOTEL CAMINO REAL (HCR)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

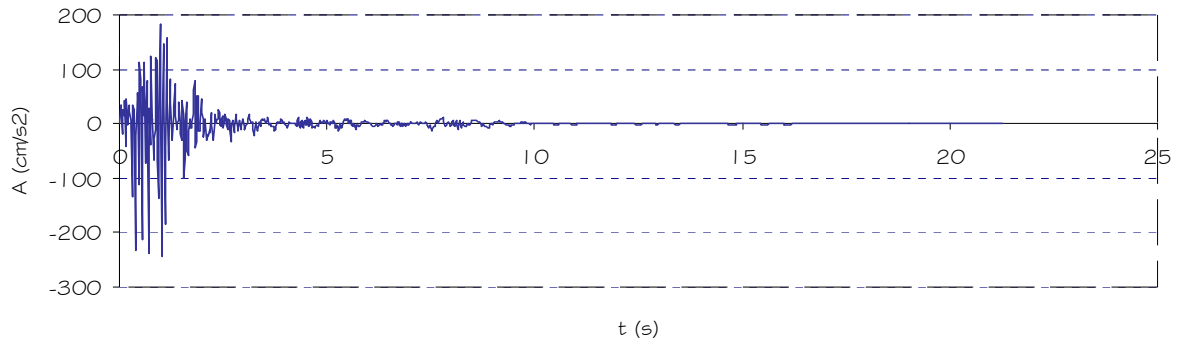


E.A. HOTEL CAMINO REAL (HCR)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

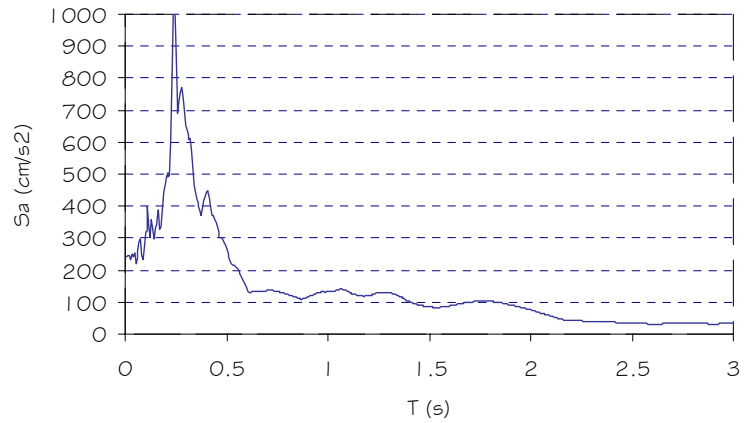


ANEXO 1.7.6. Estación acelerográfica "Hotel Camino Real".
Componente Vertical.

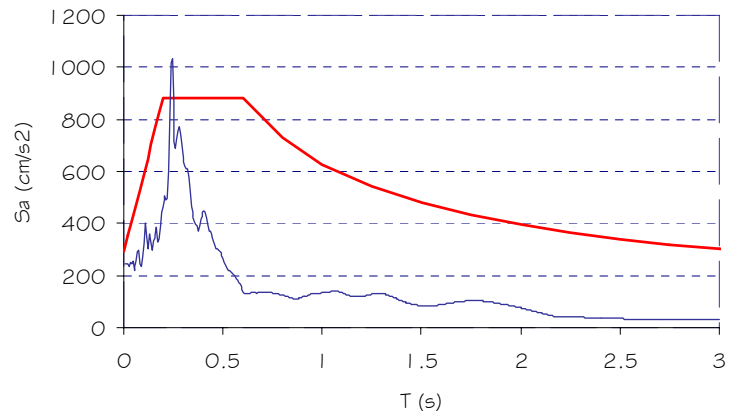
E.A. HOTEL CAMINO REAL (HCR)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. HOTEL CAMINO REAL (HCR)
COMPONENTE VERTICAL

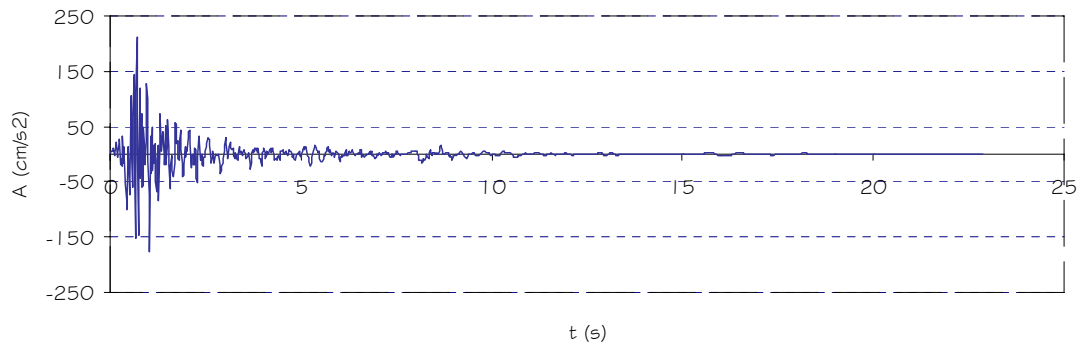


E.A. HOTEL CAMINO REAL (HCR)
COMPONENTE VERTICAL

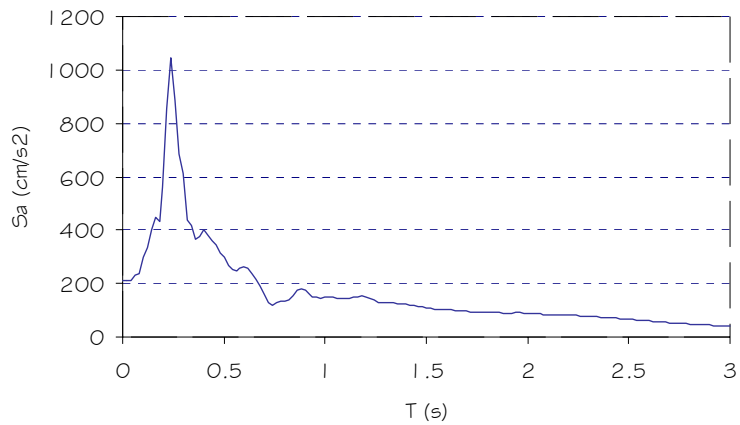


ANEXO I.7.7. Estación acelerográfica "Hotel Sheraton".
Componente Horizontal Norte- Sur.

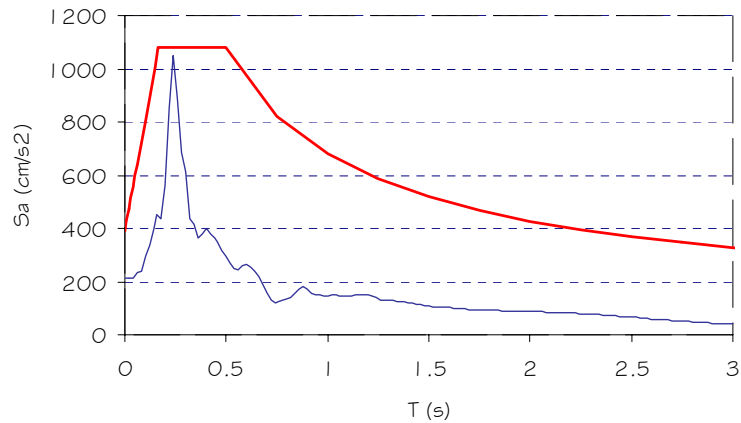
E.A. HOTEL SHERATON (HSH)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



COMPONENTE HORIZONTAL N-S

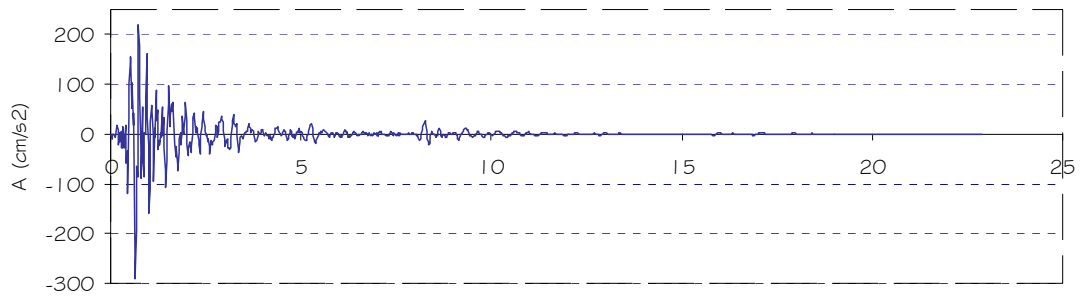


E.A. HOTEL SHERATON (HSH)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

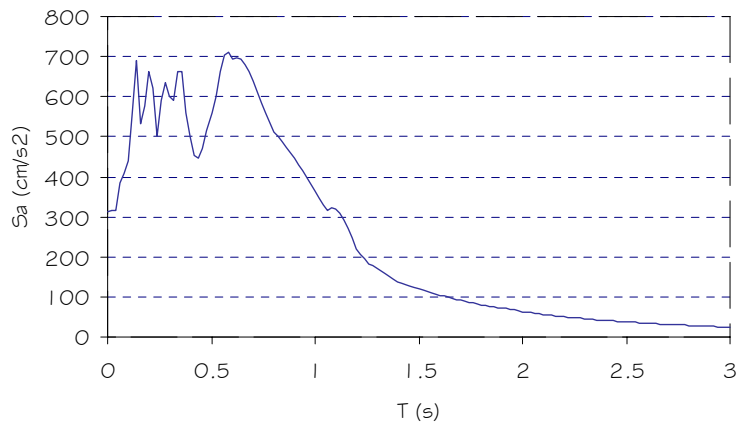


ANEXO 1.7.8. Estación acelerográfica "Hotel Sheraton".
Componente Horizontal Este-Oeste.

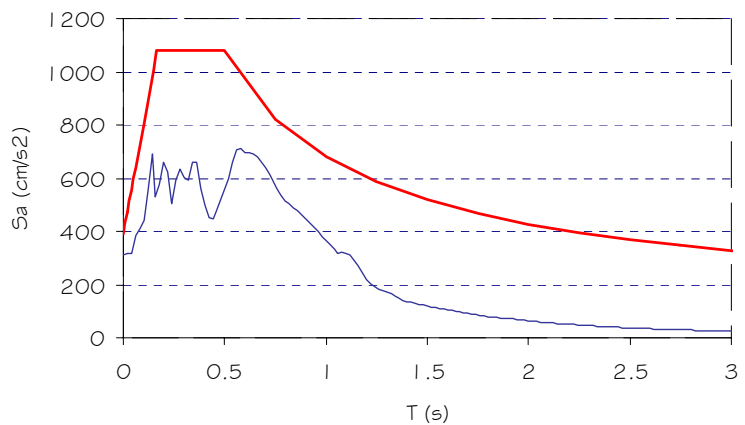
E.A. HOTEL SHERATON (HSH)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. HOTEL SHERATON (HSH)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

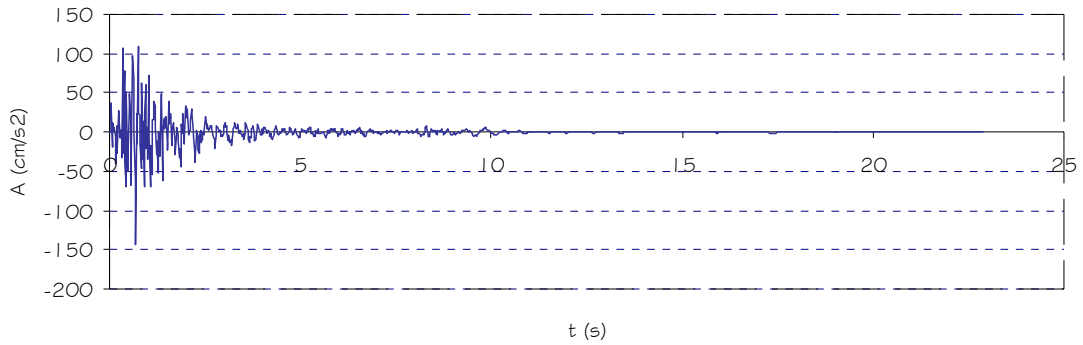


E.A. HOTEL SHERATON (HSH)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

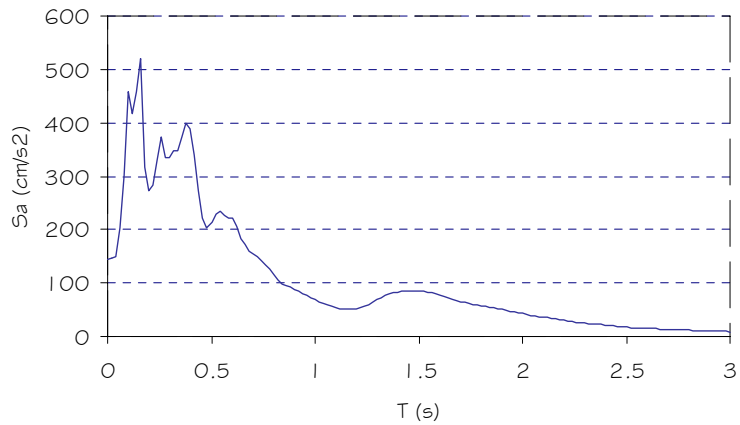


ANEXO 1.7.9. Estación acelerográfica "Hotel Sheraton".
Componente Vertical.

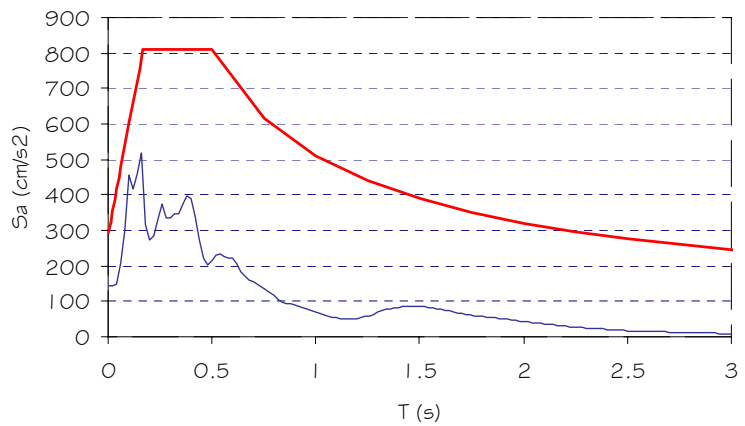
E.A. HOTEL SHERATON (HSH)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. HOTEL SHERATON (HSH)
COMPONENTE VERTICAL

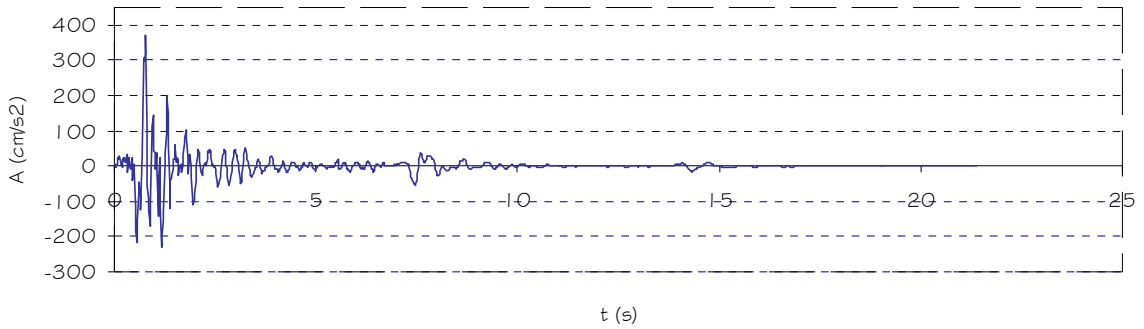


E.A. HOTEL SHERATON (HSH)
COMPONENTE VERTICAL

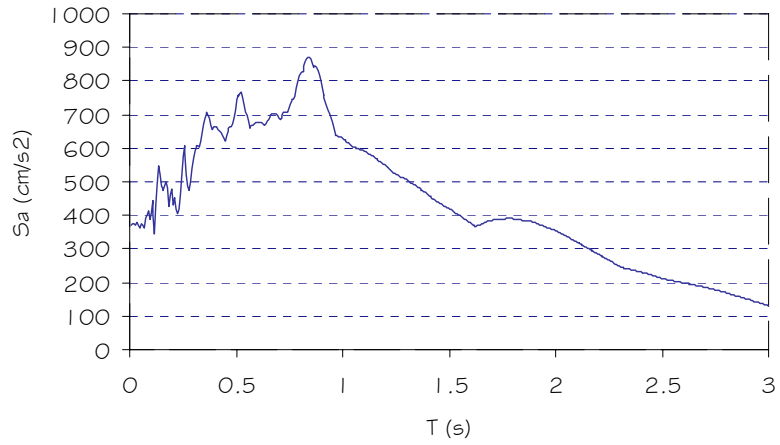


ANEXO 1.7.10. Estación acelerográfica "Instituto Geográfico Nacional".
Componente Horizontal Norte-Sur.

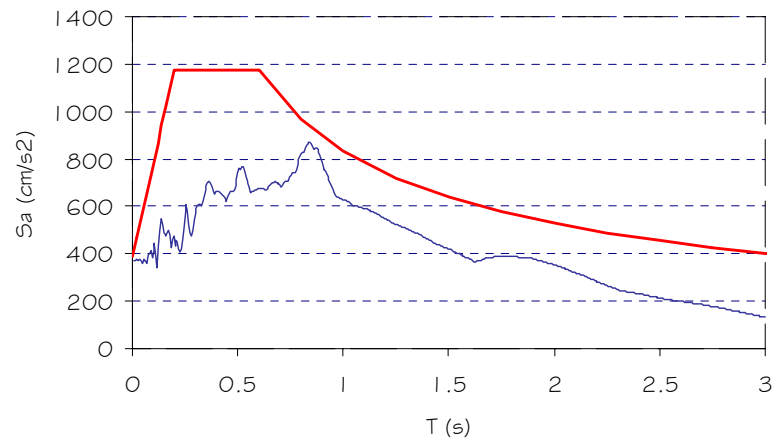
E.A. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL (IGN)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL (IGN)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

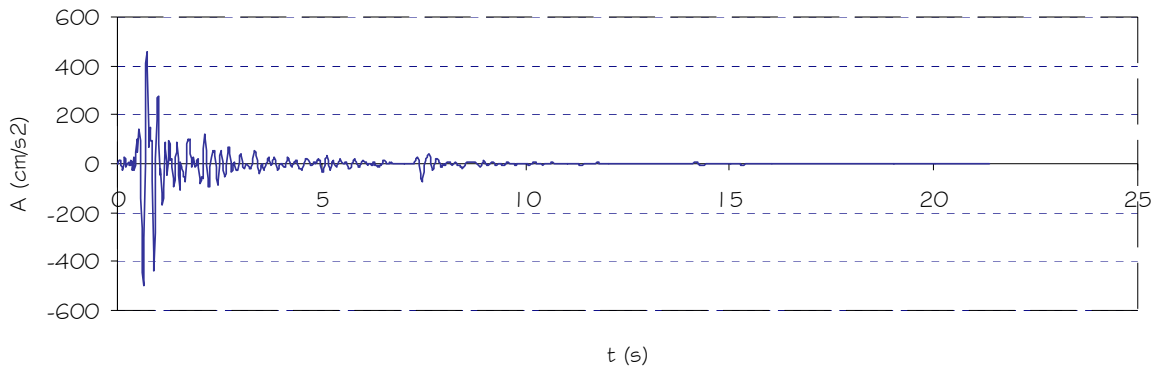


E.A. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL (IGN)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

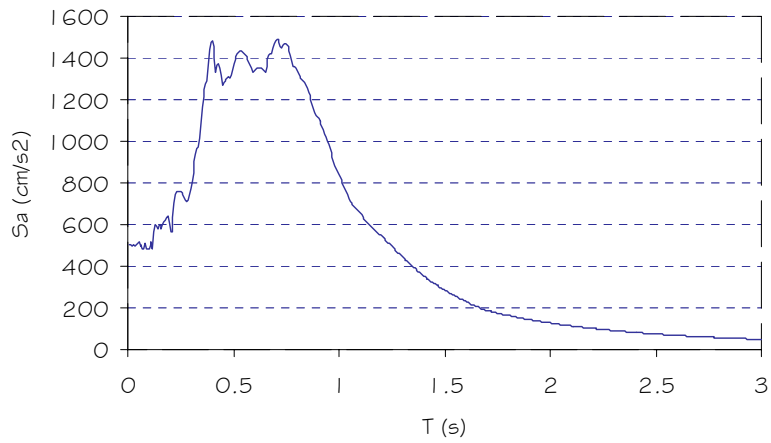


ANEXO 1.7.11. Estación acelerográfica "Instituto Geográfico Nacional".
Componente Horizontal Este-Oeste.

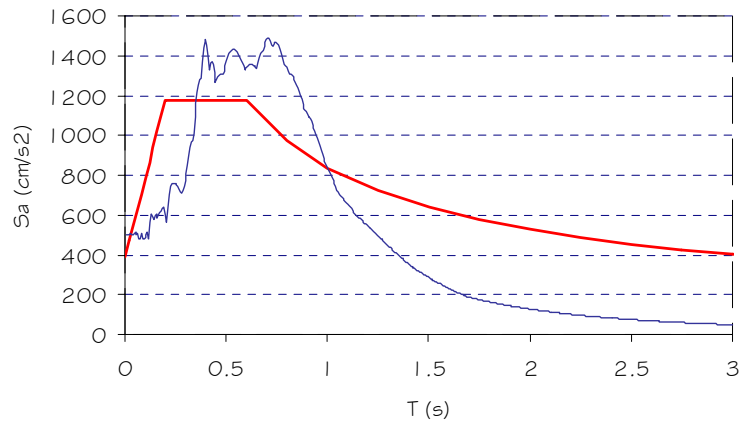
E.A. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL (IGN)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL (IGN)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

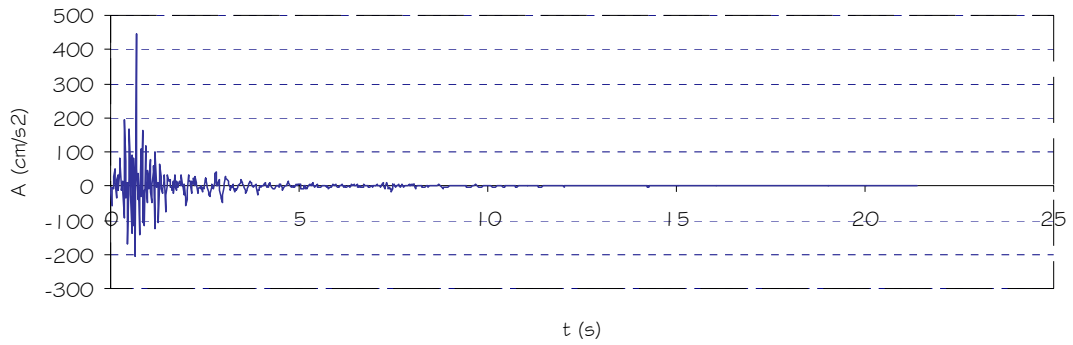


E.A. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL (IGN)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

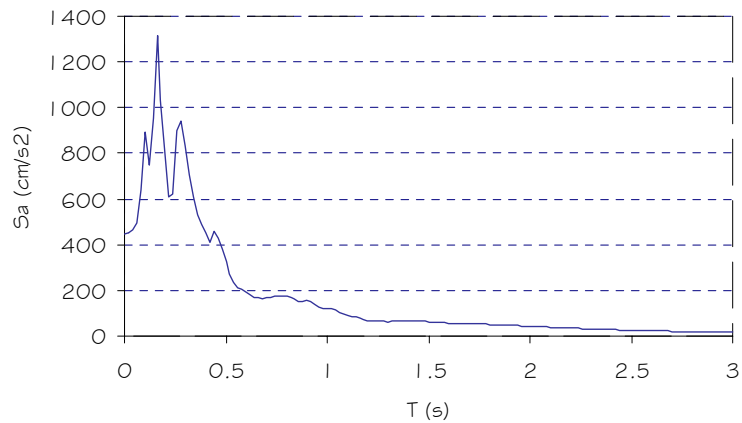


ANEXO 1.7.12. Estación acelerográfica "Instituto Geográfico Nacional".
Componente Vertical.

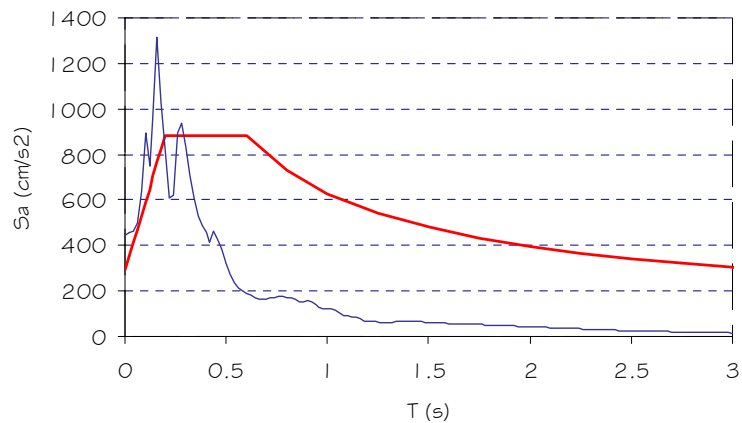
E.A. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL (IGN)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL (IGN)
COMPONENTE VERTICAL

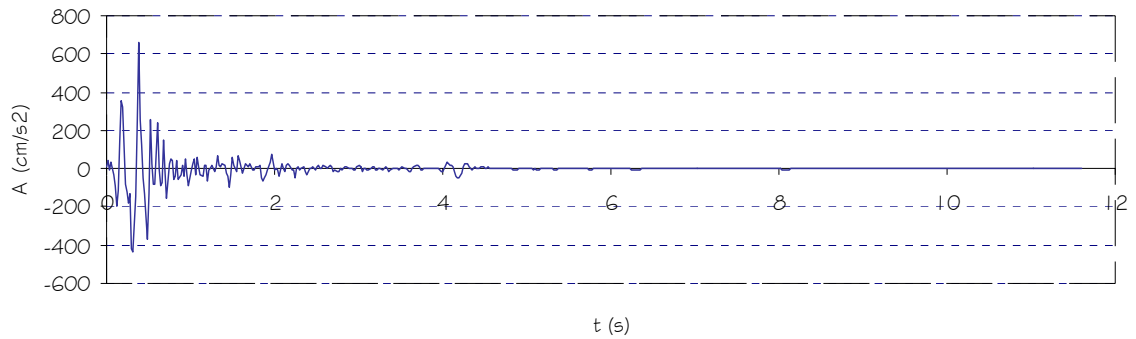


E.A. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL (IGN)
COMPONENTE VERTICAL

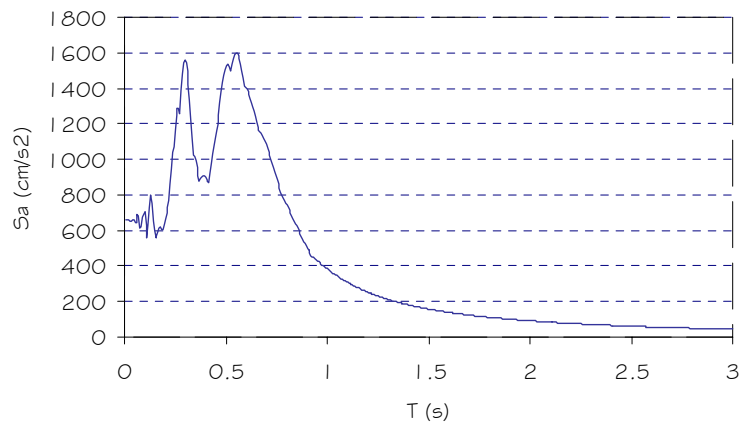


ANEXO 1.7.13. Estación acelerográfica "Instituto Vivienda Urbana".
Componente Horizontal Norte-Sur.

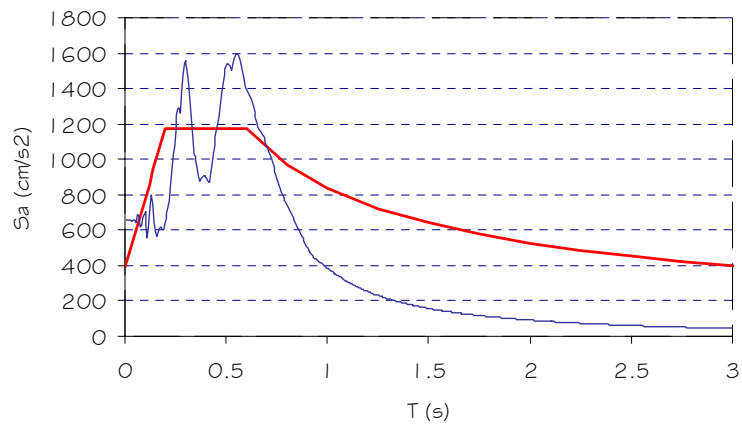
E.A. INSTITUTO VIVIENDA URBANA (IVU)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. INSTITUTO VIVIENDA URBANA (IVU)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

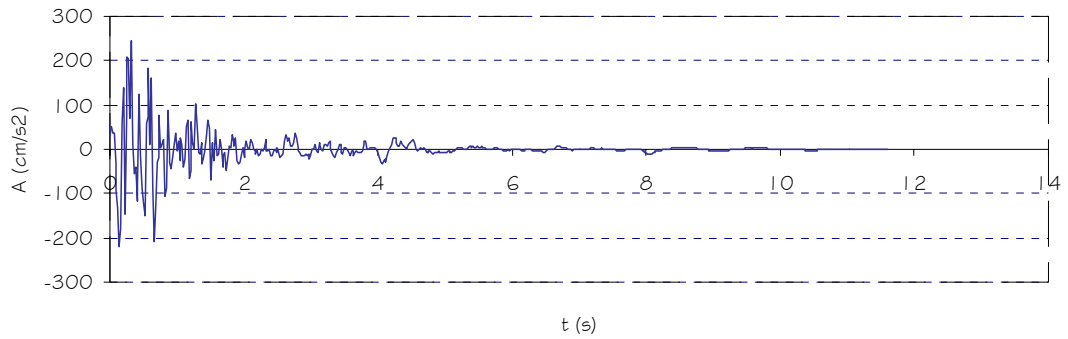


E.A. INSTITUTO VIVIENDA URBANA (IVU)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

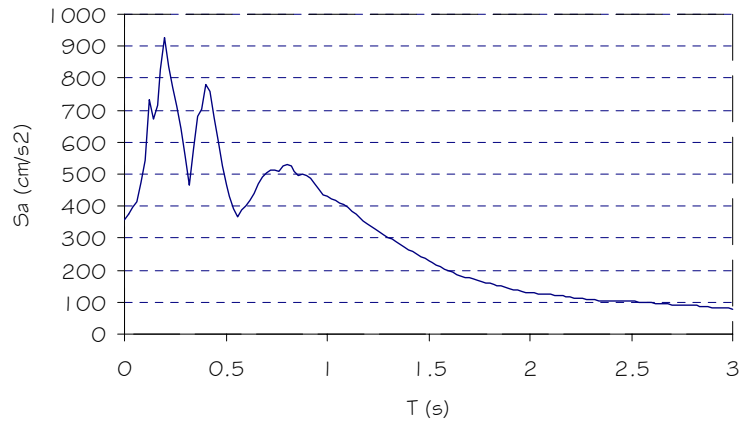


ANEXO 1.7.14. Estación acelerográfica "Instituto Vivienda Urbana".
Componente Horizontal Este-Oeste.

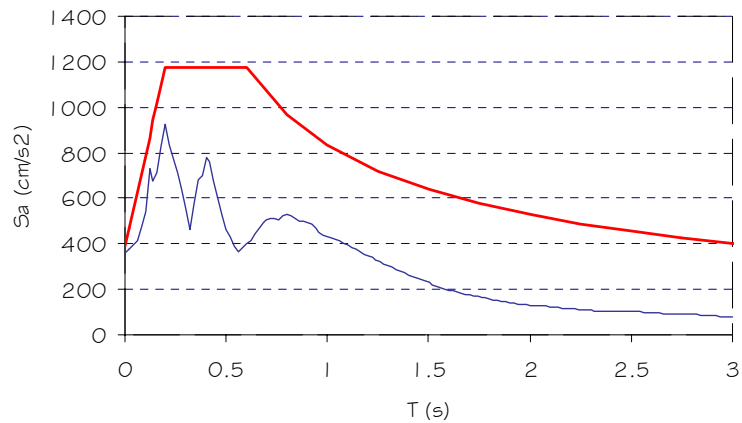
E.A. INSTITUTO VIVIENDA URBANA (IVU)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. INSTITUTO VIVIENDA URBANA (IVU)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

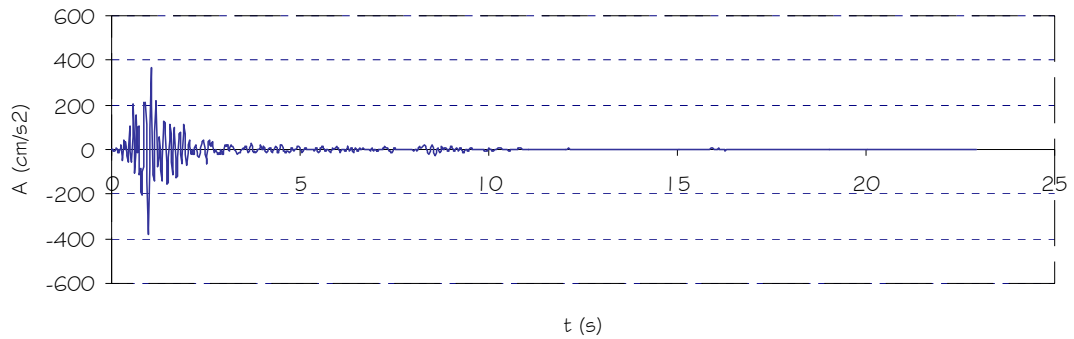


E.A. INSTITUTO VIVIENDA URBANA (IVU)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

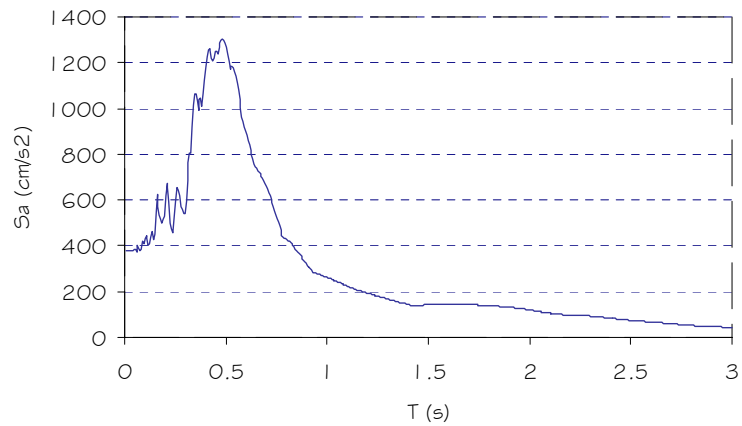


ANEXO 1.7.15. Estación acelerográfica "Universidad Centroamericana".
Componente Horizontal Norte-Sur.

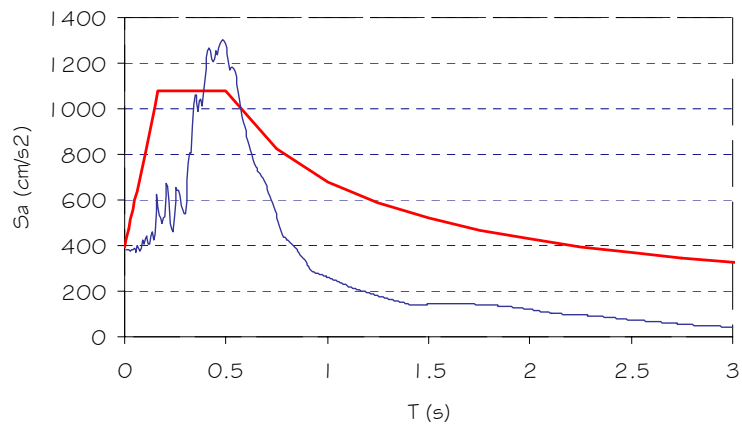
E.A. UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA (UCA)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA (UCA)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

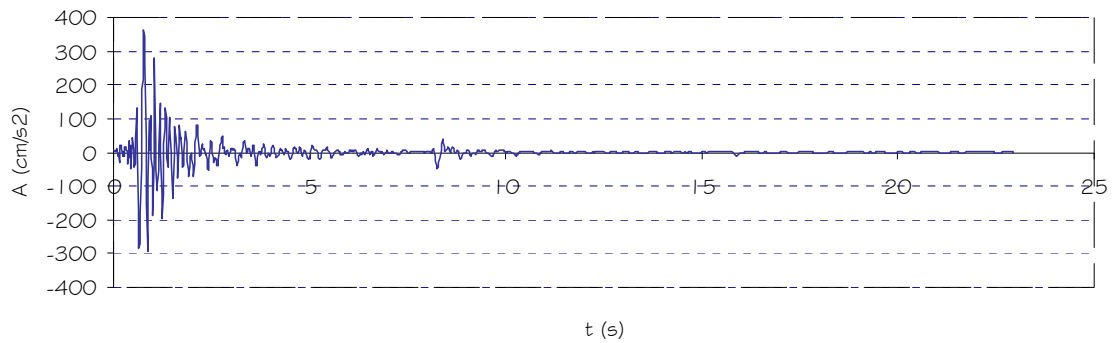


E.A. UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA (UCA)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

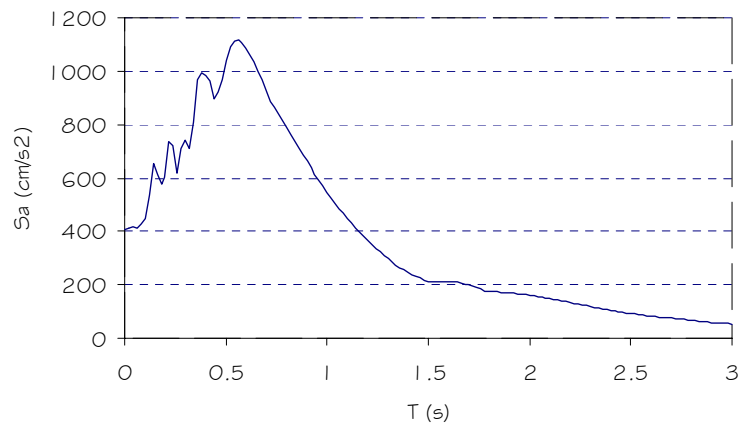


ANEXO 1.7.16. Estación acelerográfica "Universidad Centroamericana".
Componente Horizontal Este-Oeste.

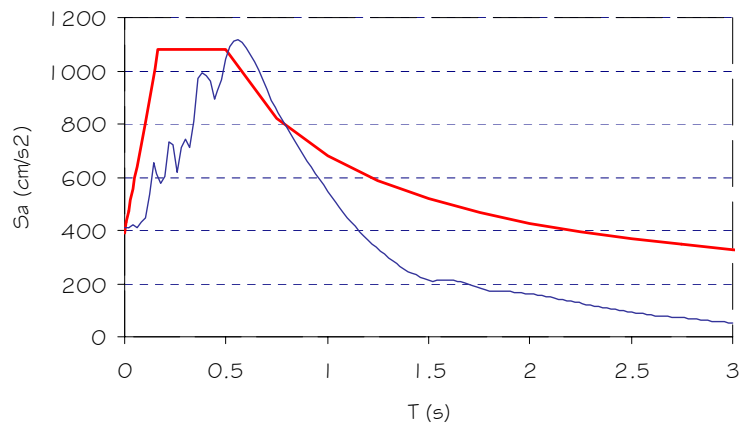
E.A. UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA (UCA)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA (UCA)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

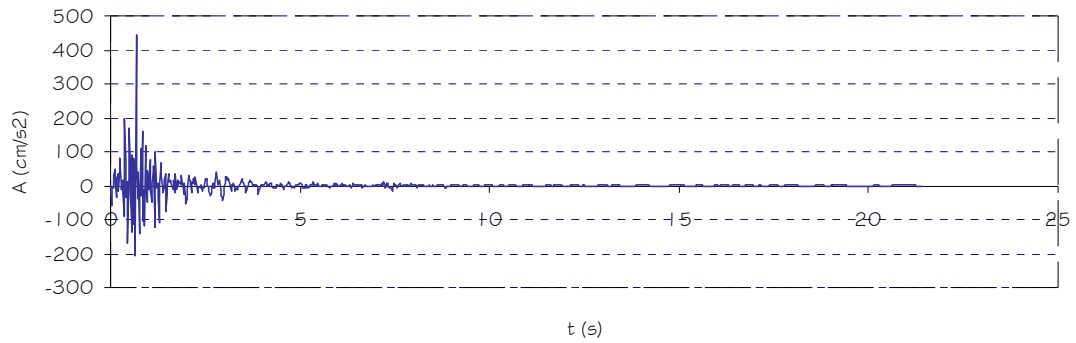


E.A. UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA (UCA)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

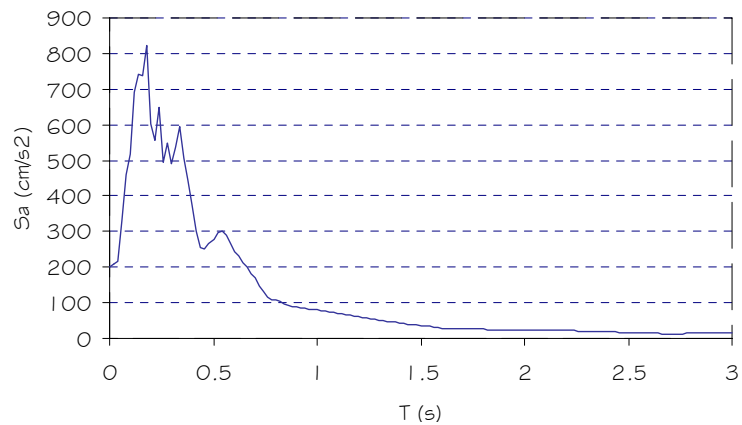


ANEXO 1.7.17. Estación acelerográfica "Universidad Centroamericana".
Componente Vertical.

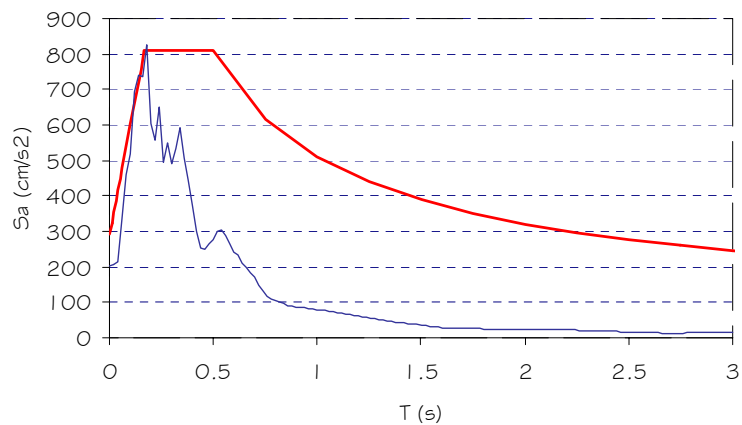
E.A. UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA (UCA)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA (UCA)
COMPONENTE VERTICAL



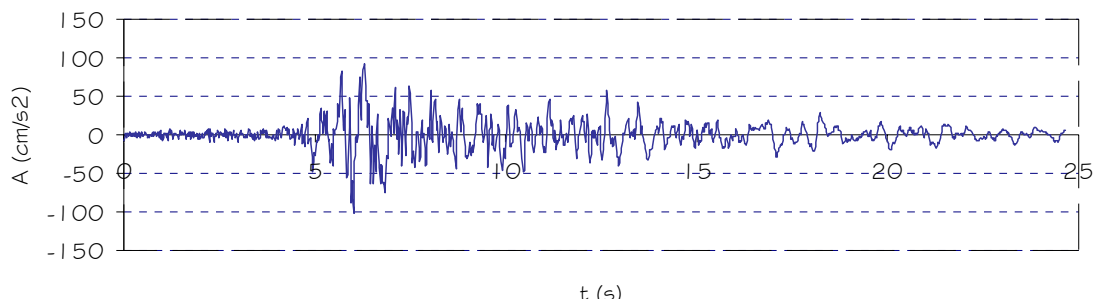
E.A. UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA (UCA)
COMPONENTE VERTICAL



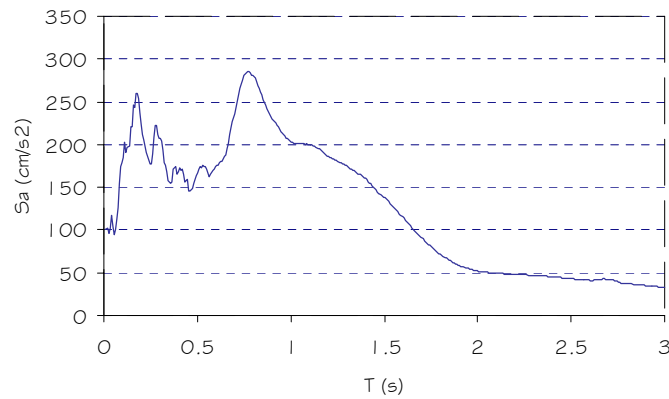
ANEXO 1.8. ACELEROGRAMAS, ESPECTROS DE RESPUESTA Y COMPARACION GRAFICA ENTRE ESPECTROS DE DISEÑO DE LA NTDS-94 Y ESPECTROS DE RESPUESTA PARA EL SISMO DEL 13 DE ENERO DE 2001.

ANEXO 1.8.1. Estación acelerográfica "CEPA Acajutla".
Componente Horizontal Norte-Sur.

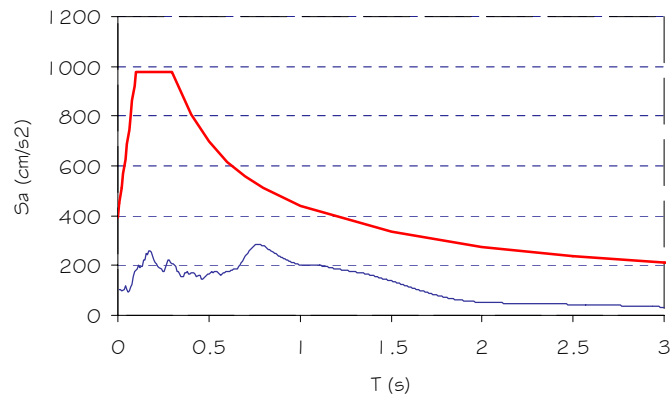
E.A. CEPA, ACAJUTLA (CA)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. CEPA, ACAJUTLA (CA)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

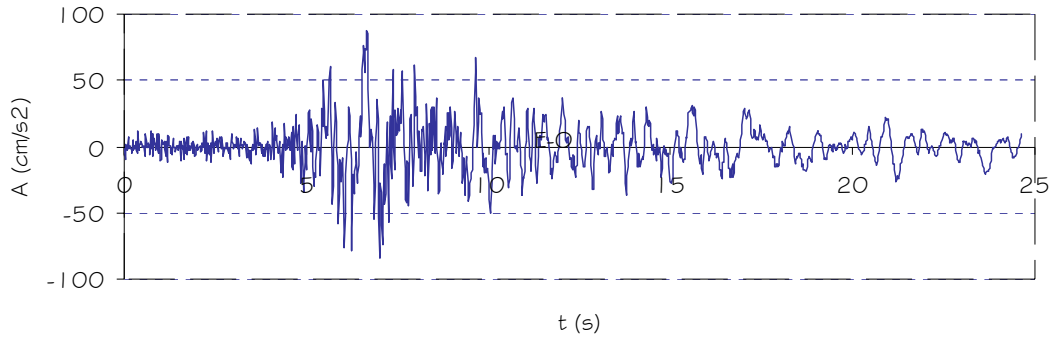


E.A. CEPA, ACAJUTLA (CA)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

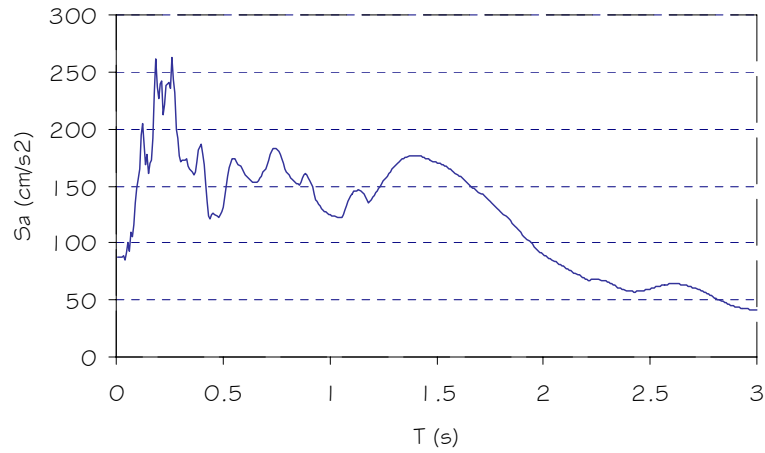


ANEXO 1.8.2. Estación acelerográfica "CEPA Acajutla".
Componente Horizontal Este-Oeste.

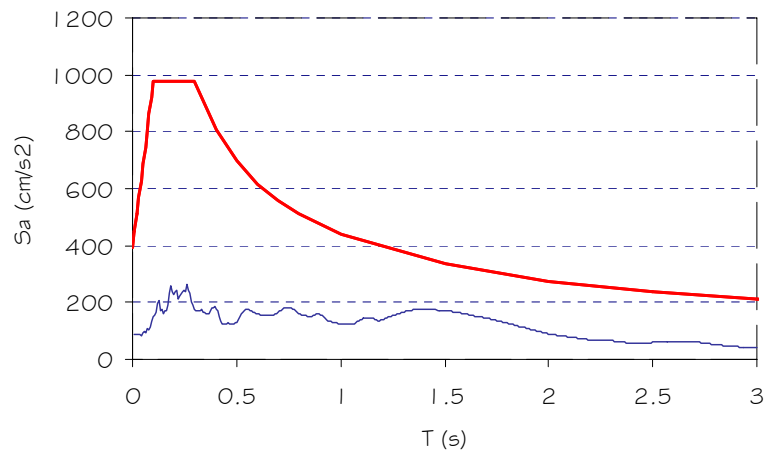
E.A. CEPA, ACAJUTLA (CA)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. CEPA, ACAJUTLA (CA)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

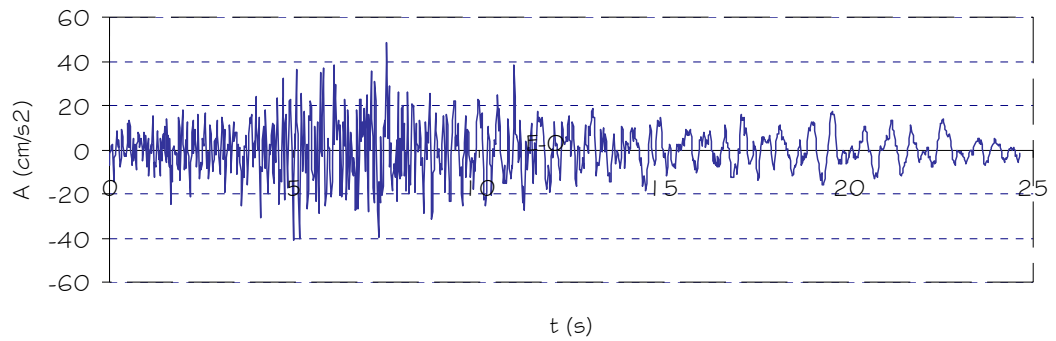


COMPONENTE HORIZONTAL E-O

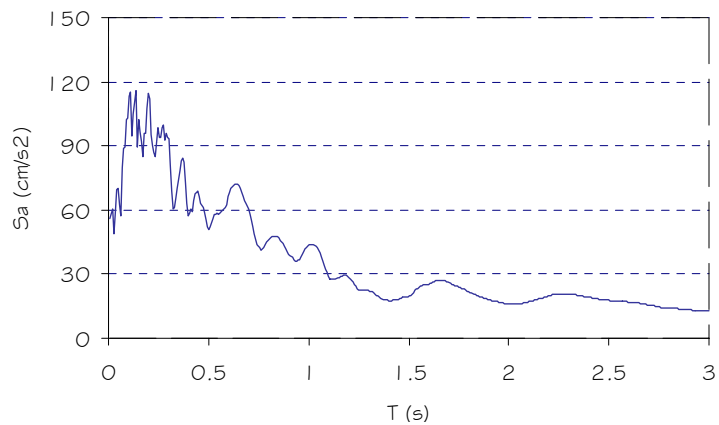


ANEXO 1.8.3. Estación acelerográfica "CEPA Acajutla".
Componente Vertical

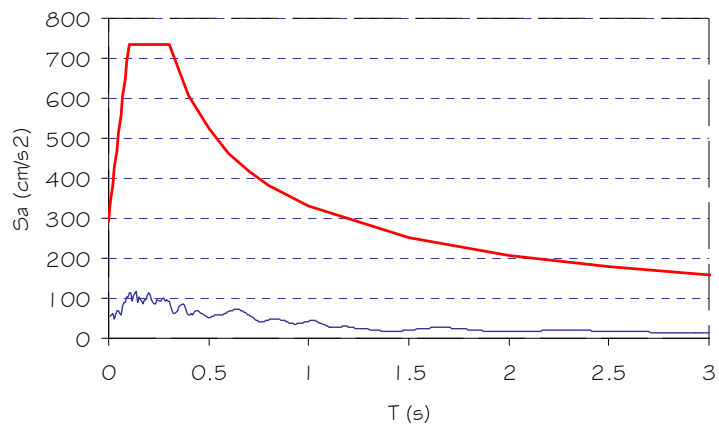
E.A. CEPA, ACAJUTLA (CA)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. CUTUCO (CU)
COMPONENTE VERTICAL

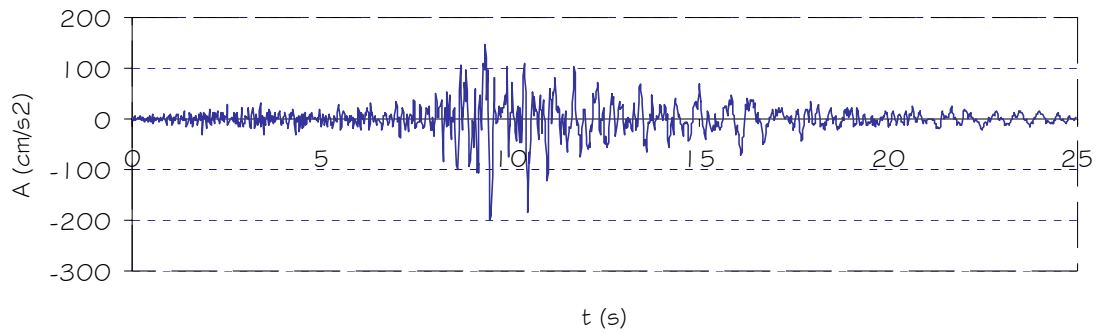


E.A. CUTUCO (CU)
COMPONENTE VERTICAL

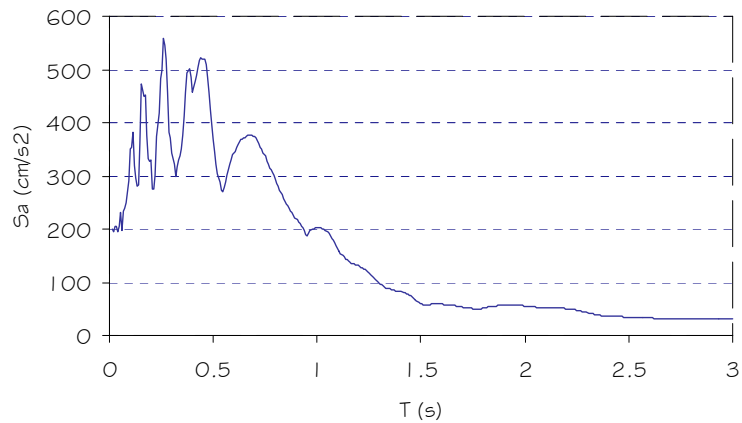


ANEXO 1.8.4. Estación acelerográfica "Ahuachapán".
Componente Horizontal Norte-Sur.

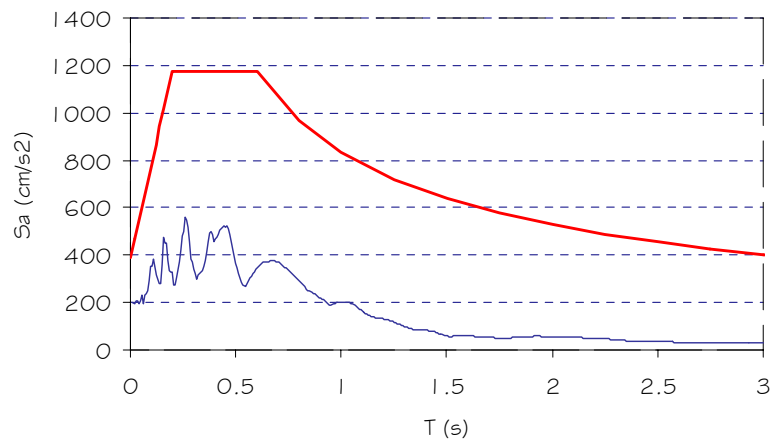
E.A. AHUACHAPAN (AH)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. AHUACHAPAN (AH)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

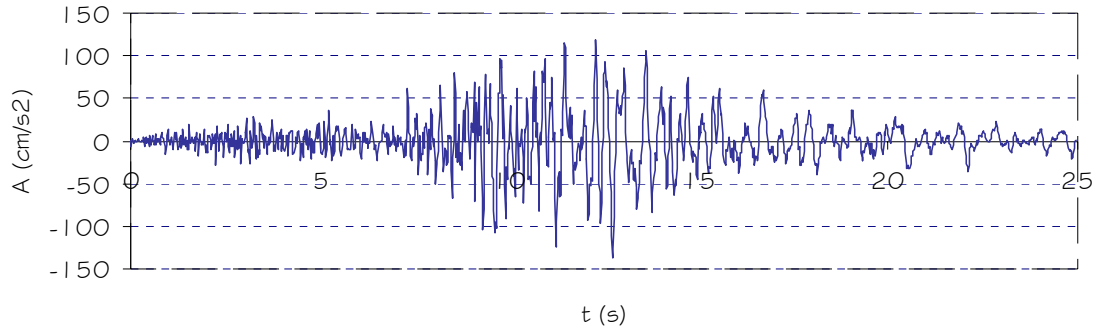


E.A. AHUACHAPAN (AH)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

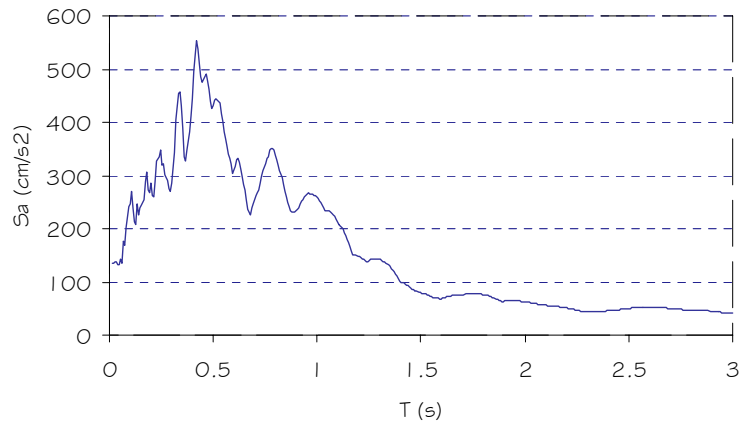


ANEXO 1.8.5. Estación acelerográfica "Ahuachapán".
Componente Horizontal Este-Oeste.

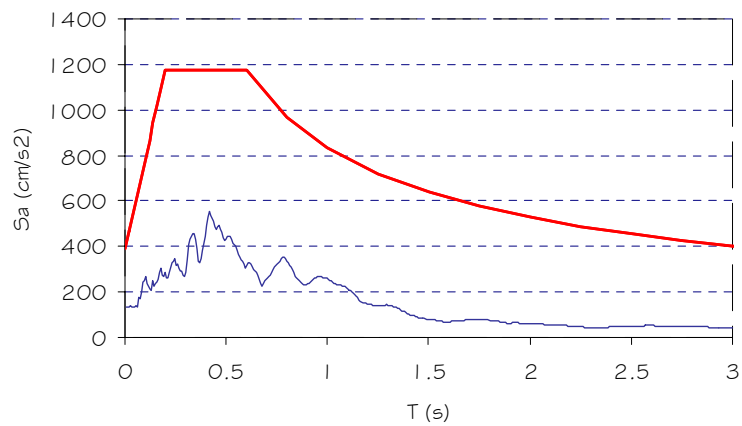
E.A. AHUACHAPAN (AH)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. AHUACHAPAN (AH)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

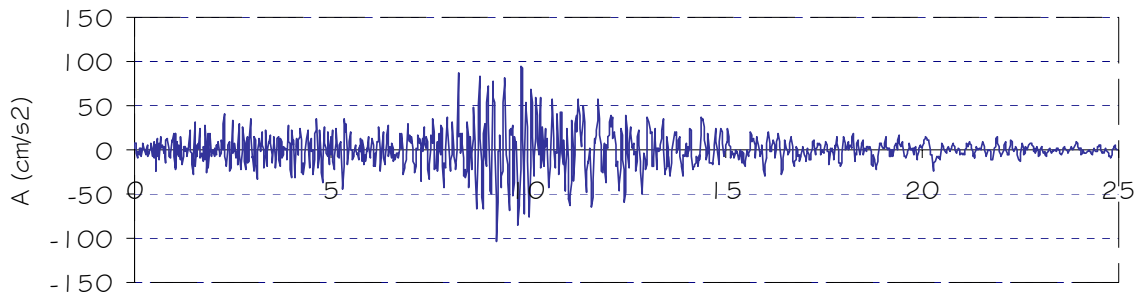


E.A. AHUACHAPAN (AH)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

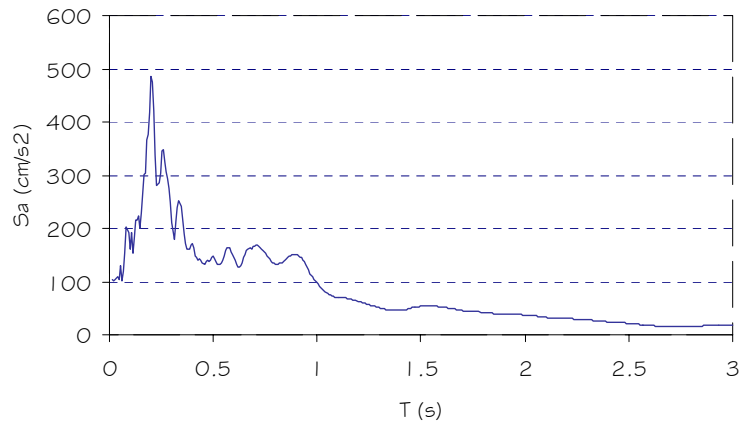


ANEXO 1.8.6. Estación acelerográfica "Ahuachapán".
Componente Vertical.

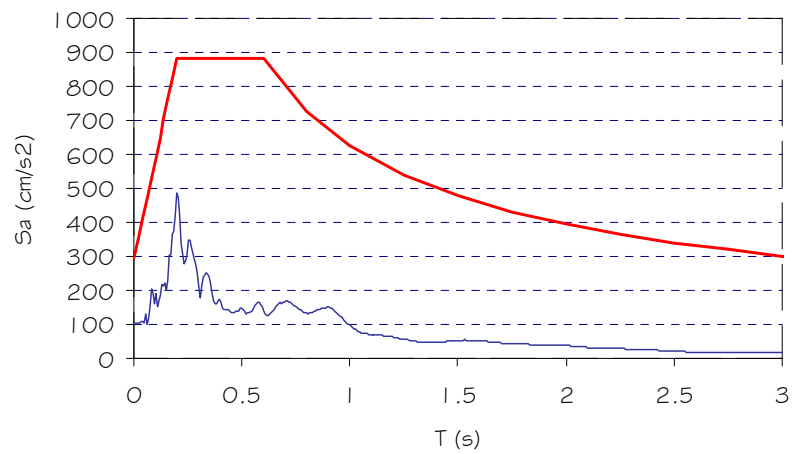
E.A. AHUACHAPAN (AH)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. AHUACHAPAN (AH)
COMPONENTE VERTICAL

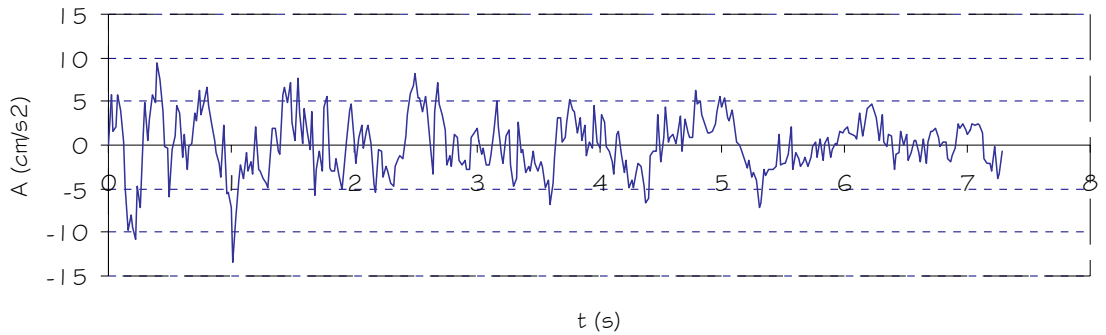


E.A. AHUACHAPAN (AH)
COMPONENTE VERTICAL

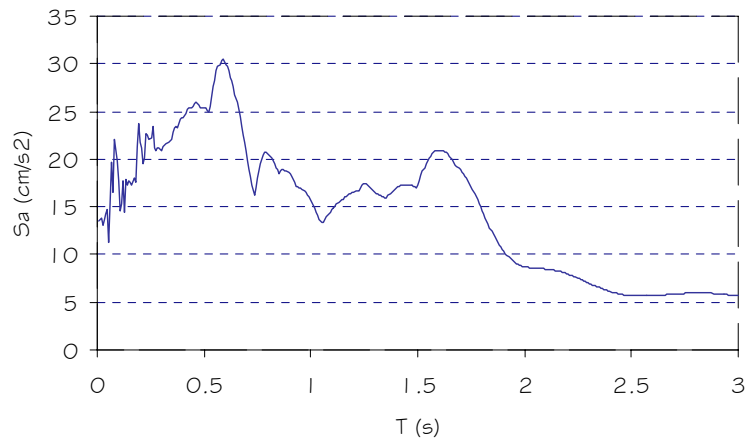


ANEXO 1.8.7. Estación acelerográfica "CESSA Metapán".
Componente Horizontal Norte-Sur.

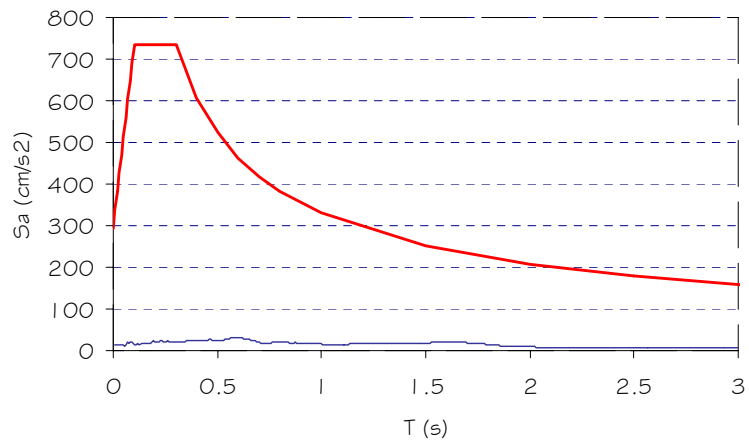
E.A. CESSA METAPAN (CM)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. CESSA METAPAN (CM)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

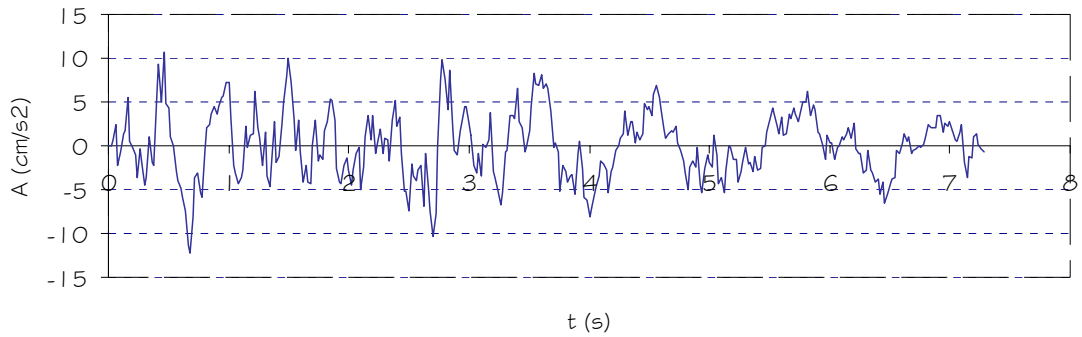


E.A. CESSA METAPAN (CM)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

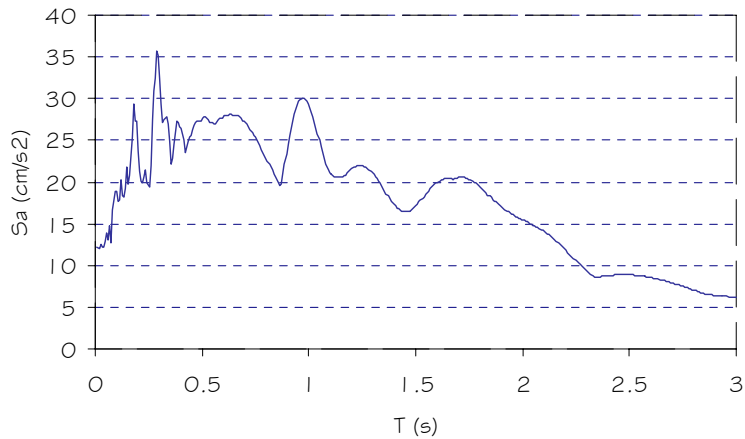


ANEXO 1.8.8. Estación acelerográfica "CESSA Metapán".
Componente Horizontal Este-Oeste.

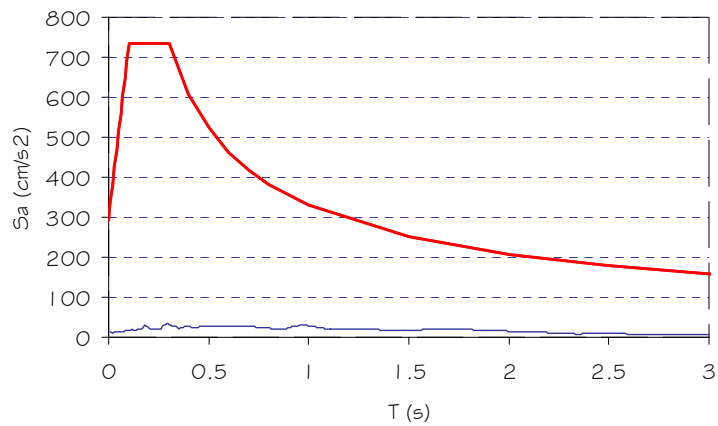
E.A. CESSA METAPAN (CM)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. CESSA METAPAN (CM)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

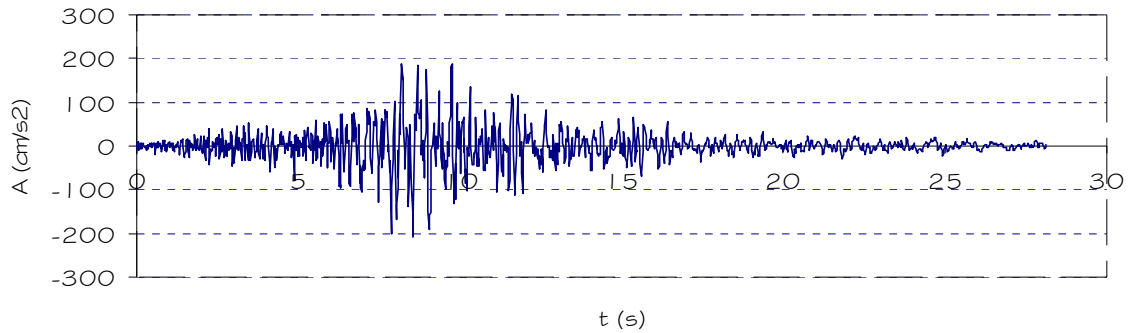


E.A. CESSA METAPAN (CM)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

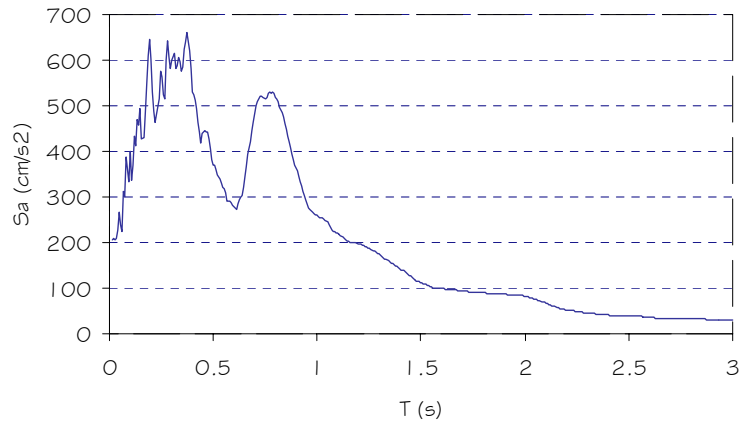


ANEXO 1.8.9. Estación acelerográfica "Ciudadela Don Bosco".
Componente Horizontal Norte-Sur.

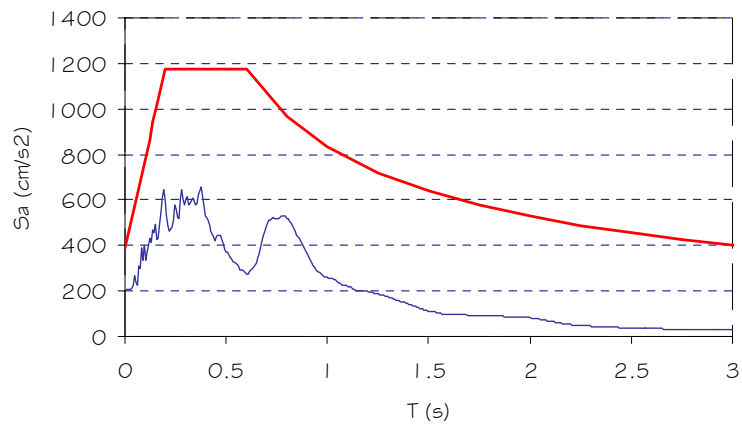
E.A. CIUDADELA DON BOSCO (DB)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. CIUDADELA DON BOSCO (DB)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

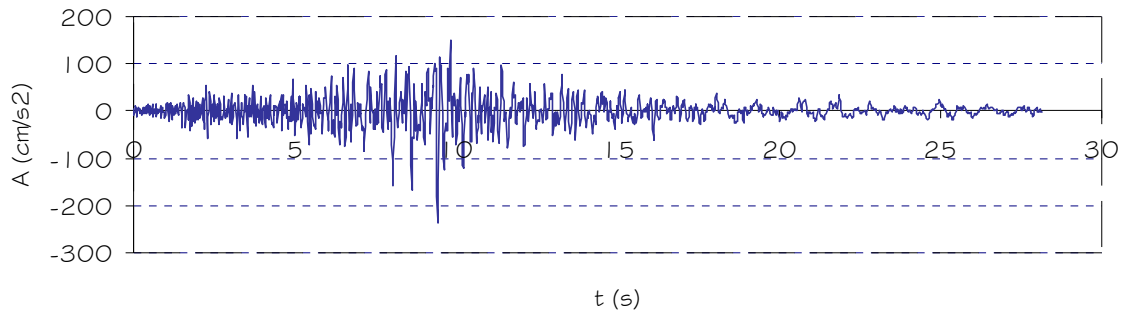


E.A. CIUDADELA DON BOSCO (DB)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

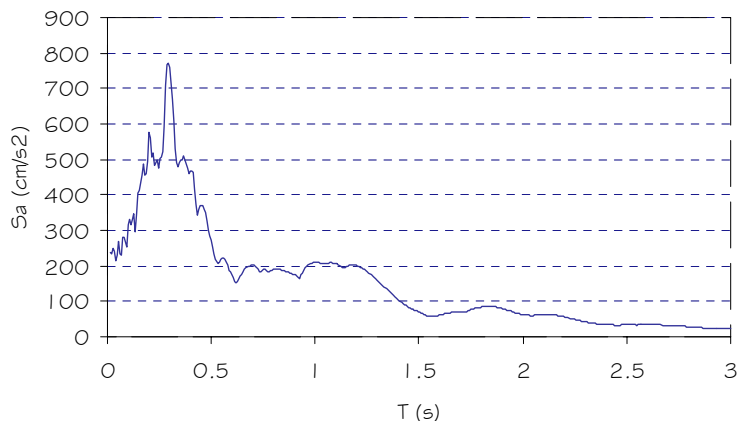


ANEXO 1.8.10. Estación acelerográfica "Ciudadela Don Bosco".
Componente Horizontal Este-Oeste.

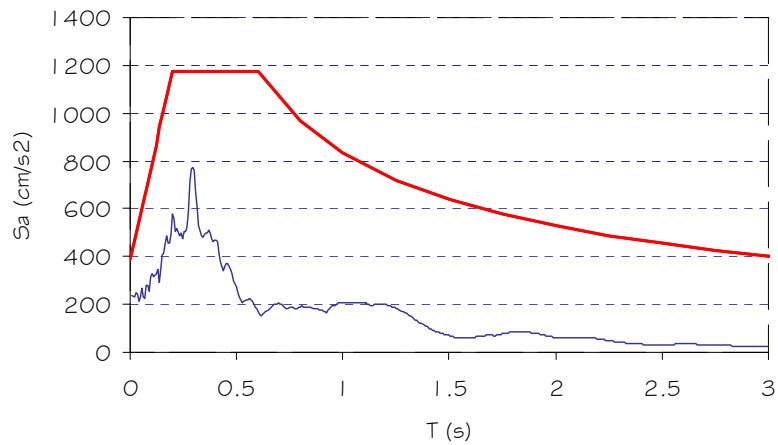
E.A. CIUDADELA DON BOSCO (DB)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. CIUDADELA DON BOSCO (DB)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

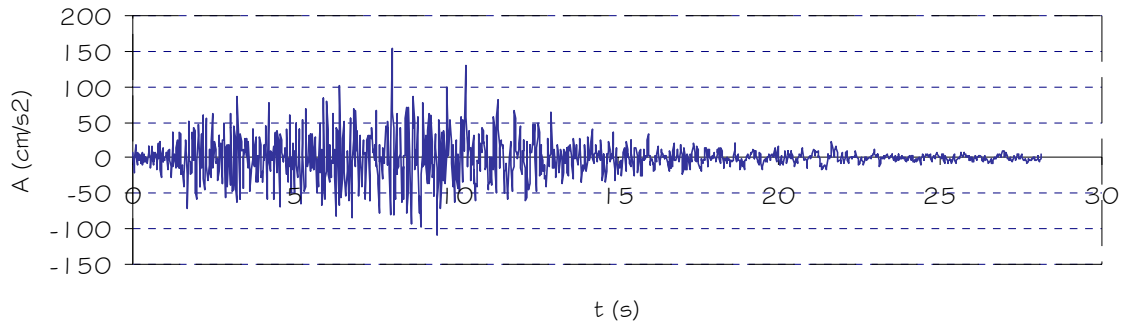


E.A. CIUDADELA DON BOSCO (DB)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

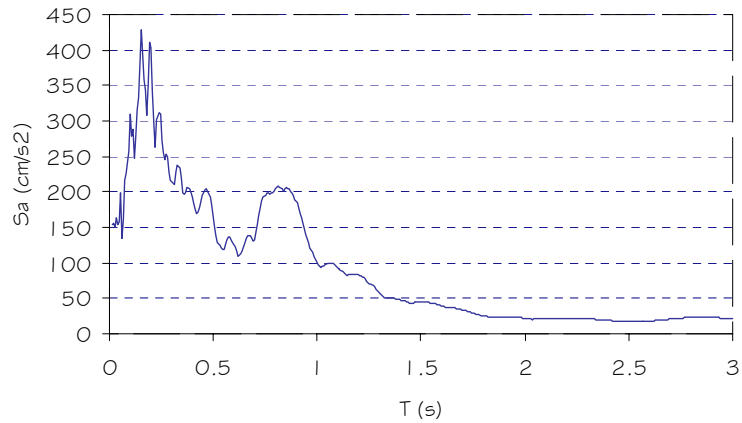


ANEXO 1.8.11. Estación acelerográfica "Ciudadela Don Bosco".
Componente Vertical.

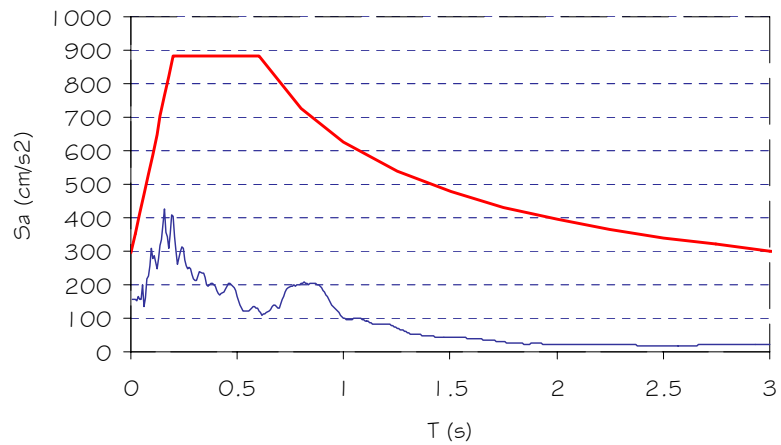
E.A. CIUADELA DON BOSCO (DB)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. CIUADELA DON BOSCO (DB)
COMPONENTE VERTICAL

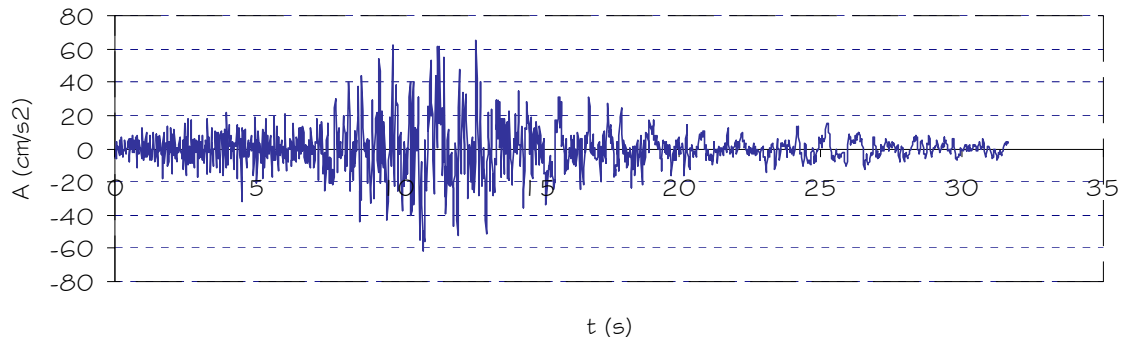


E.A. CIUADELA DON BOSCO (DB)
COMPONENTE VERTICAL

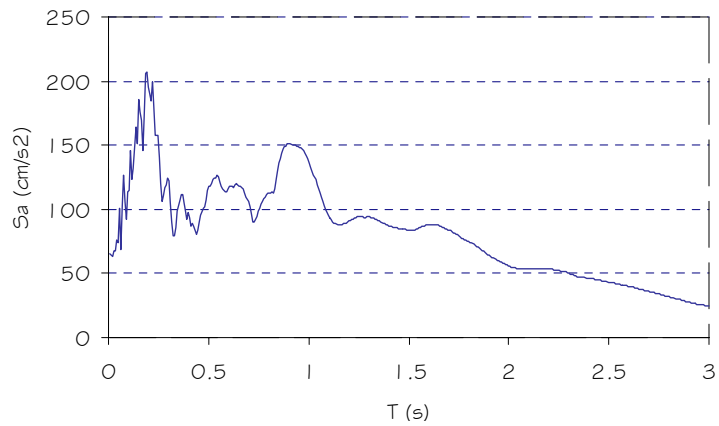


ANEXO 1.8.12. Estación acelerográfica "Cutuco".
Componente Horizontal Norte-Sur.

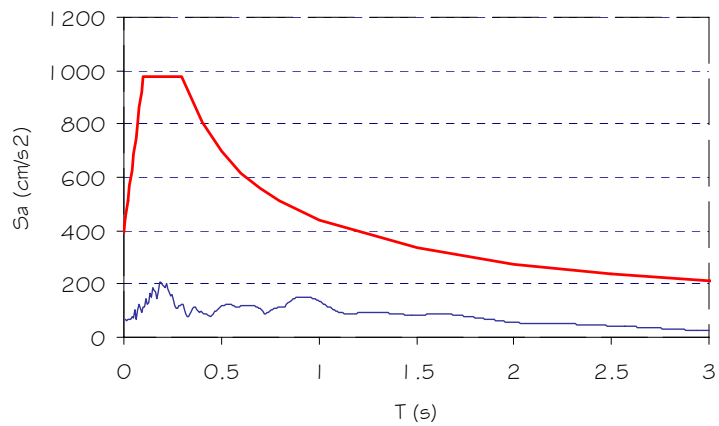
E.A. CUTUCO (CU)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. CUTUCO (CU)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

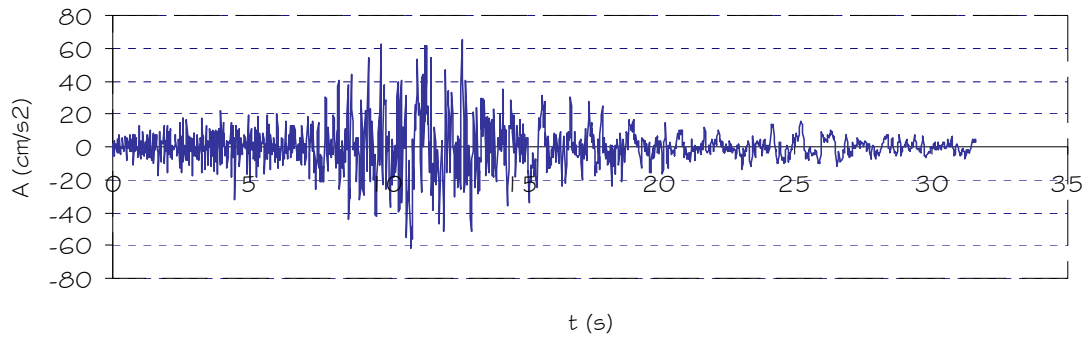


E.A. CUTUCO (CU)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

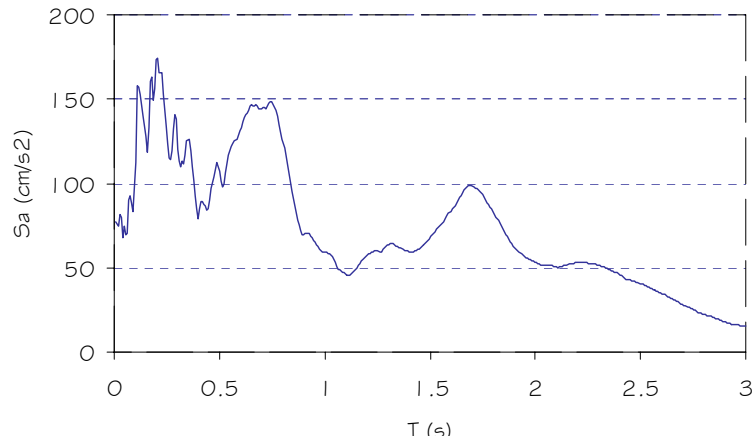


ANEXO 1.8.13. Estación acelerográfica "Cutuco".
Componente Horizontal Este-Oeste.

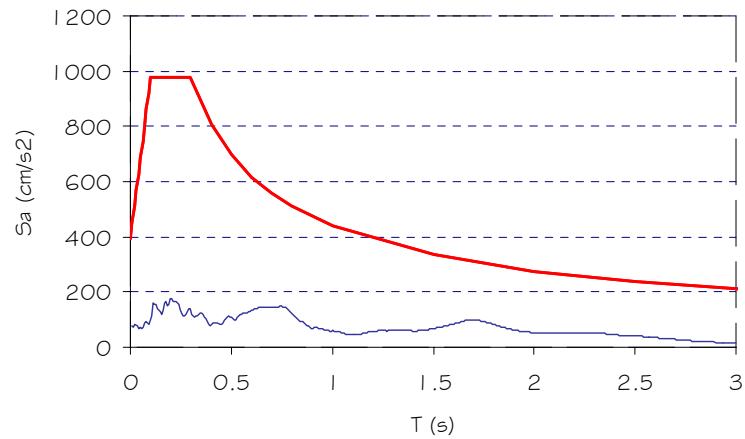
E.A. CUTUCO (CU)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. CUTUCO (CU)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

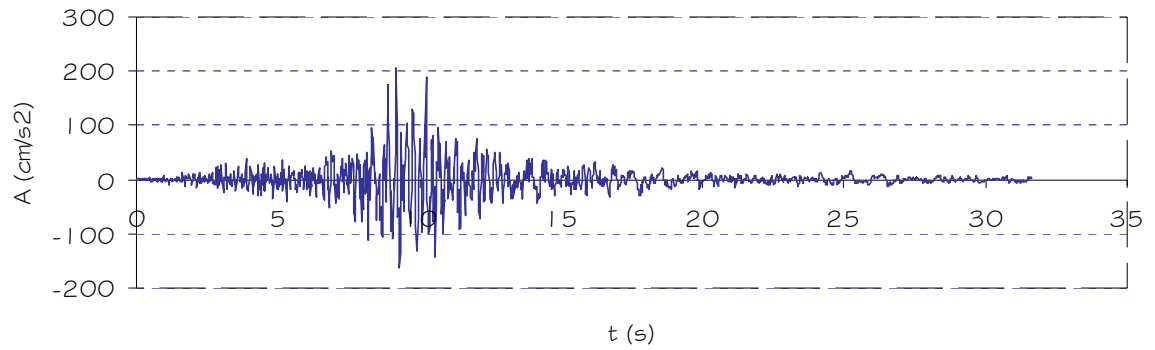


E.A. CUTUCO (CU)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

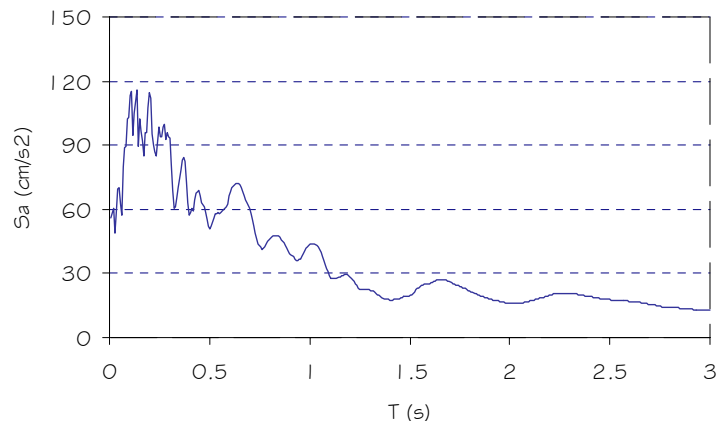


ANEXO 1.8.14. Estación acelerográfica "Cutuco".
Componente Vertical.

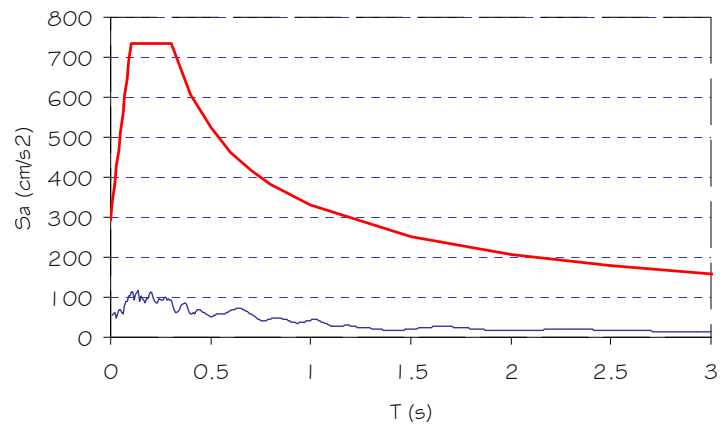
E.A. CUTUCO (CU)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. CUTUCO (CU)
COMPONENTE VERTICAL

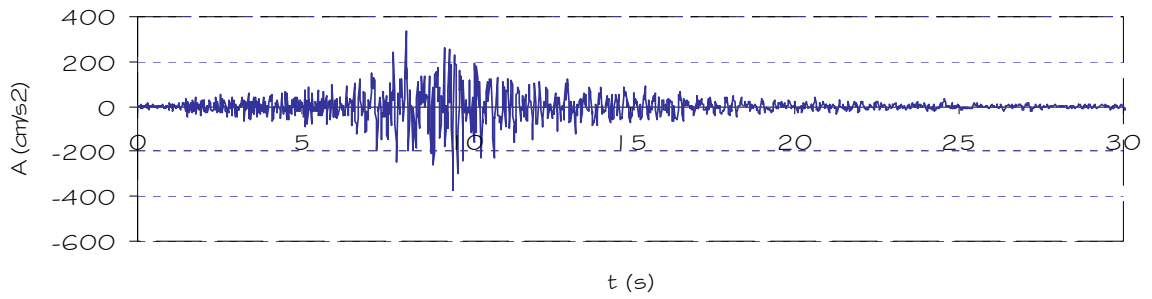


E.A. CUTUCO (CU)
COMPONENTE VERTICAL

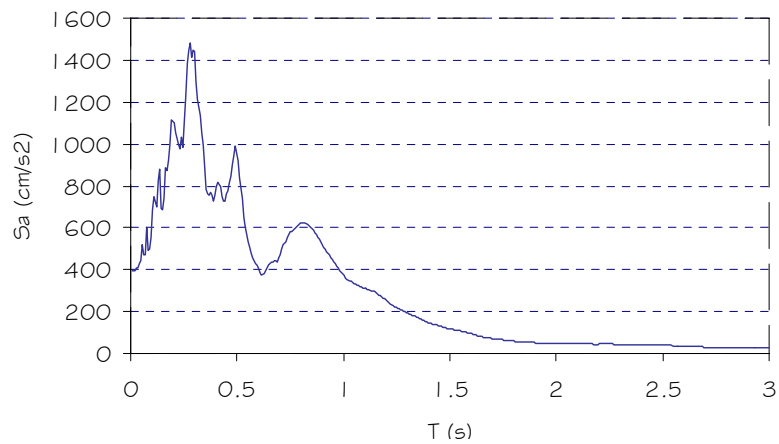


ANEXO 1.8.15. Estación acelerográfica "Observatorio CIG".
Componente Horizontal Norte-Sur.

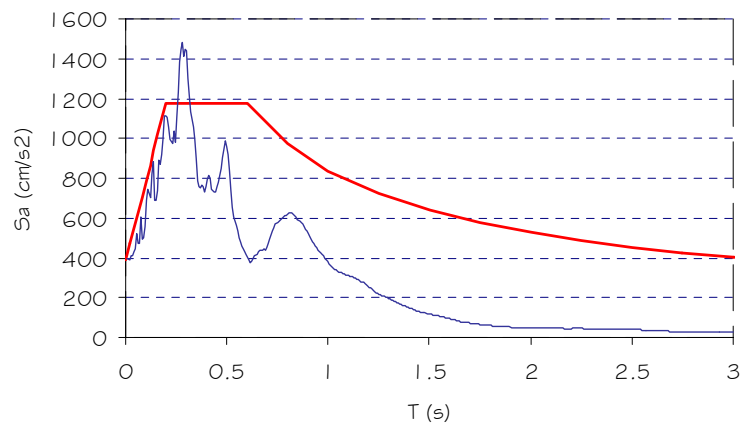
E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

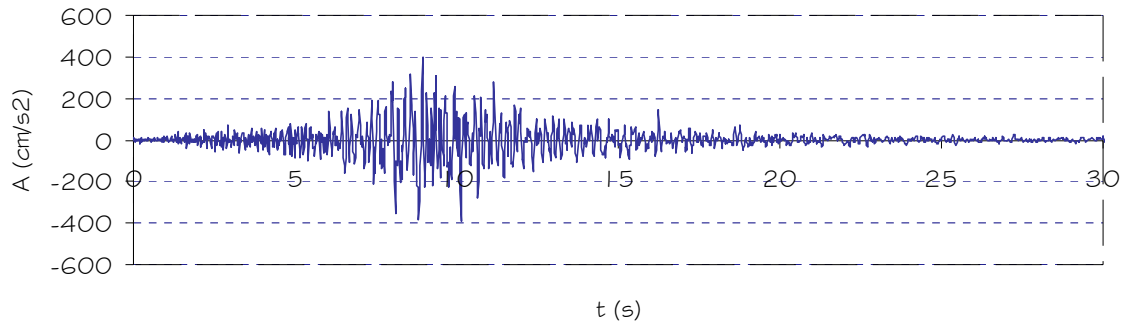


E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

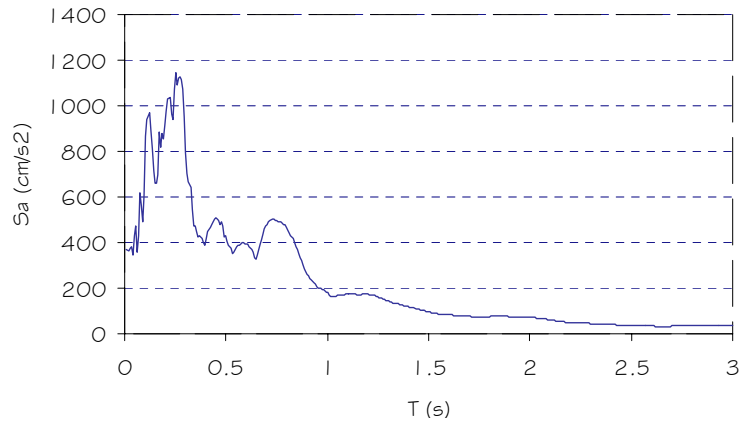


ANEXO 1.8.16. Estación acelerográfica "Observatorio CIG".
Componente Horizontal Este-Oeste.

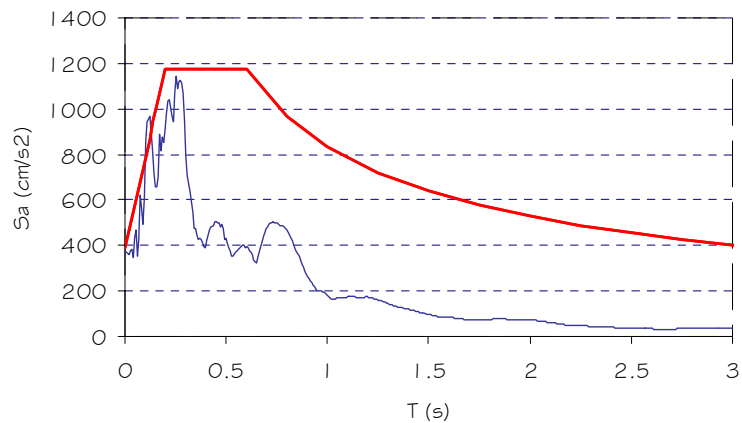
E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

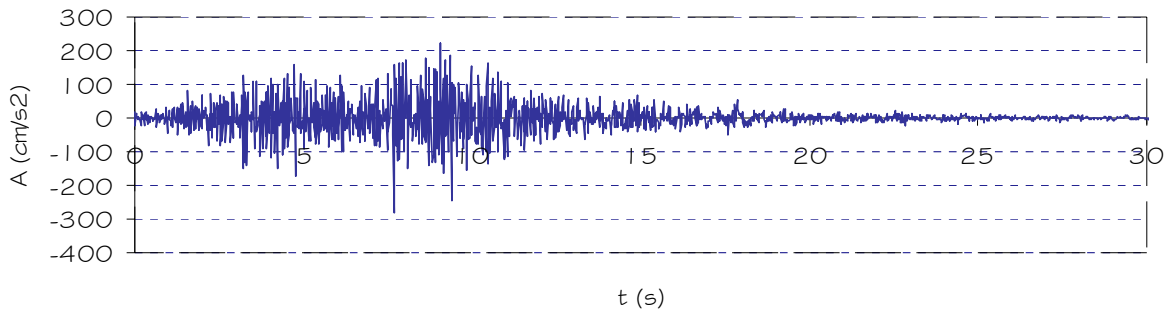


E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

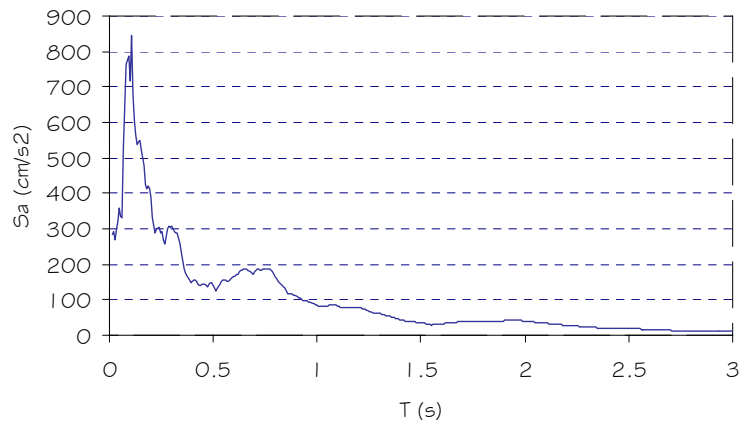


ANEXO 1.8.17. Estación acelerográfica "Observatorio CIG".
Componente Vertical.

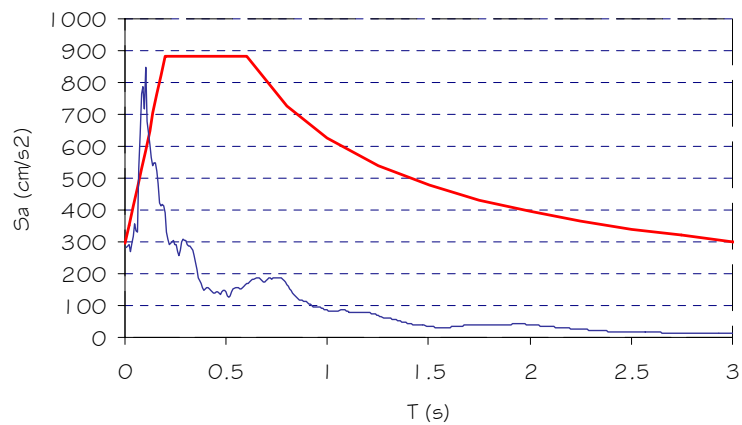
E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
COMPONENTE VERTICAL

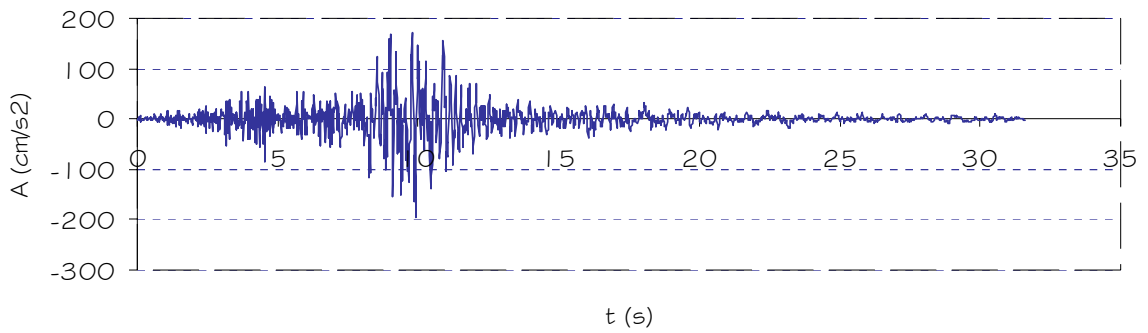


E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
COMPONENTE VERTICAL

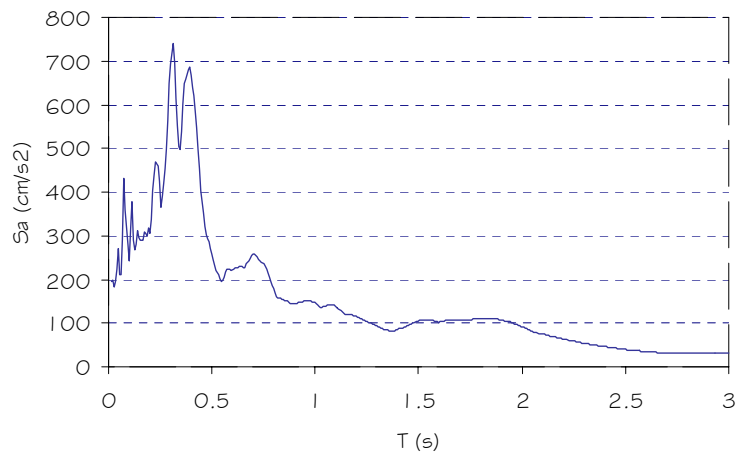


ANEXO 1.8.17. Estación acelerográfica "Relaciones Exteriores (FONDO)".
Componente Horizontal Norte-Sur.

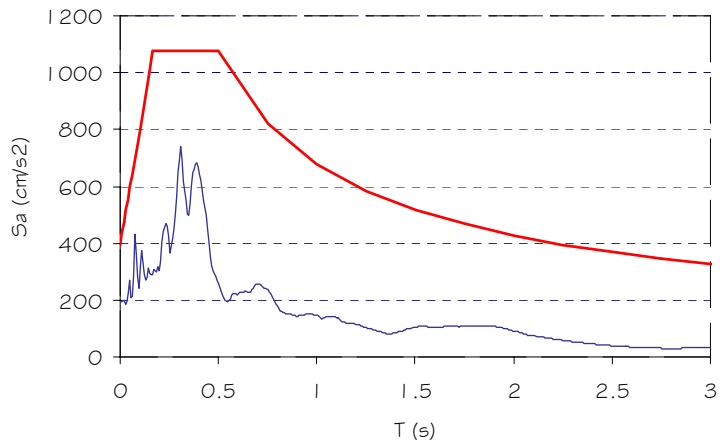
E.A. RELACIONES EXTERIORES (FONDO) (RF)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. RELACIONES EXTERIORES (FONDO) (RF)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

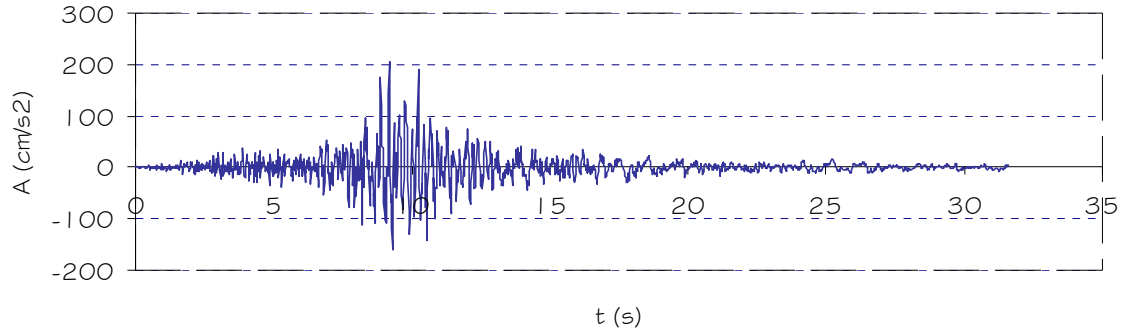


E.A. RELACIONES EXTERIORES (FONDO) (RF)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

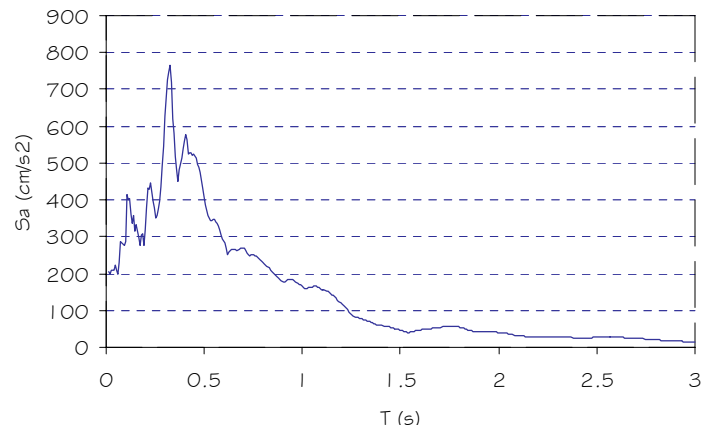


ANEXO 1.8.18. Estación acelerográfica "Relaciones Exteriores (FONDO)".
Componente Horizontal Este-Oeste.

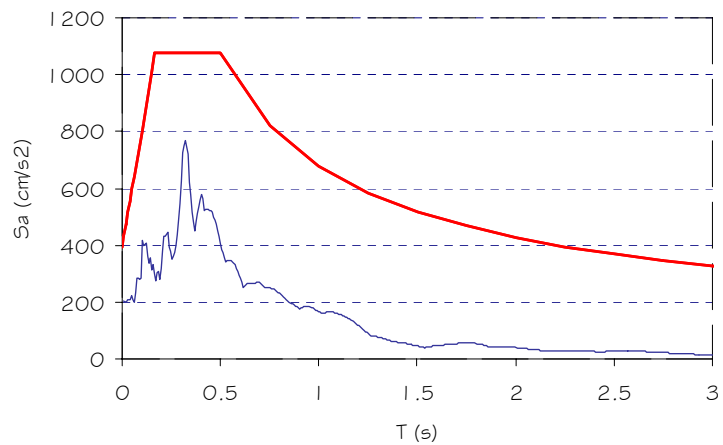
E.A. RELACIONES EXTERIORES (FONDO) (RF)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. RELACIONES EXTERIORES (FONDO) (RF)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

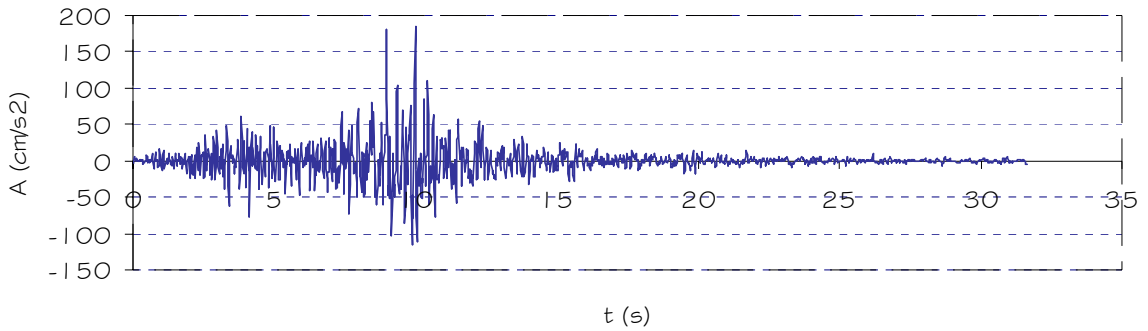


E.A. RELACIONES EXTERIORES (FONDO) (RF)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

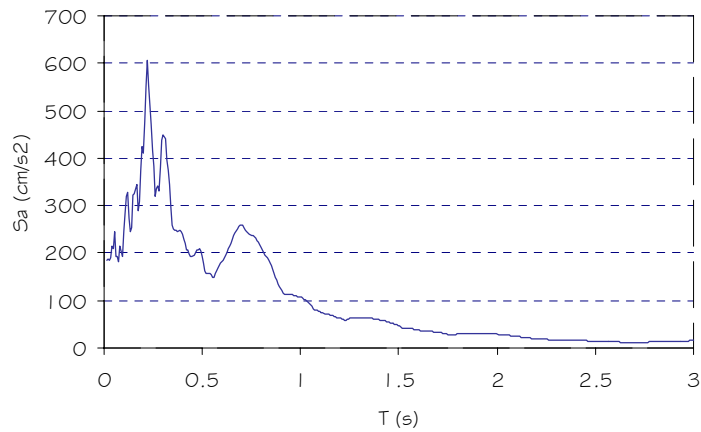


ANEXO 1.8.19. Estación acelerográfica "Relaciones Exteriores (FONDO)".
Componente Vertical.

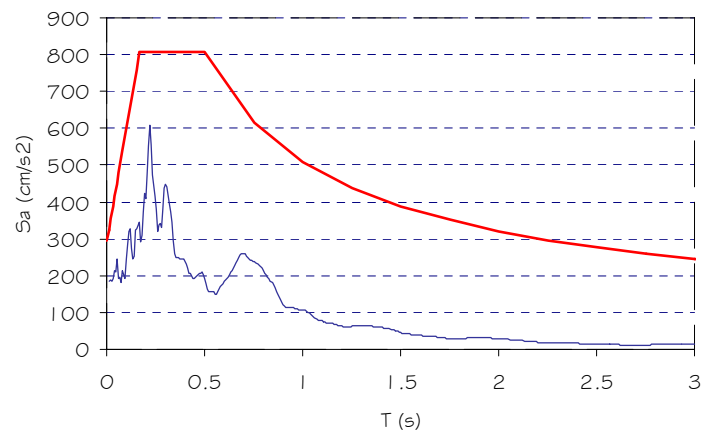
E.A. RELACIONES EXTERIORES (FONDO) (RF)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. RELACIONES EXTERIORES (FONDO) (RF)
COMPONENTE VERTICAL

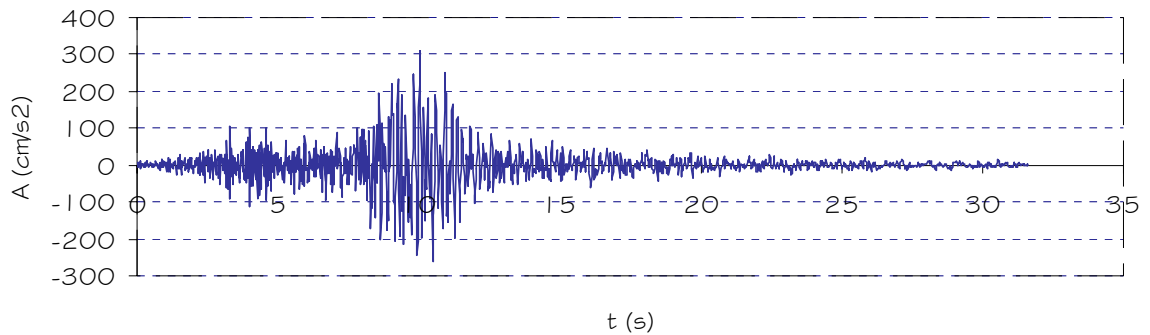


E.A. RELACIONES EXTERIORES (FONDO) (RF)
COMPONENTE VERTICAL

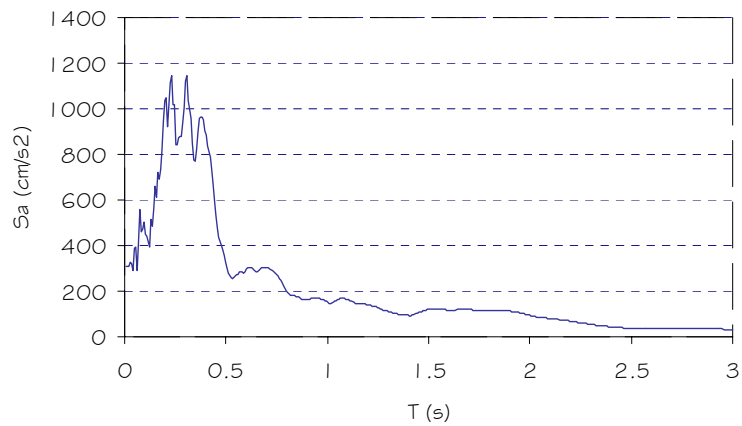


ANEXO I.8.20. Estación acelerográfica "Relaciones Exteriores (SUP)".
Componente Horizontal Norte-Sur.

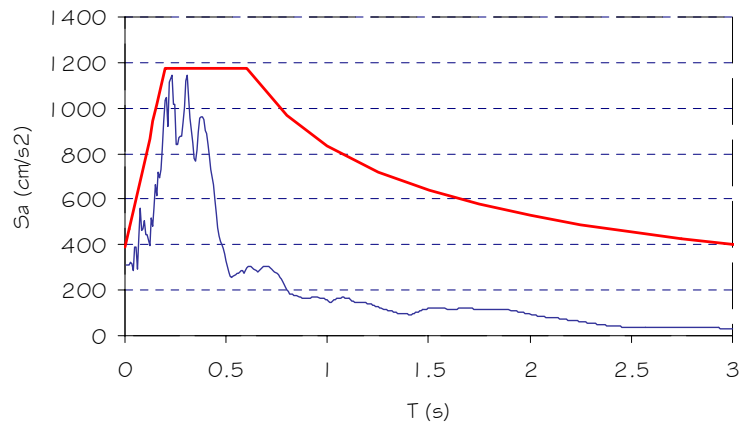
E.A. RELACIONES EXTERIORES (SUP) (R5)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. RELACIONES EXTERIORES (SUP) (R5)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

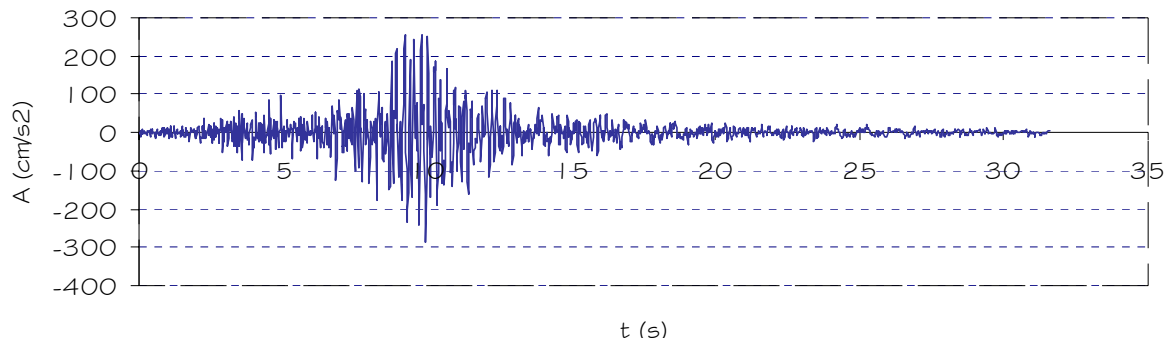


E.A. RELACIONES EXTERIORES (SUP) (R5)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

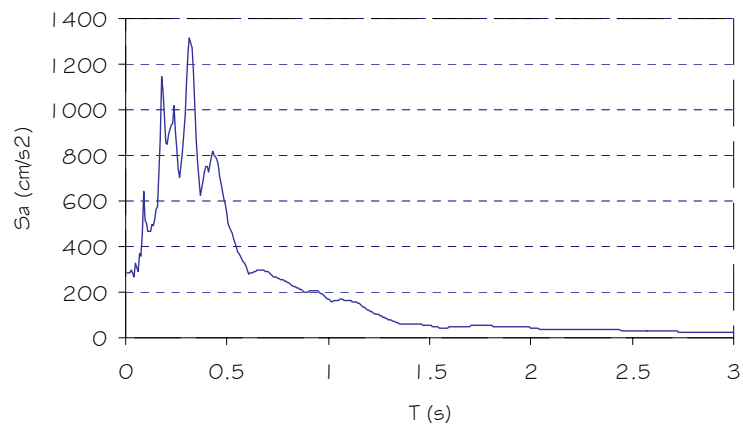


ANEXO 1.8.2.1. Estación acelerográfica "Relaciones Exteriores (SUP)".
Componente Horizontal Este-Oeste.

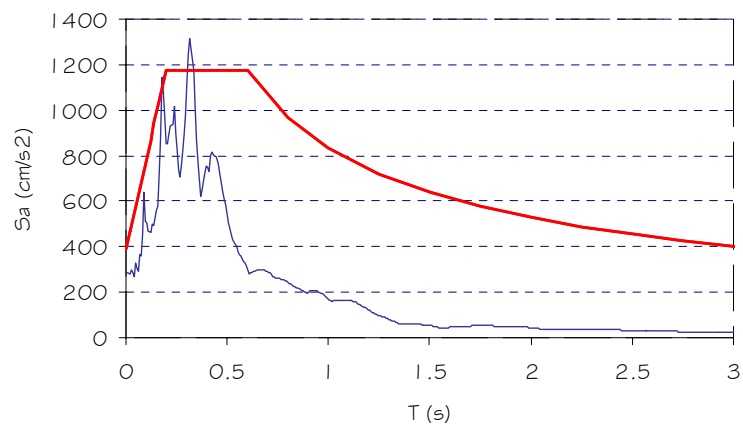
E.A. RELACIONES EXTERIORES (SUP) (RS)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. RELACIONES EXTERIORES (SUP) (RS)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

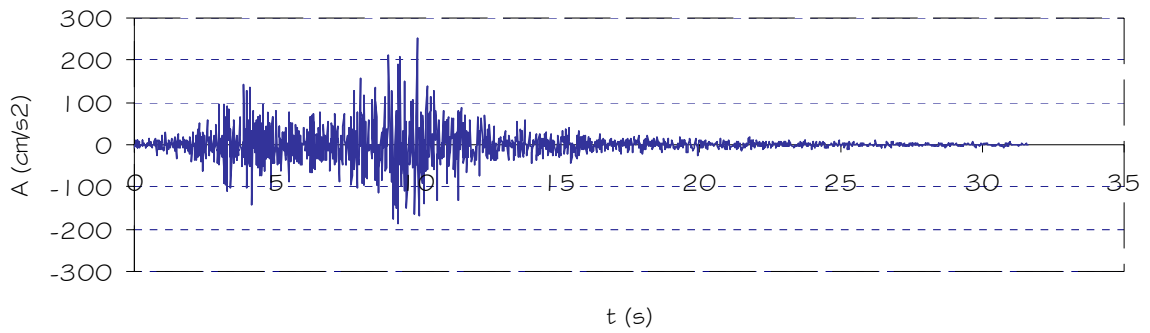


E.A. RELACIONES EXTERIORES (SUP) (RS)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

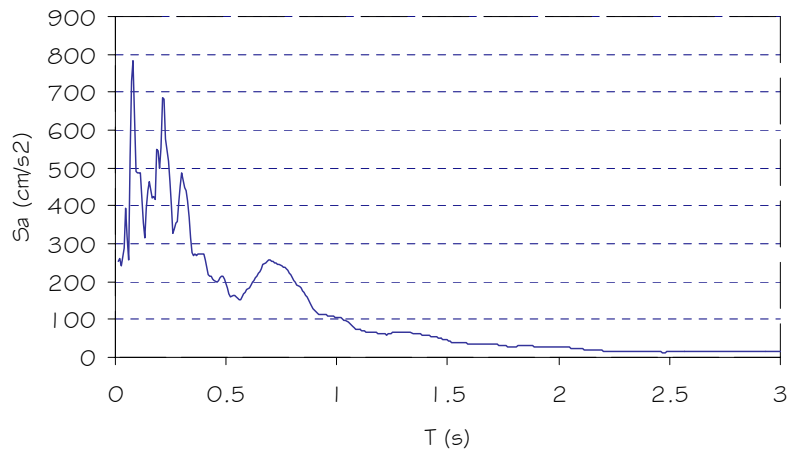


ANEXO I.8.22. Estación acelerográfica "Relaciones Exteriores (SUP)".
Componente Vertical.

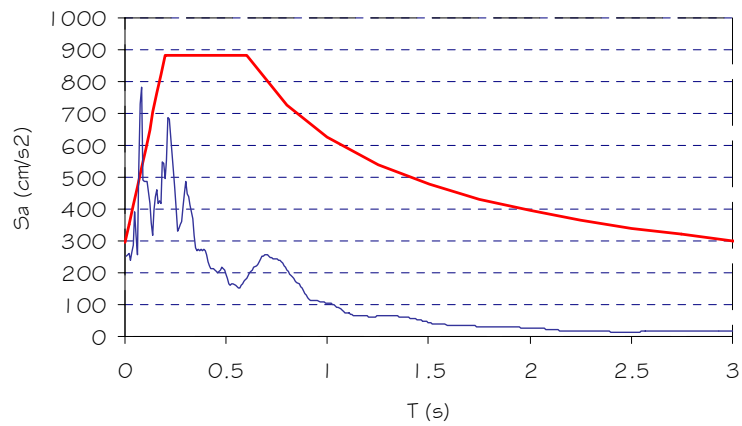
E.A. RELACIONES EXTERIORES (SUP) (RS)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. RELACIONES EXTERIORES (SUP) (RS)
COMPONENTE VERTICAL

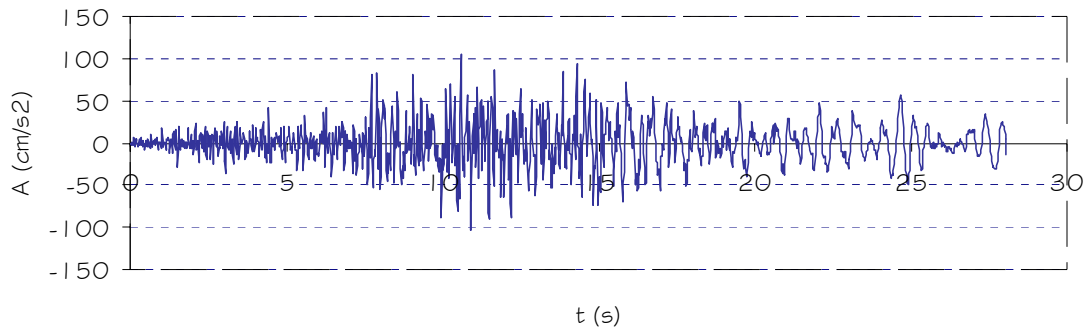


E.A. RELACIONES EXTERIORES (SUP) (RS)
COMPONENTE VERTICAL

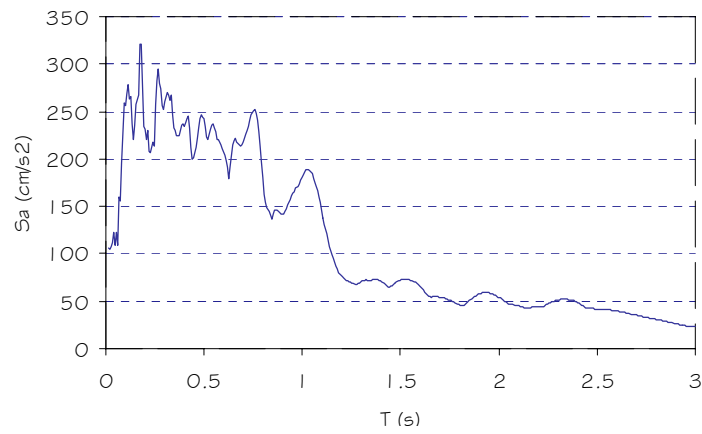


ANEXO I.8.23. Estación acelerográfica "San Miguel".
Componente Horizontal Norte-Sur.

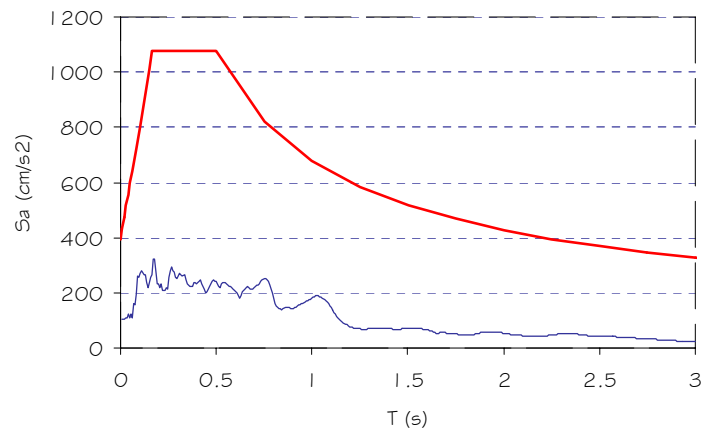
E.A. SAN MIGUEL (MG)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. SAN MIGUEL (MG)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

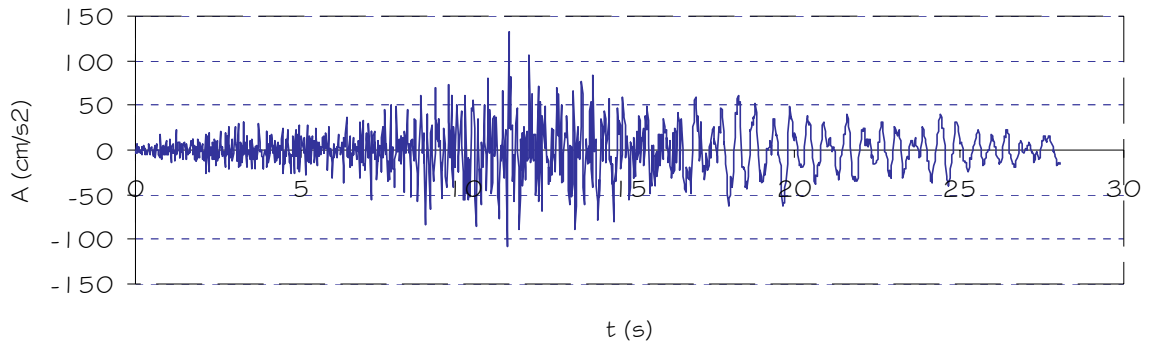


E.A. SAN MIGUEL (MG)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

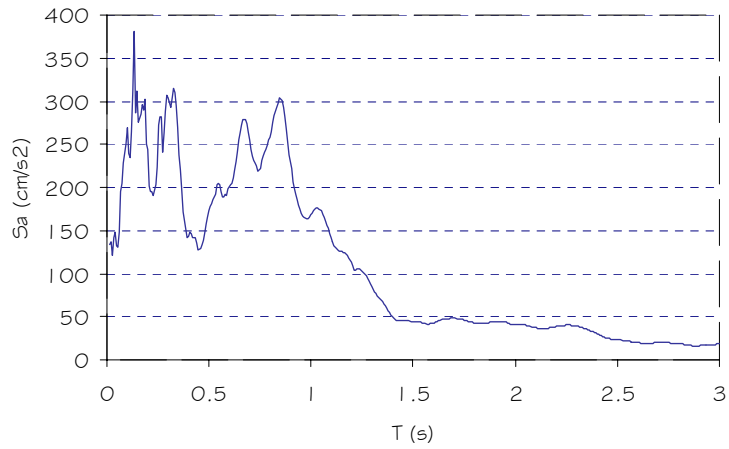


ANEXO I.8.24. Estación acelerográfica "San Miguel".
Componente Horizontal Este-Oeste.

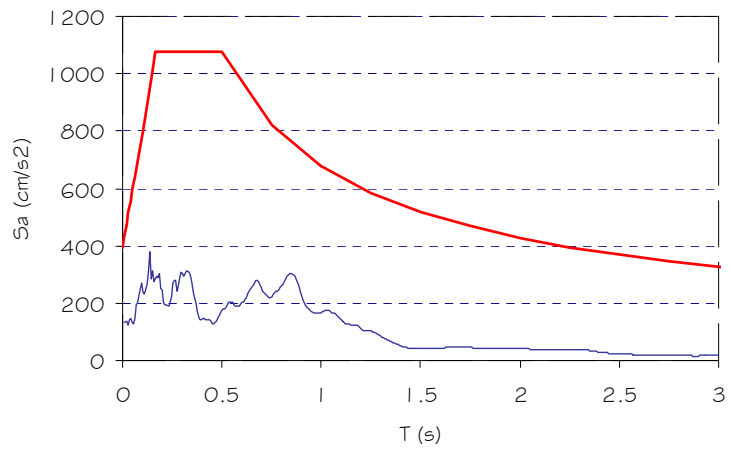
E.A. SAN MIGUEL (MG)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. SAN MIGUEL (MG)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

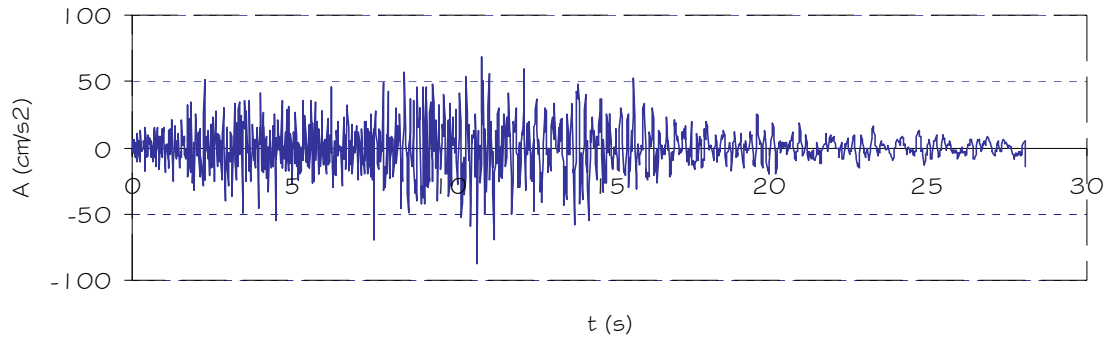


E.A. SAN MIGUEL (MG)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

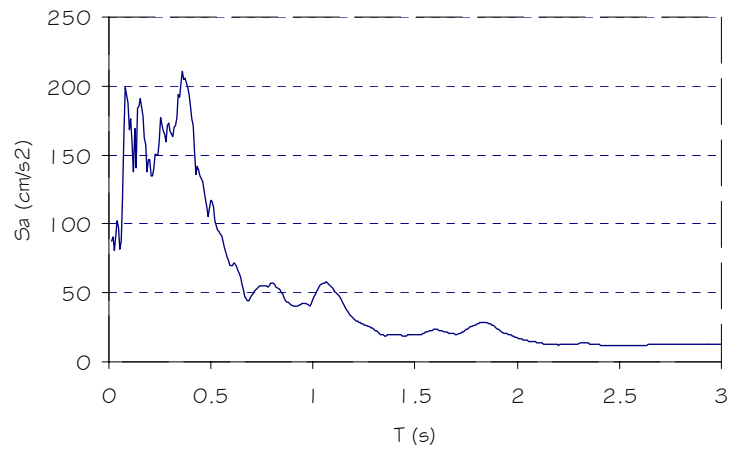


ANEXO I.8.25. Estación acelerográfica "San Miguel".
Componente Vertical.

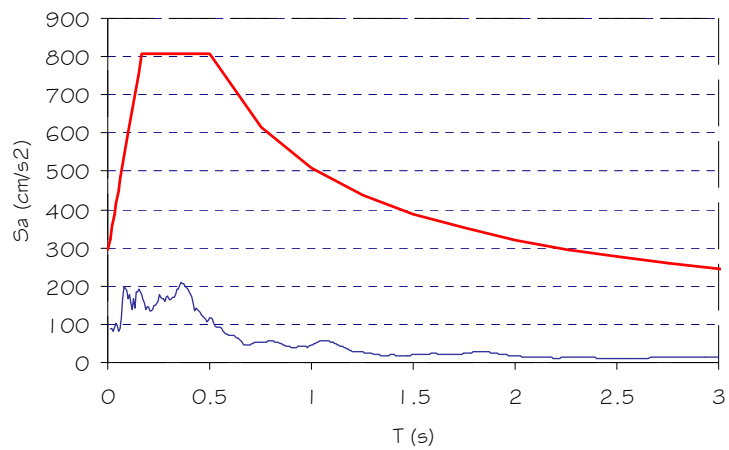
E.A. SAN MIGUEL (MG)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. SAN MIGUEL (MG)
COMPONENTE VERTICAL

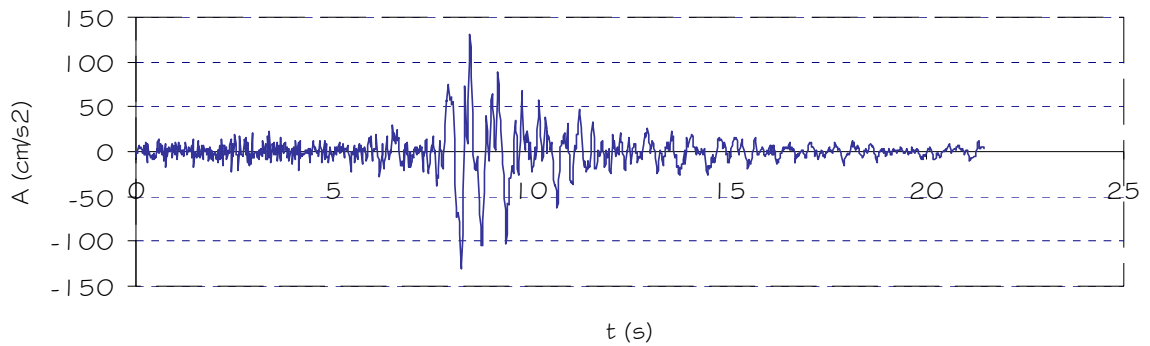


E.A. SAN MIGUEL (MG)
COMPONENTE VERTICAL

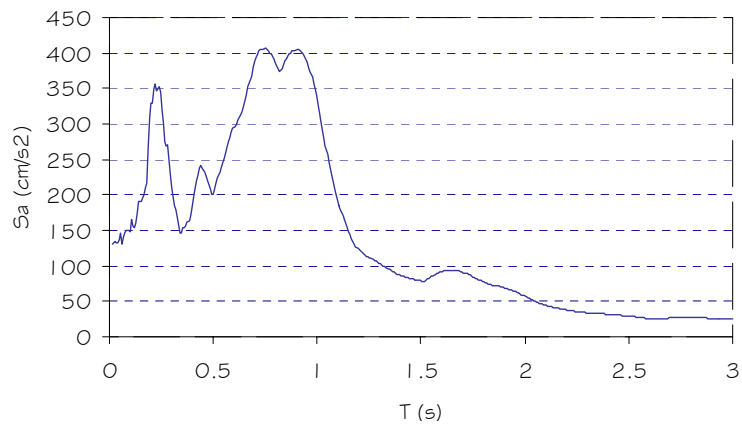


ANEXO 1.8.26. Estación acelerográfica "Santa Ana".
Componente Horizontal Norte-Sur.

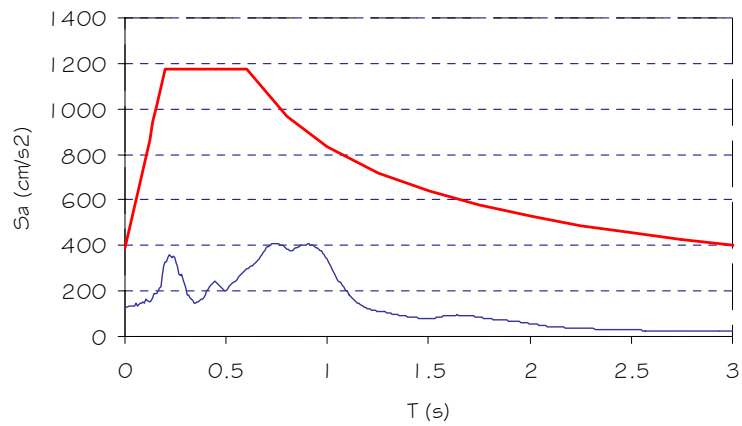
E.A. SANTA ANA (SA)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. SANTA ANA (SA)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

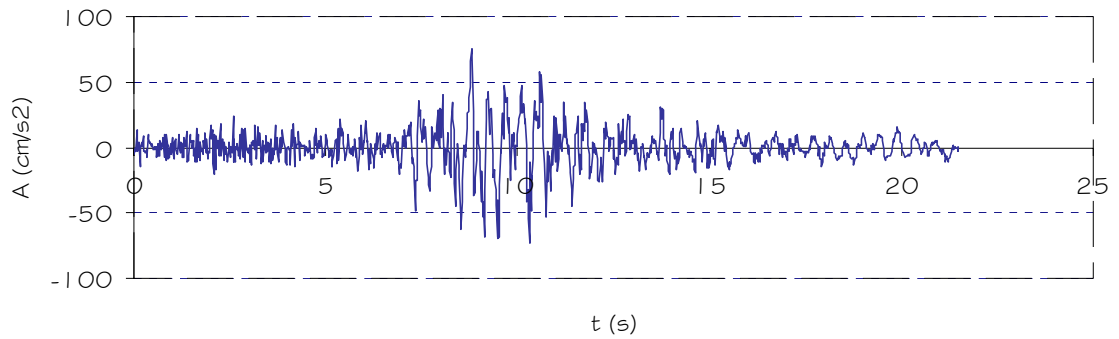


E.A. SANTA ANA (SA)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

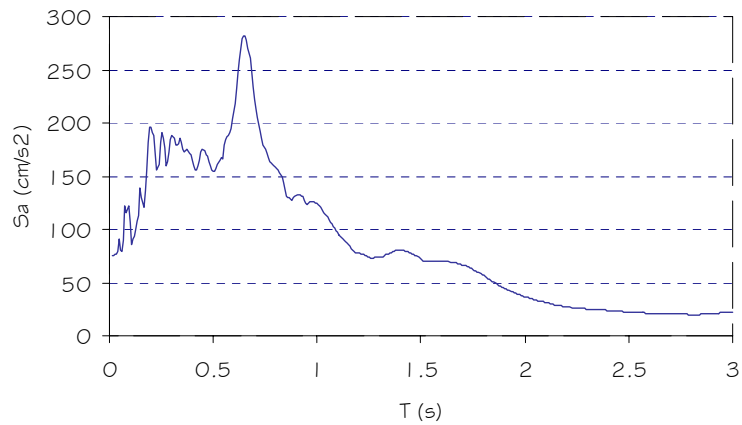


ANEXO 1.8.27. Estación acelerográfica "Santa Ana".
Componente Horizontal Este-Oeste.

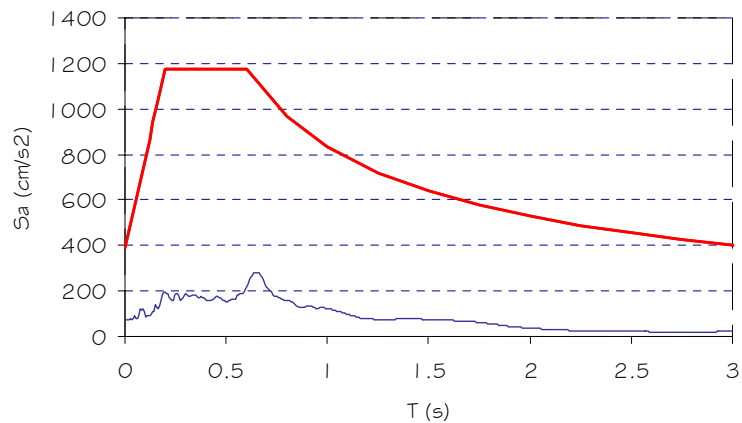
E.A. SANTA ANA (SA)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. SANTA ANA (SA)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

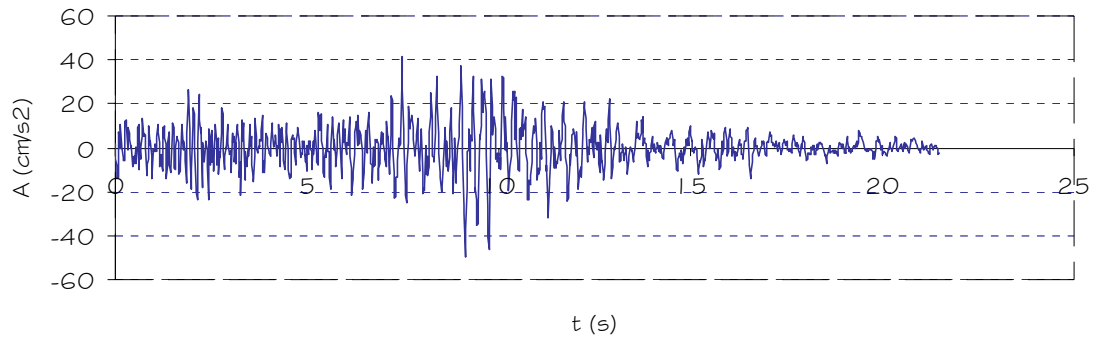


E.A. SANTA ANA (SA)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

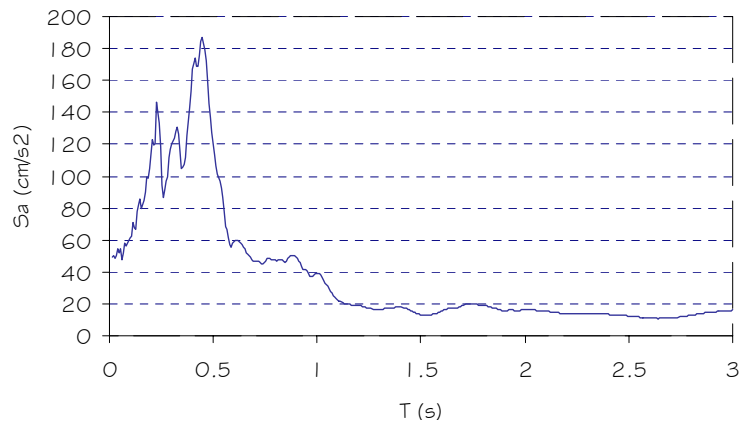


ANEXO 1.8.28. Estación acelerográfica "Santa Ana".
Componente Vertical.

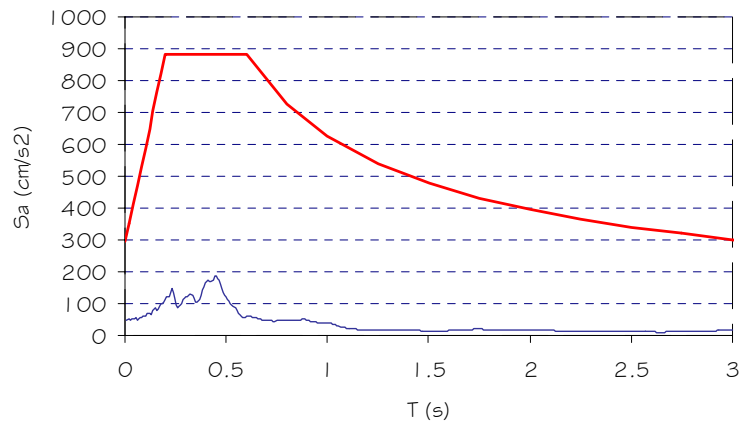
E.A. SANTA ANA (SA)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. SANTA ANA (SA)
COMPONENTE VERTICAL

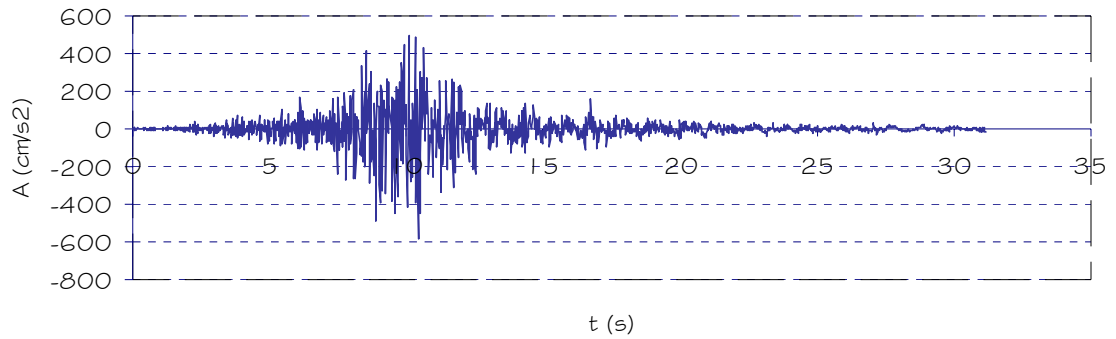


E.A. SANTA ANA (SA)
COMPONENTE VERTICAL

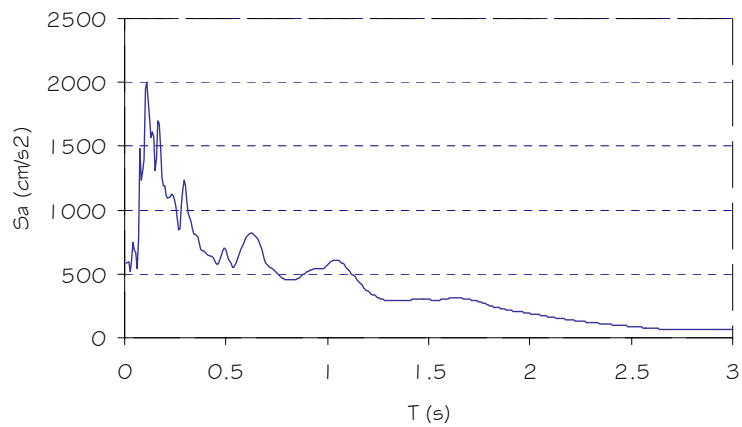


ANEXO I.8.29. Estación acelerográfica "Santa Tecla".
Componente Horizontal Norte-Sur.

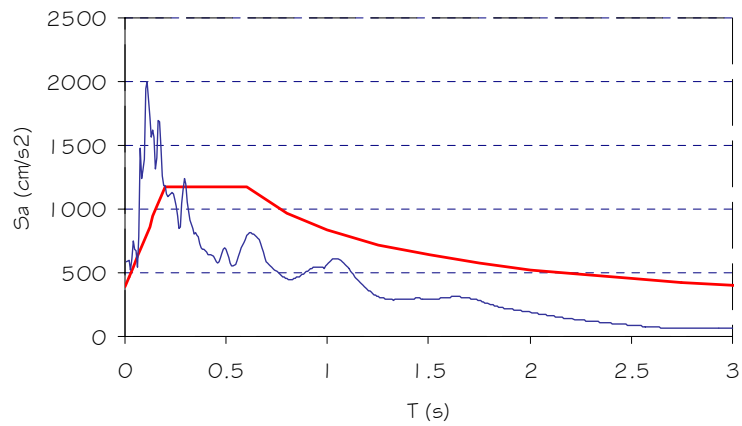
E.A. SANTA TECLA (ST)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. SANTA TECLA (ST)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

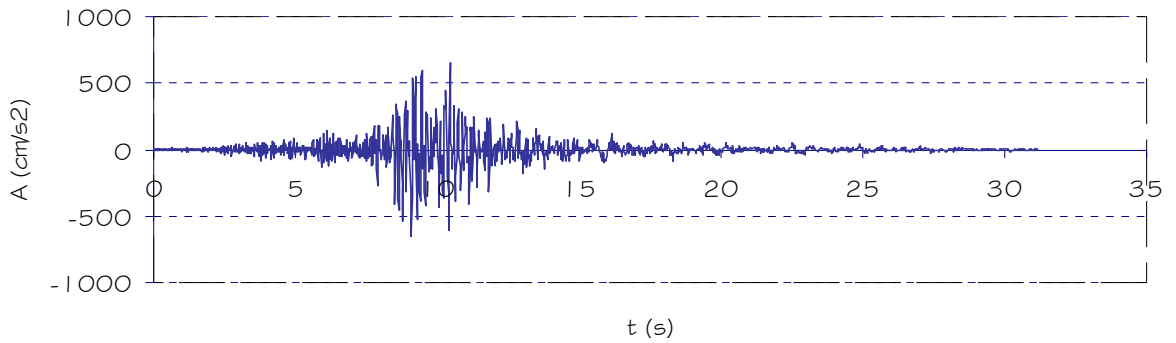


E.A. SANTA TECLA (ST)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

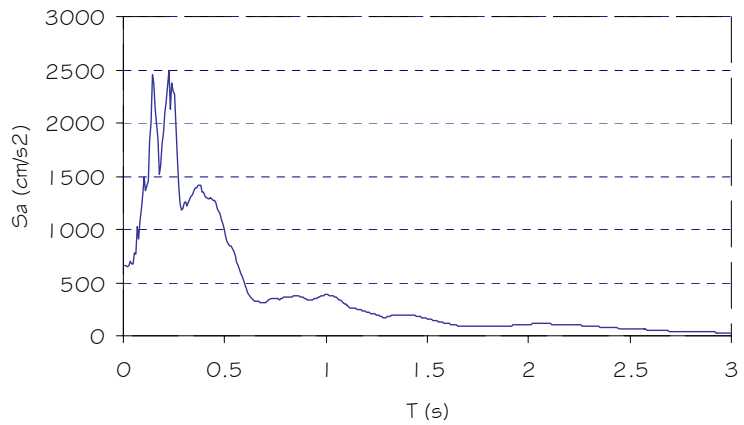


ANEXO I.8.30. Estación acelerográfica "Santa Tecla".
Componente Horizontal Este-Oeste.

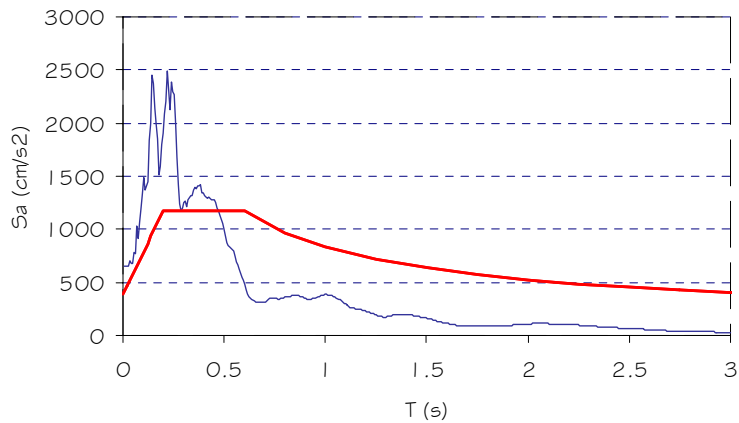
E.A. SANTA TECLA (ST)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. SANTA TECLA (ST)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

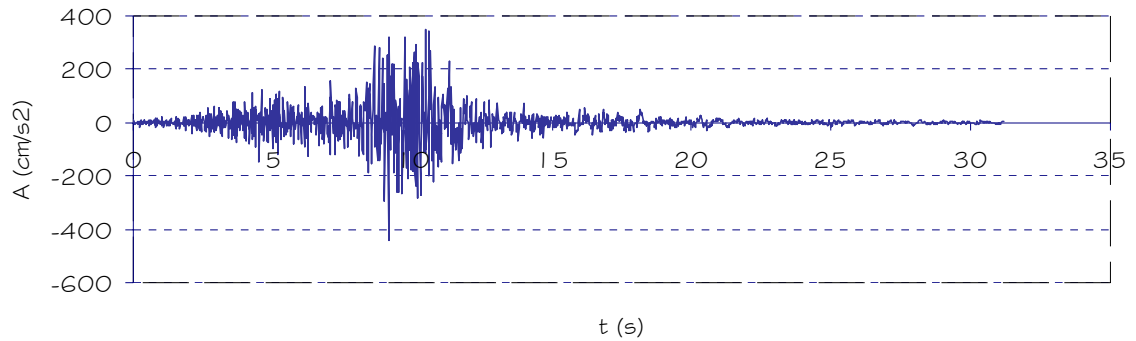


E.A. SANTA TECLA (ST)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

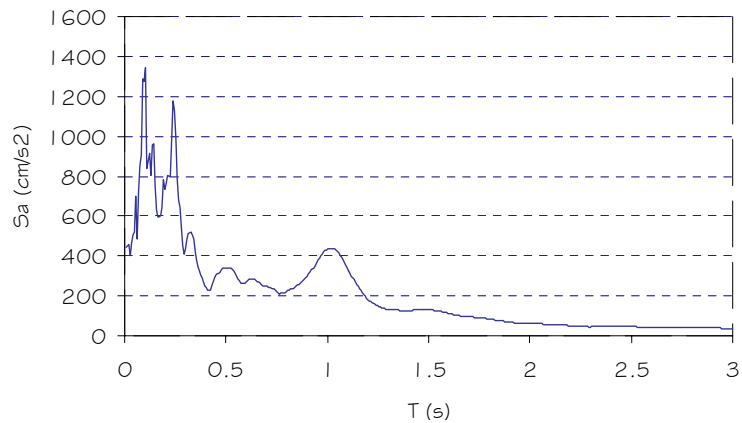


ANEXO 1.8.31. Estación acelerográfica "Santa Tecla".
Componente Vertical.

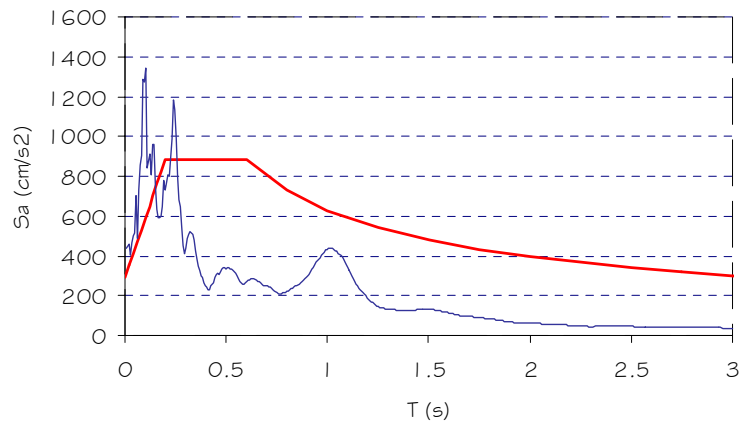
E.A. SANTA TECLA (ST)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. SANTA TECLA (ST)
COMPONENTE VERTICAL

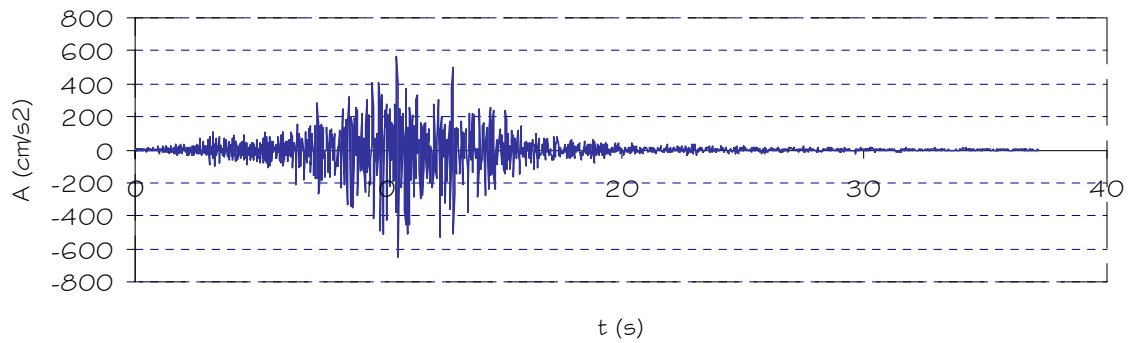


E.A. SANTA TECLA (ST)
COMPONENTE VERTICAL

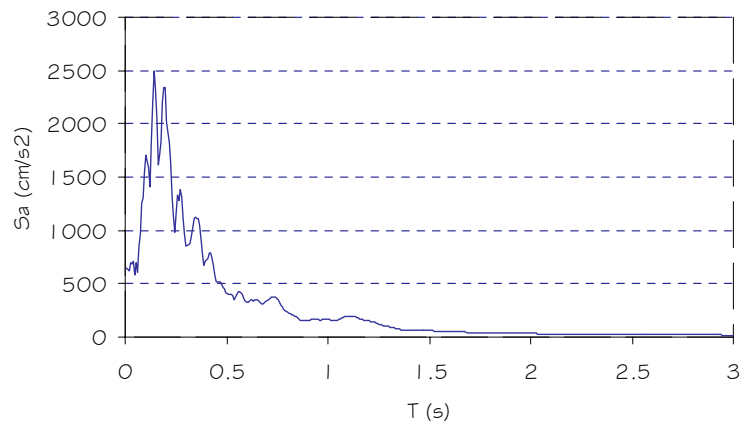


ANEXO I.8.32. Estación acelerográfica "Santiago de María".
Componente Horizontal Norte-Sur.

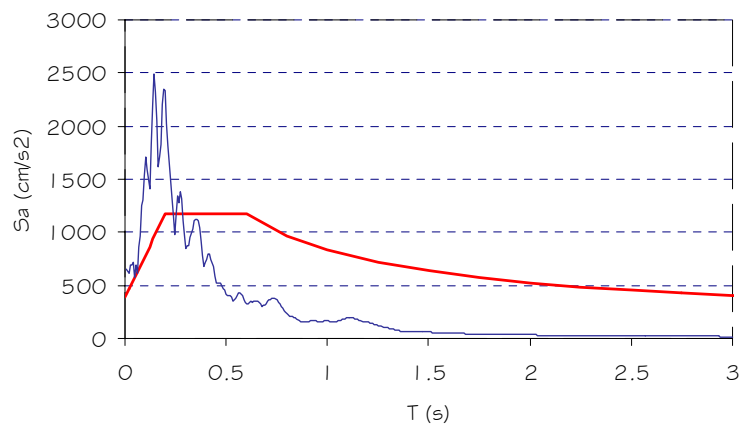
E.A. SANTIAGO DE MARIA (SM)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. SANTIAGO DE MARIA (SM)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

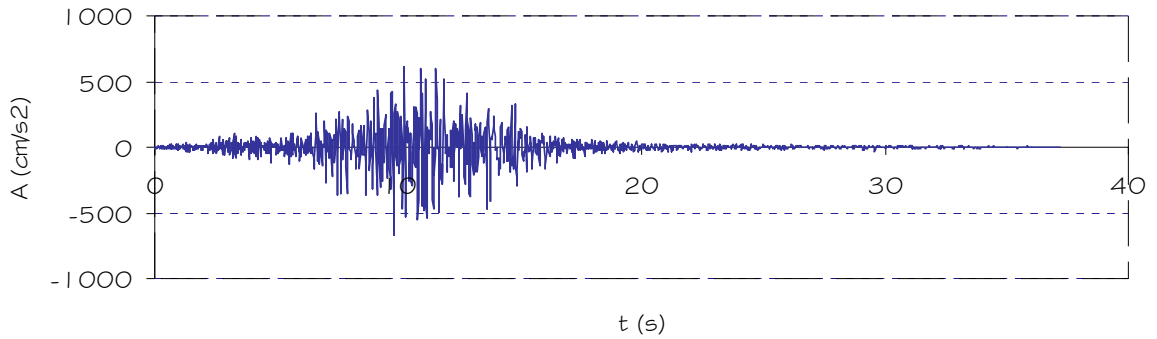


E.A. SANTIAGO DE MARIA (SM)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

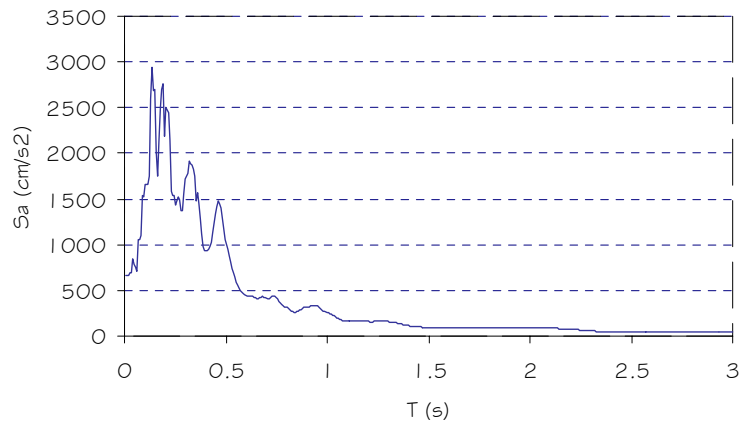


ANEXO I.8.33. Estación acelerográfica "Santiago de María".
Componente Horizontal Este-Oeste.

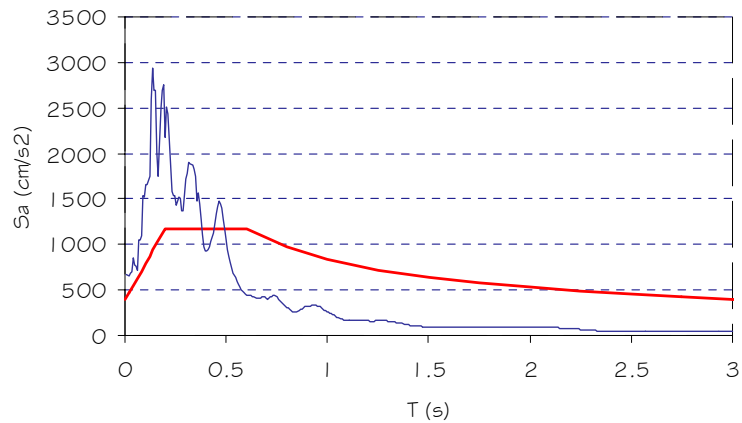
E.A. SANTIAGO DE MARIA (SM)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. SANTIAGO DE MARIA (SM)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

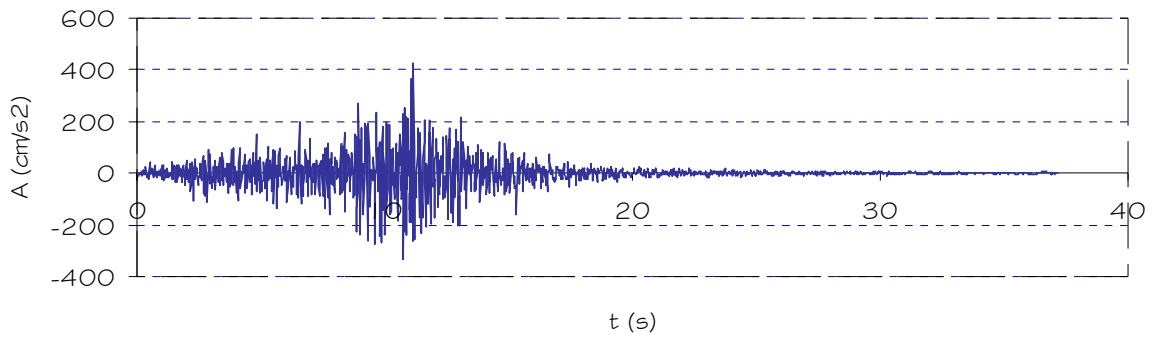


E.A. SANTIAGO DE MARIA (SM)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

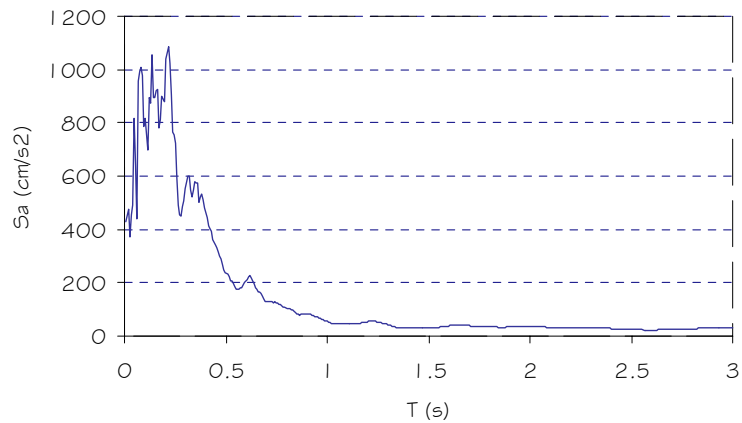


ANEXO I.8.34. Estación acelerográfica "Santiago de María".
Componente Vertical.

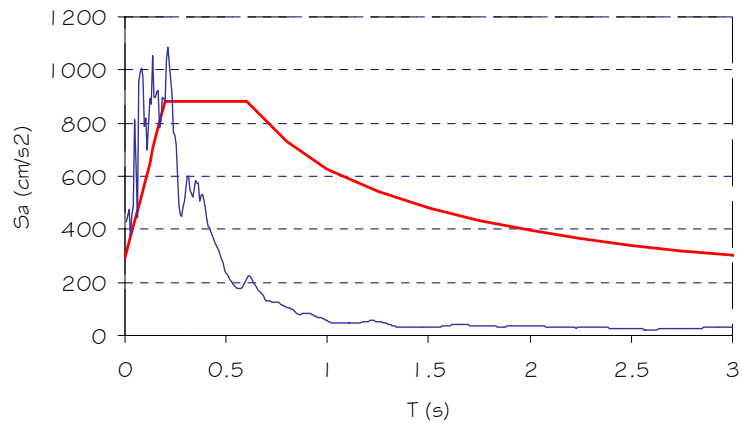
E.A. SANTIAGO DE MARIA (SM)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. SANTIAGO DE MARIA (SM)
COMPONENTE VERTICAL

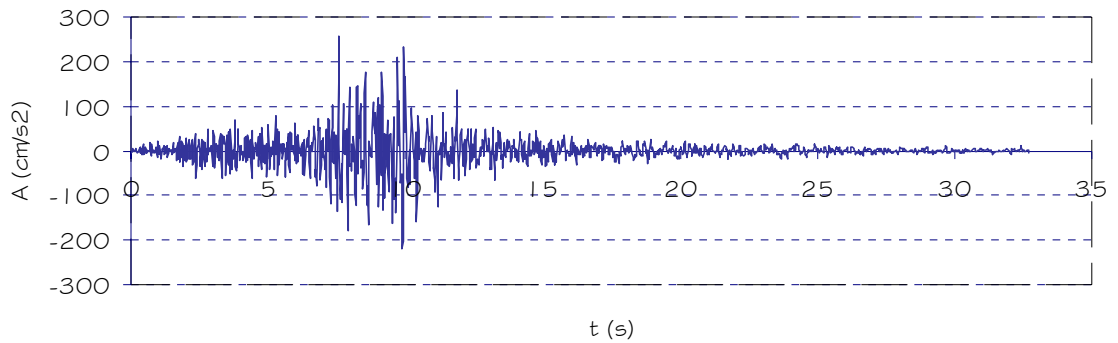


E.A. SANTIAGO DE MARIA (SM)
COMPONENTE VERTICAL

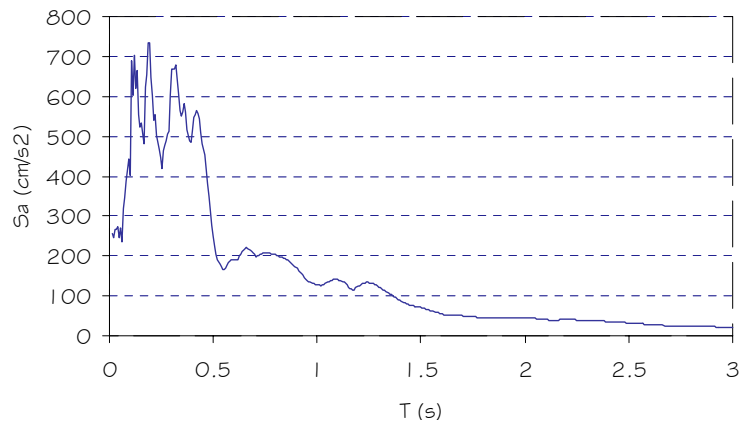


ANEXO I.8.35. Estación acelerográfica "Seminario San José de la Montaña".
Componente Horizontal Norte-Sur.

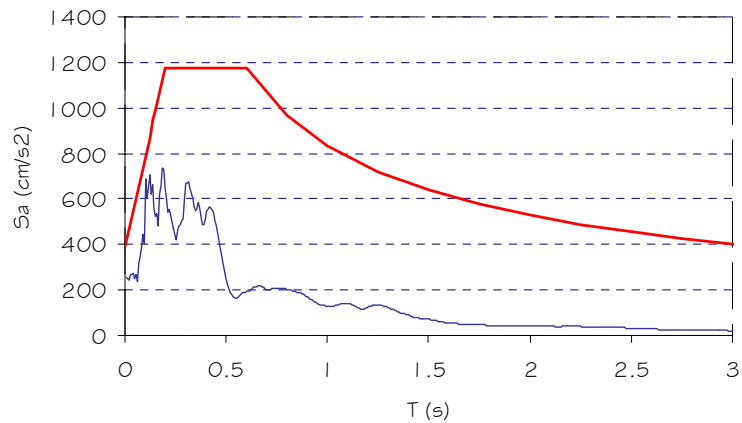
E.A. SEM. SAN JOSE DE LA MONTAÑA (SS)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. SEM. SAN JOSE DE LA MONTAÑA (SS)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

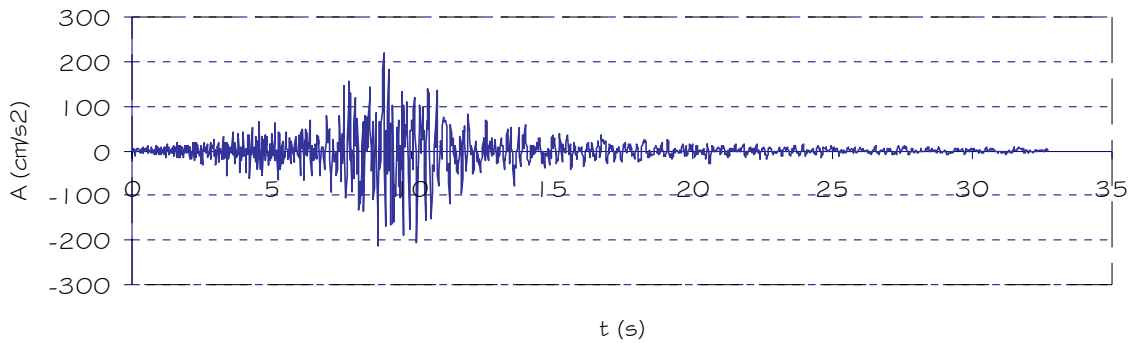


E.A. SEM. SAN JOSE DE LA MONTAÑA (SS)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

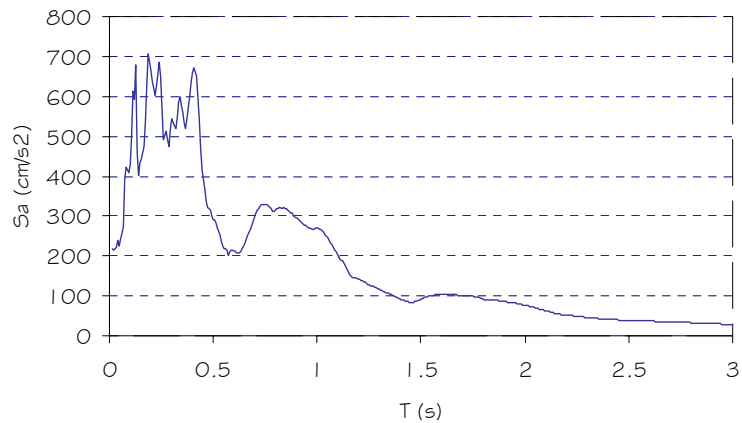


ANEXO I.8.36. Estación acelerográfica "Seminario San José de la Montaña".
Componente Horizontal Este-Oeste.

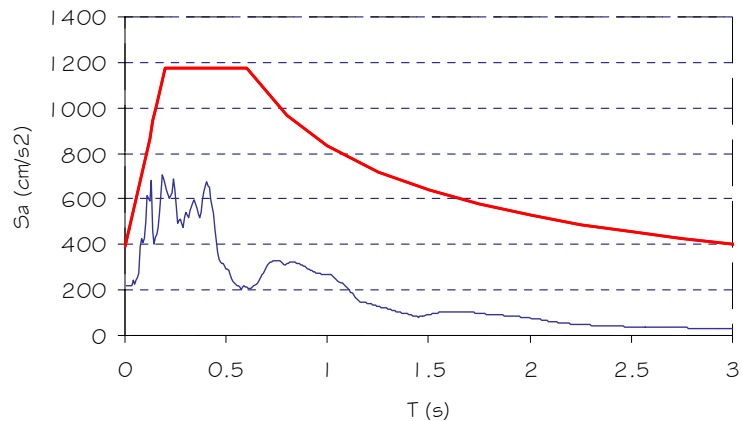
E.A. SEM. SAN JOSE DE LA MONTAÑA (SS)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. SEM. SAN JOSE DE LA MONTAÑA (SS)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

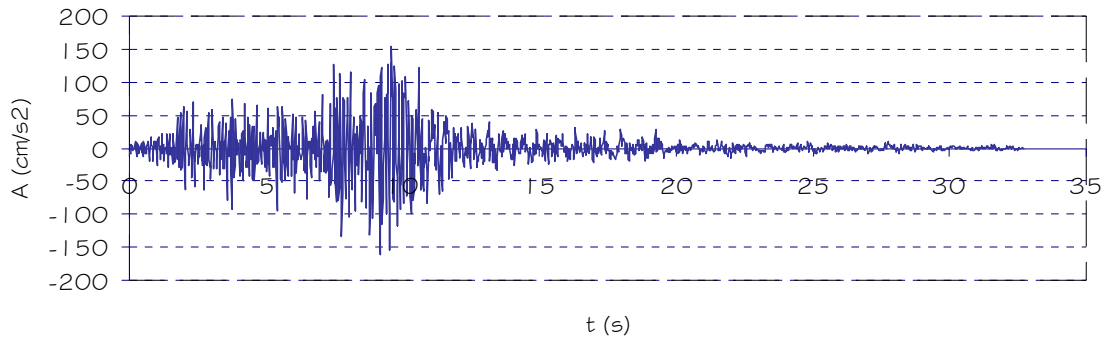


E.A. SEM. SAN JOSE DE LA MONTAÑA (SS)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

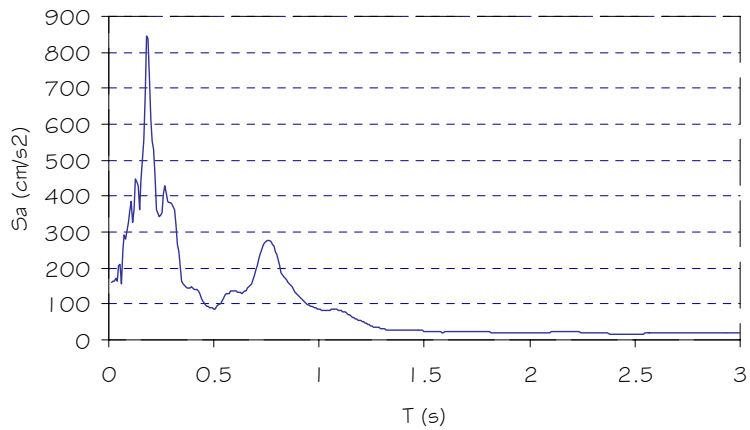


ANEXO I.8.37. Estación acelerográfica "Seminario San José de la Montaña".
Componente Vertical.

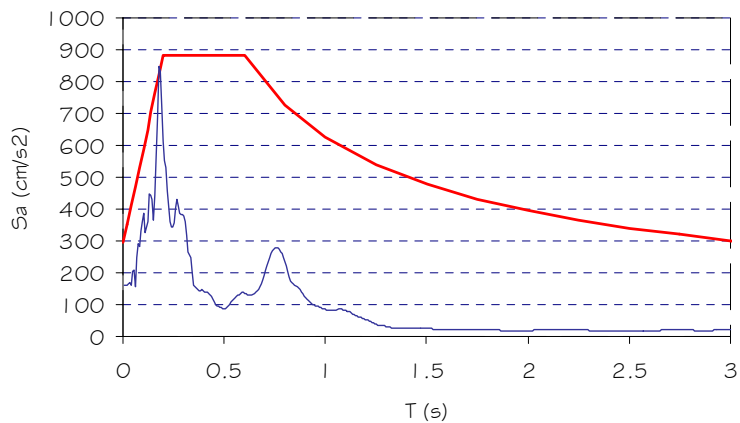
E.A. SEM. SAN JOSE DE LA MONTAÑA (SS)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. SEM. SAN JOSE DE LA MONTAÑA (SS)
COMPONENTE VERTICAL

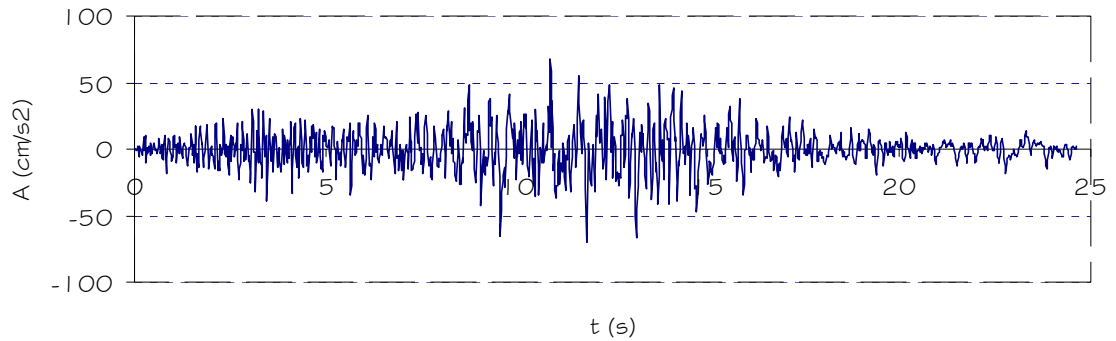


E.A. SEM. SAN JOSE DE LA MONTAÑA (SS)
COMPONENTE VERTICAL

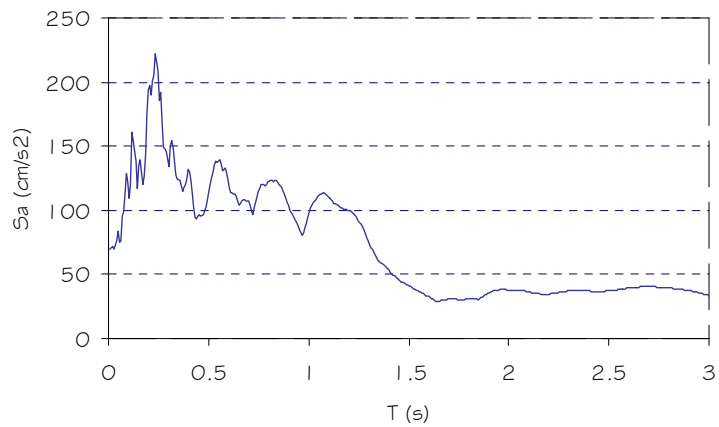


ANEXO I.8.38. Estación acelerográfica "Sensuntepeque".
Componente Horizontal Norte-Sur

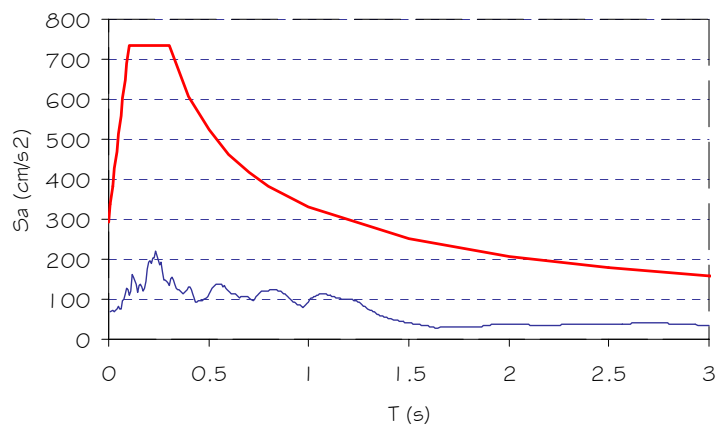
E.A. SENSUNTEPEQUE (SE)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. SENSUNTEPEQUE (SE)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

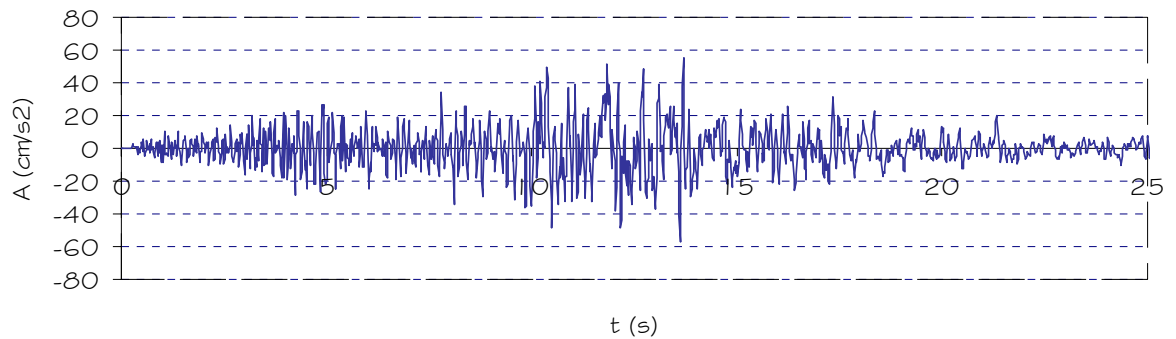


E.A. SENSUNTEPEQUE (SE)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

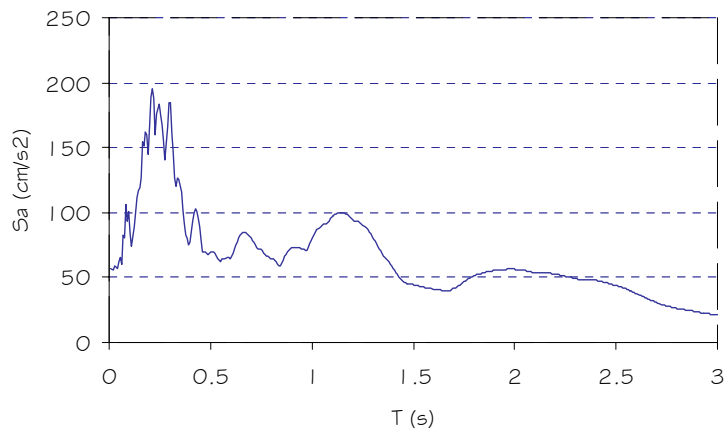


ANEXO I.8.39. Estación acelerográfica "Sensuntepeque".
Componente Horizontal Este-Oeste.

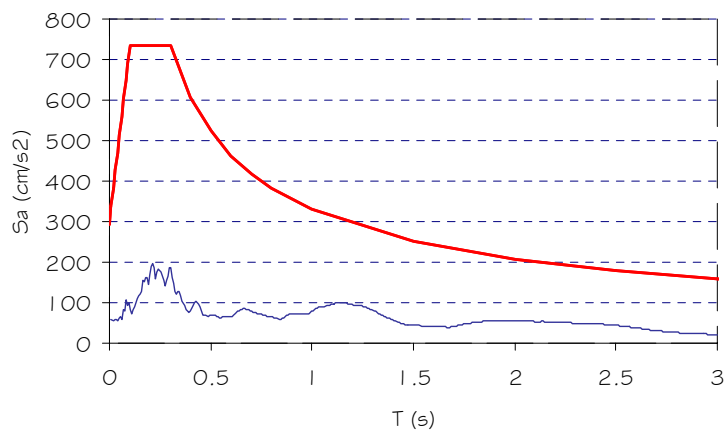
E.A. SENSUNTEPEQUE (SE)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. SENSUNTEPEQUE (SE)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

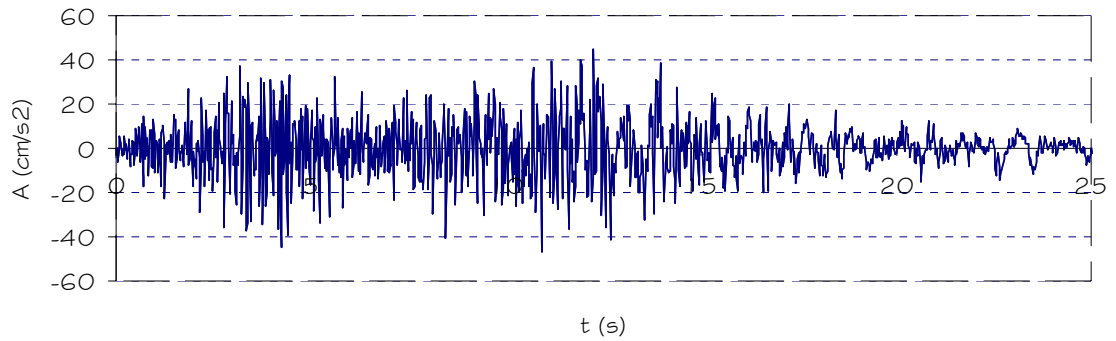


E.A. SENSUNTEPEQUE (SE)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

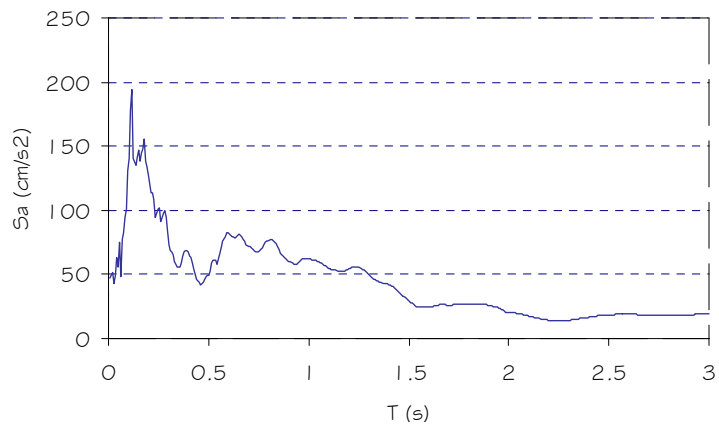


ANEXO I.8.40. Estación acelerográfica "Sensuntepeque".
Componente Vertical.

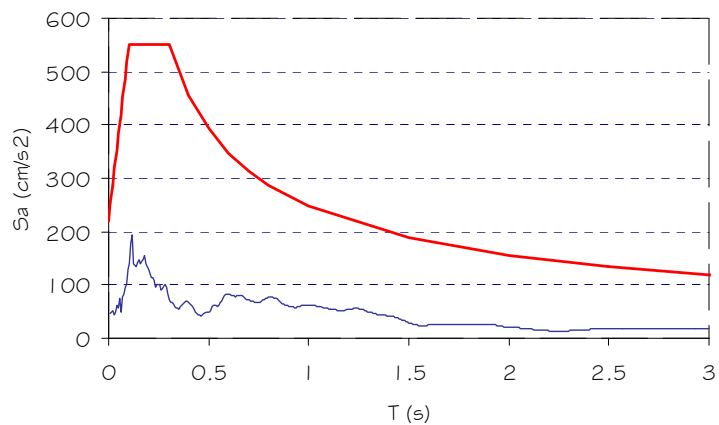
E.A. SENSUNTEPEQUE (SE)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. SENSUNTEPEQUE (SE)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

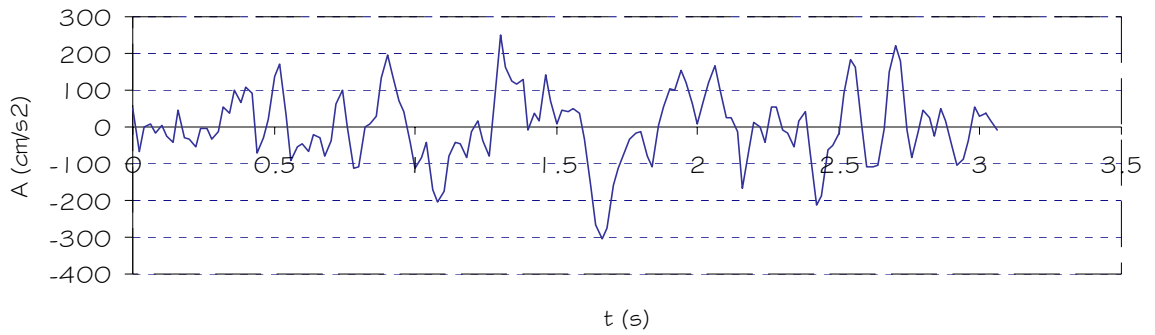


E.A. SENSUNTEPEQUE (SE)
COMPONENTE VERTICAL

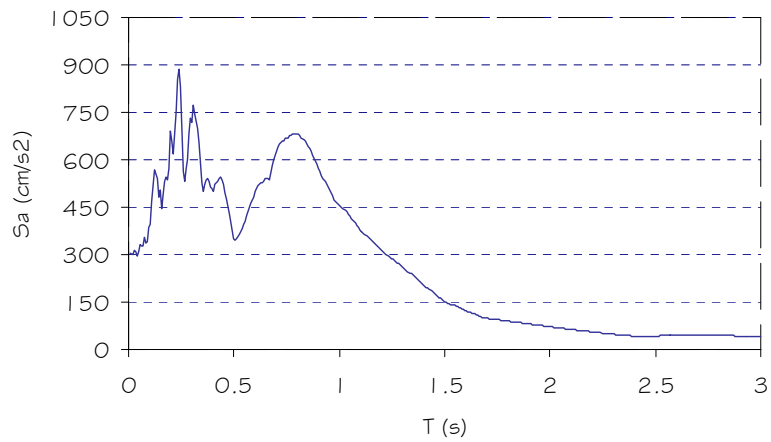


ANEXO 1.8.41. Estación acelerográfica "Viveros de DUA".
Componente Horizontal Norte-Sur.

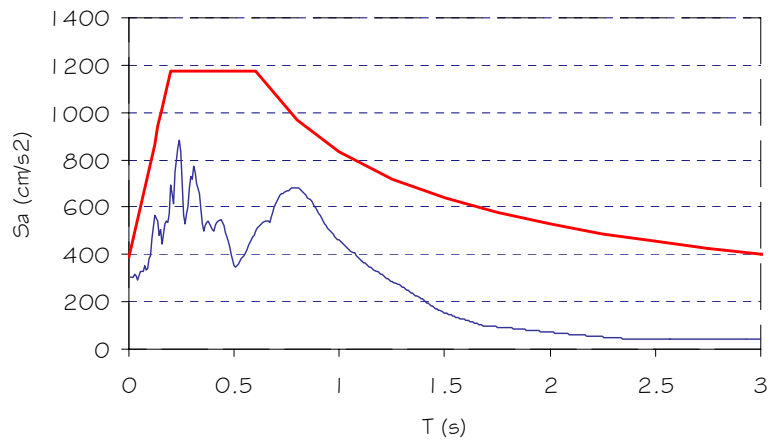
E.A. VIVEROS DE DUA (VS)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. VIVEROS DE DUA (VS)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

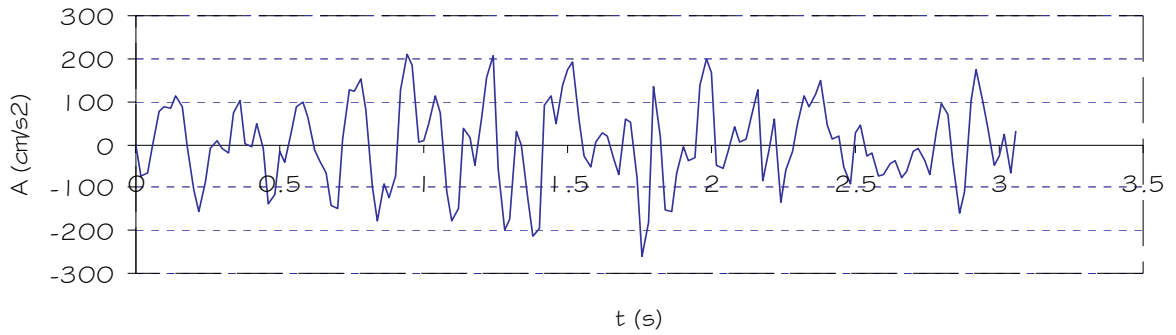


E.A. VIVEROS DE DUA (VS)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

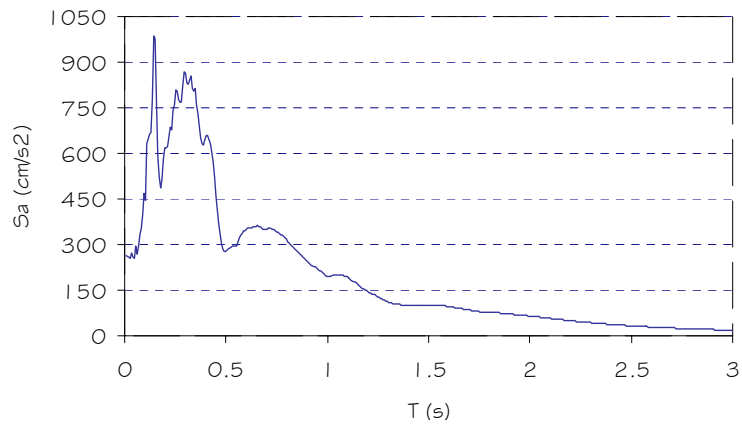


ANEXO I.8.42. Estación acelerográfica "Viveros de DUA".
Componente Horizontal Este-Oeste.

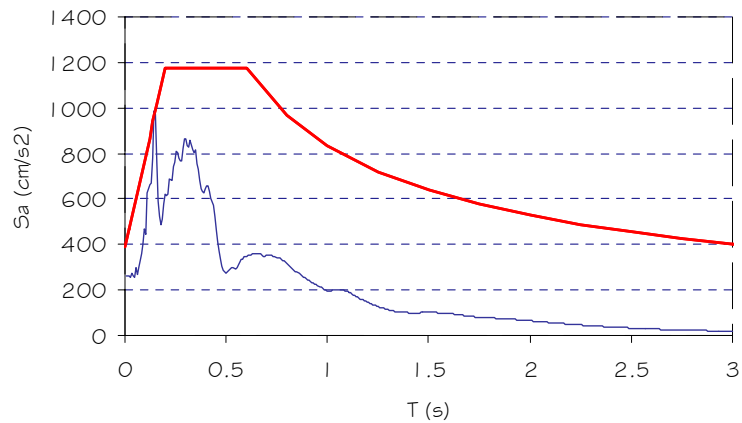
E.A. VIVEROS DE DUA (VS)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. VIVEROS DE DUA (VS)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

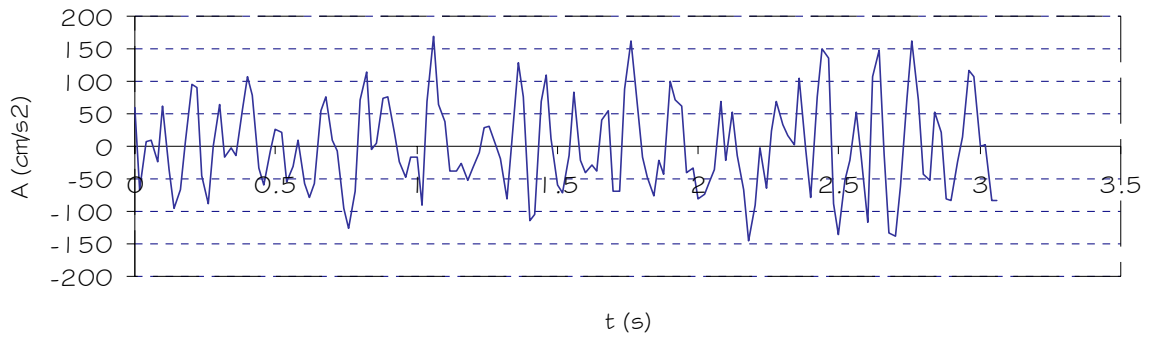


E.A. VIVEROS DE DUA (VS)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

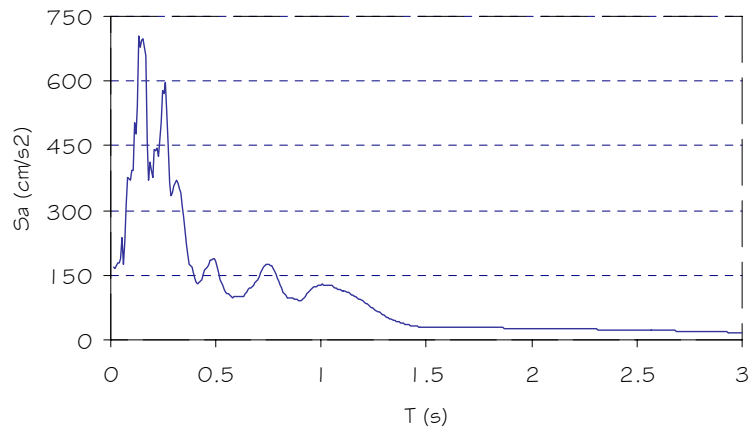


ANEXO I.8.43. Estación acelerográfica "Viveros de DUA".
Componente Vertical.

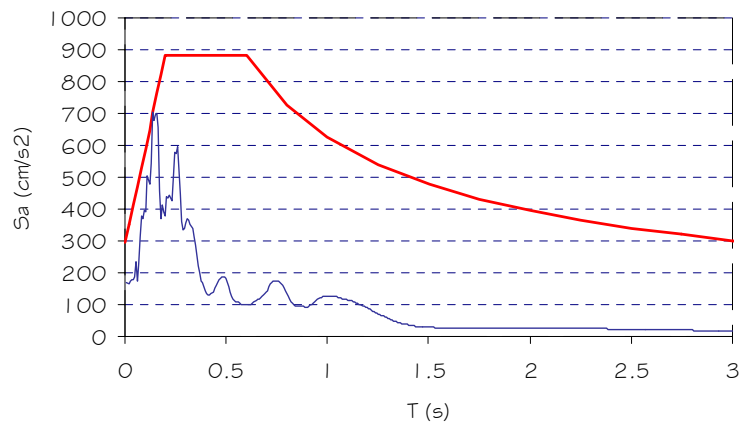
E.A. VIVEROS DE DUA (VS)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. VIVEROS DE DUA (VS)
COMPONENTE VERTICAL

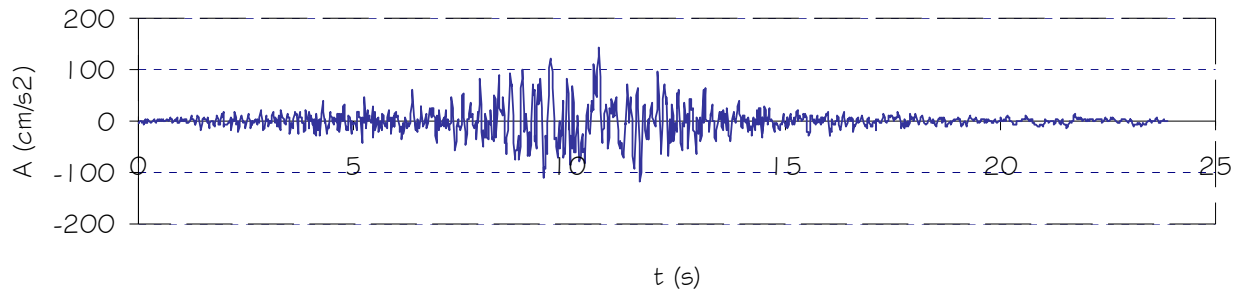


E.A. VIVEROS DE DUA (VS)
COMPONENTE VERTICAL

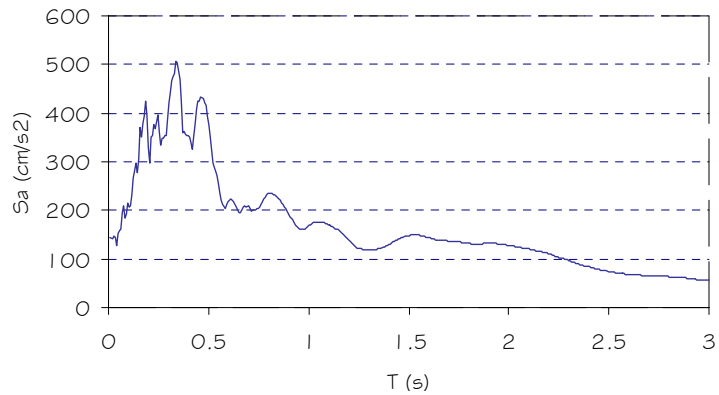


ANEXO 1.8.44. Estación acelerográfica "Presa 15 de Septiembre".
Componente Horizontal Norte-Sur.

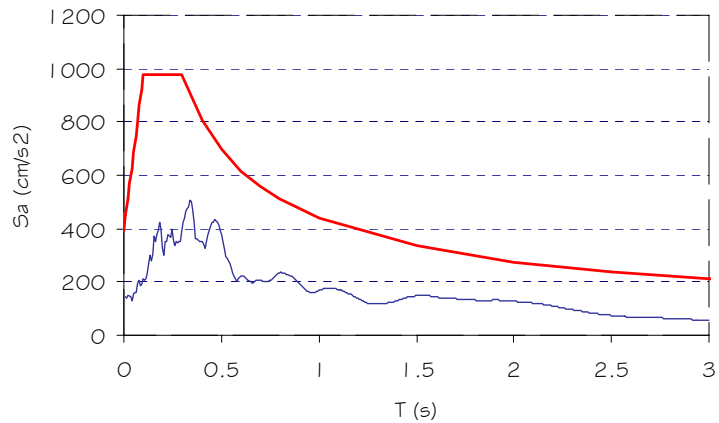
E.A. PRESA 15 DE SEPTIEMBRE (QC)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. PRESA 15 DE SEPTIEMBRE (QC)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

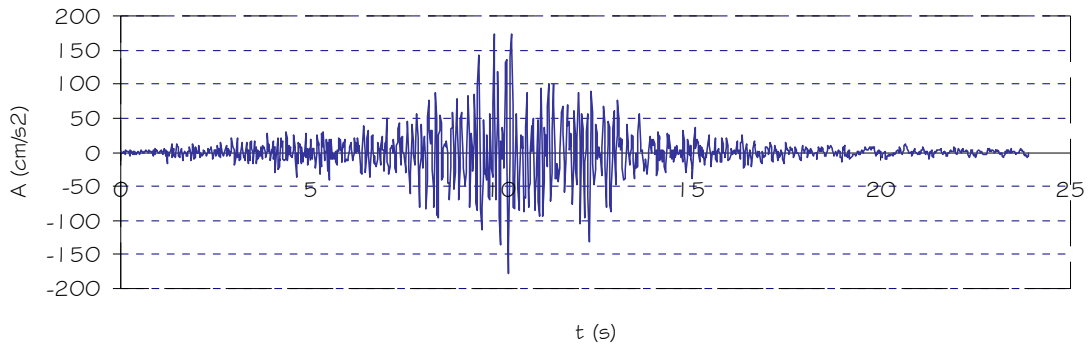


E.A. PRESA 15 DE SEPTIEMBRE (QC)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

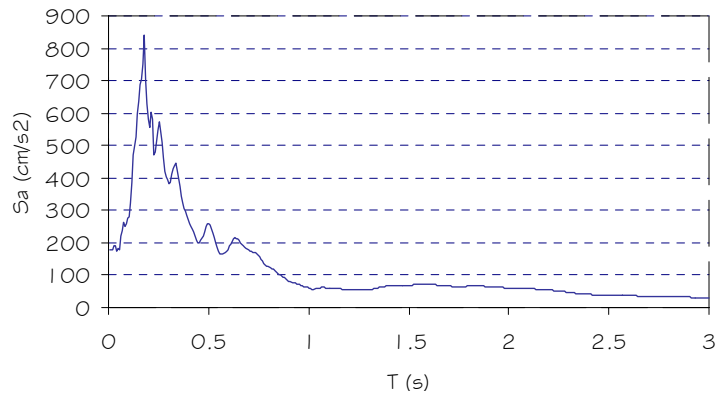


ANEXO 1.8.45. Estación acelerográfica "Presa 15 de Septiembre".
Componente Horizontal Este-Oeste.

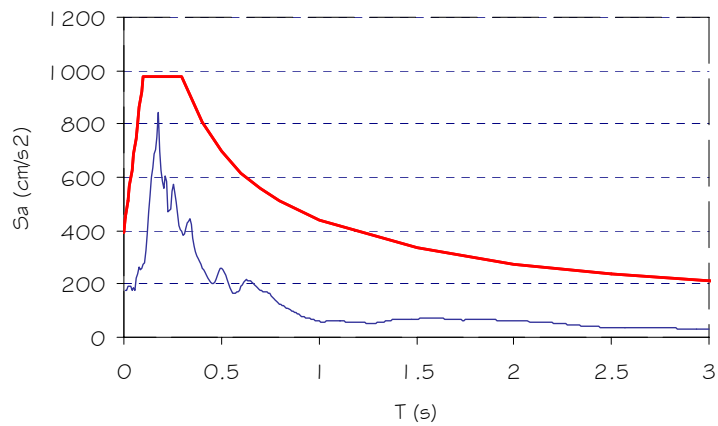
E.A. PRESA 15 DE SEPTIEMBRE (QC)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. PRESA 15 DE SEPTIEMBRE (QC)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

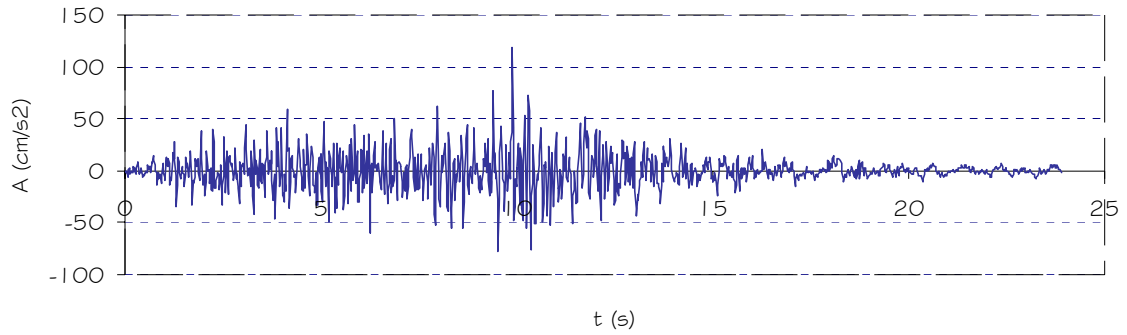


E.A. PRESA 15 DE SEPTIEMBRE (QC)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

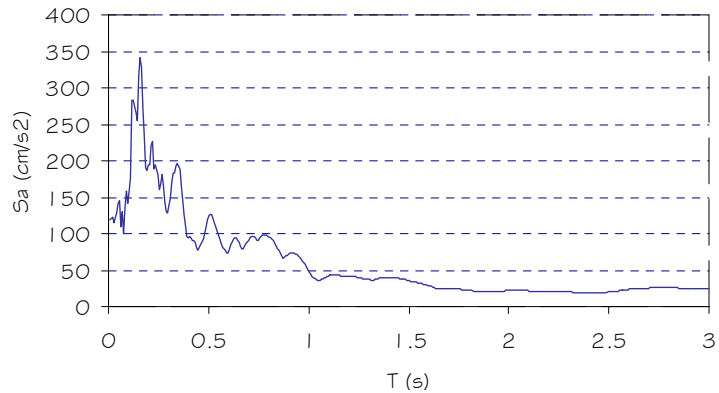


ANEXO 1.8.46. Estación acelerográfica "Presa 15 de Septiembre".
Componente Vertical.

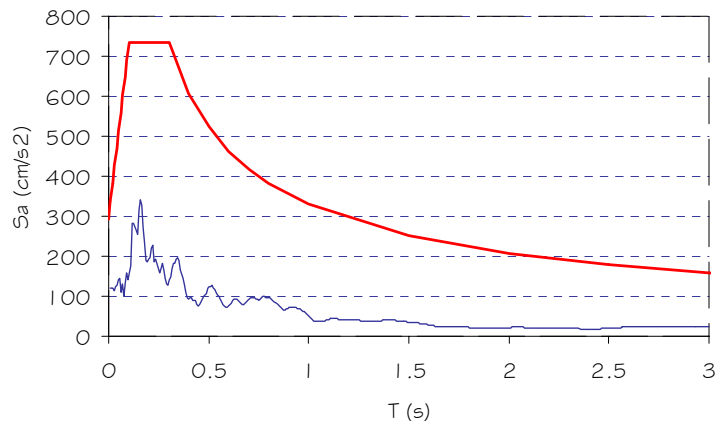
E.A. PRESA 15 DE SEPTIEMBRE (QC)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. PRESA 15 DE SEPTIEMBRE (QC)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O



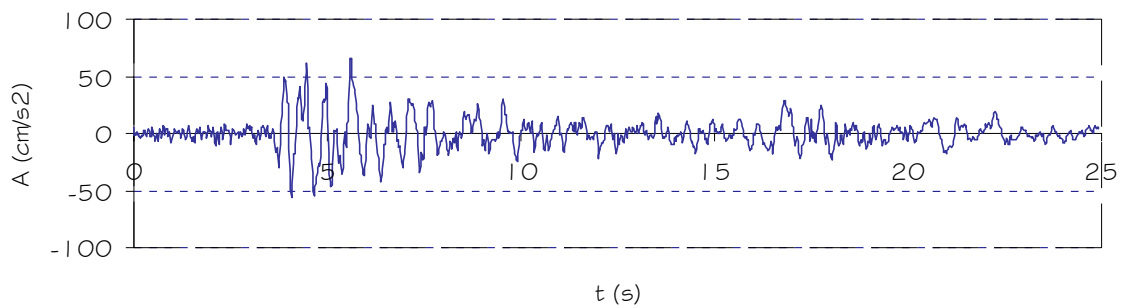
E.A. PRESA 15 DE SEPTIEMBRE (QC)
COMPONENTE VERTICAL



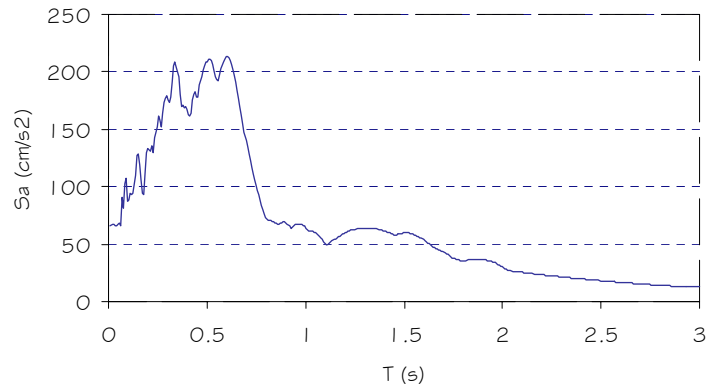
ANEXO 1.9. ACELEROGRAMAS, ESPECTROS DE RESPUESTA Y COMPARACION GRAFICA ENTRE ESPECTROS DE DISEÑO DE LA NTD5-94 Y ESPECTROS DE RESPUESTA PARA EL SISMO DEL 13 DE FEBRERO DE 2001.

ANEXO 1.9.1. Estación acelerográfica "Centro de Investigaciones Geotécnicas".
Componente Horizontal Norte-Sur.

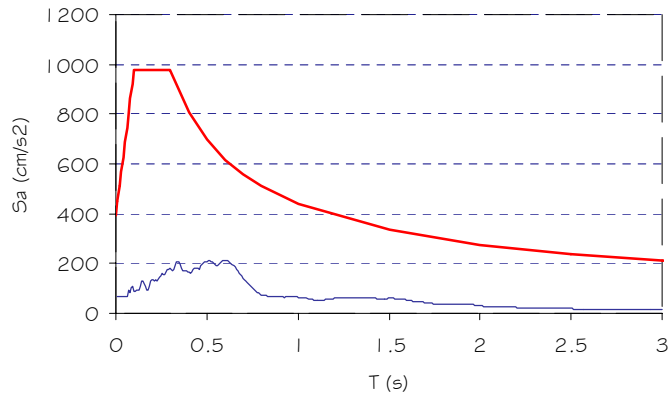
E.A. CIG (CI)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. CIG (CI)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

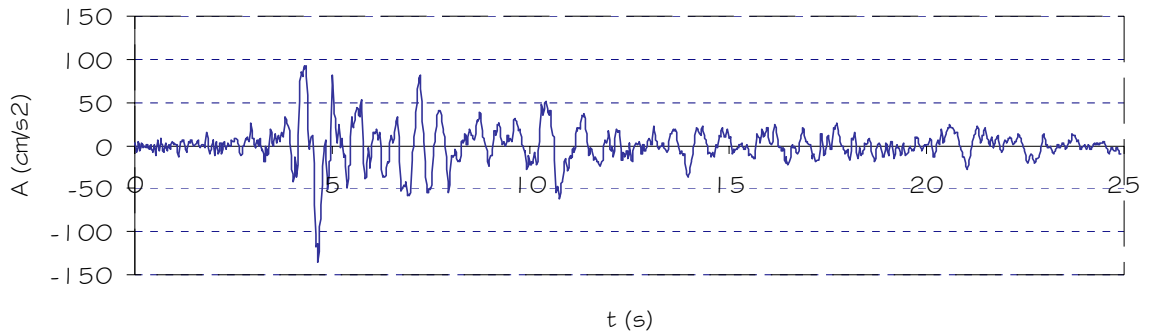


E.A. CIG (CI)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

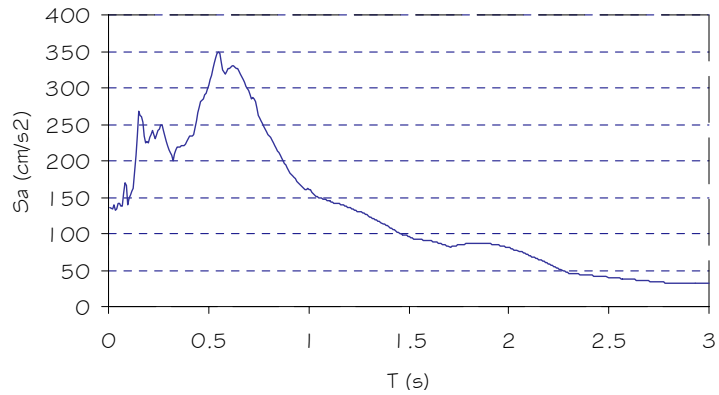


ANEXO 1.9.2. Estación acelerográfica "Centro de Investigaciones Geotécnicas".
Componente Horizontal Este-oeste.

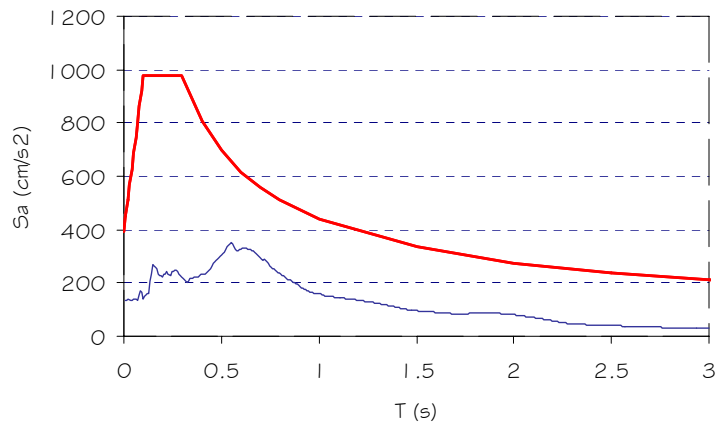
E.A. CIG (CI)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. CIG (CI)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

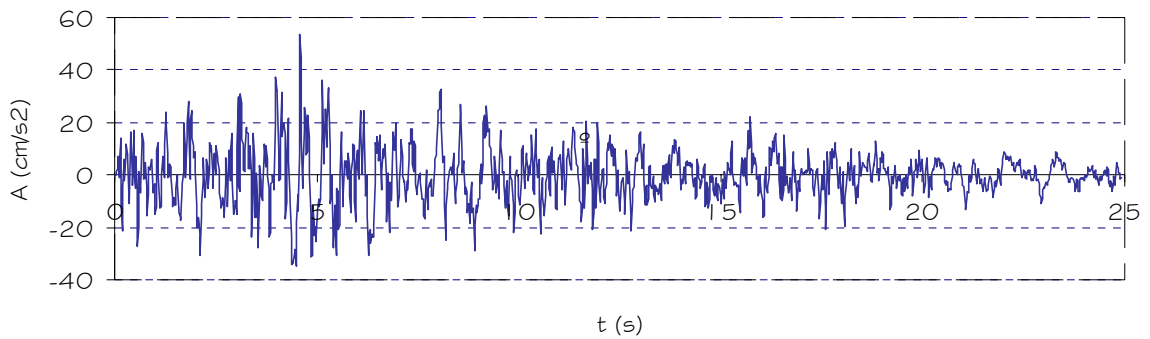


E.A. CIG (CI)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

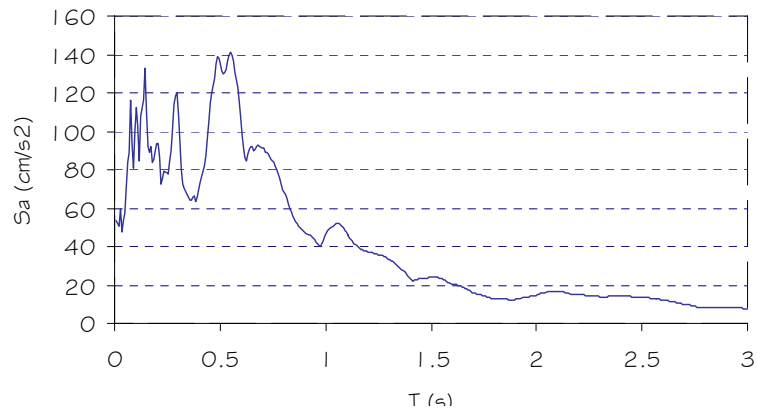


ANEXO I.9.3. Estación acelerográfica "Centro de Investigaciones Geotécnicas".
Componente Vertical.

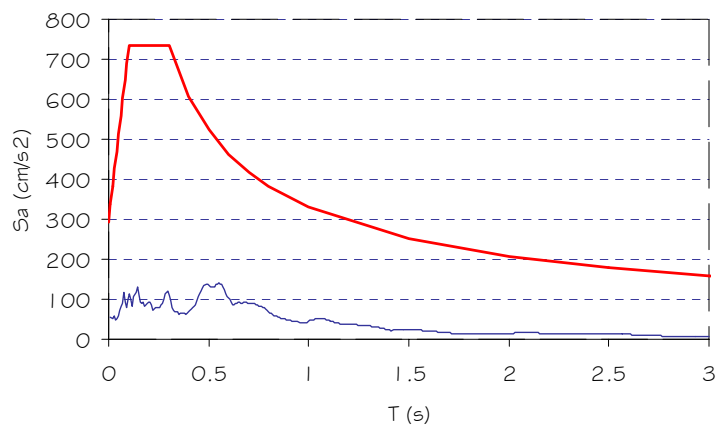
E.A. CIG (CI)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. CIG (CI)
COMPONENTE VERTICAL

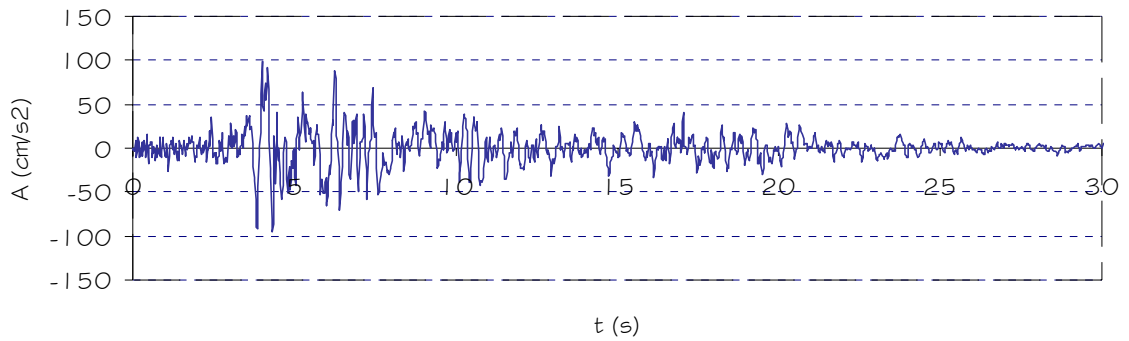


E.A. CIG (CI)
COMPONENTE VERTICAL

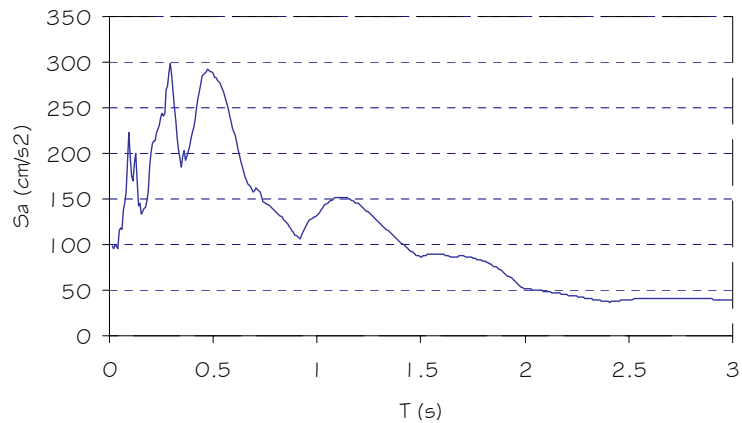


ANEXO I.9.4. Estación acelerográfica "Ciudadela Don Bosco".
Componente Horizontal Norte-Sur.

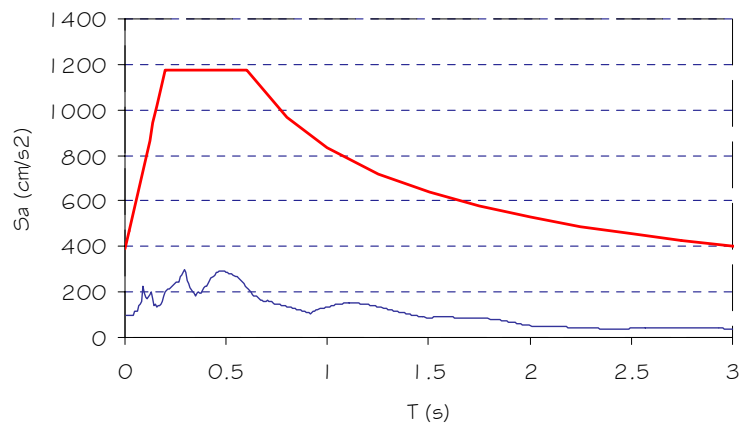
E.A. CIUADAELA DON BOSCO (DB)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. CIUADAELA DON BOSCO (DB)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

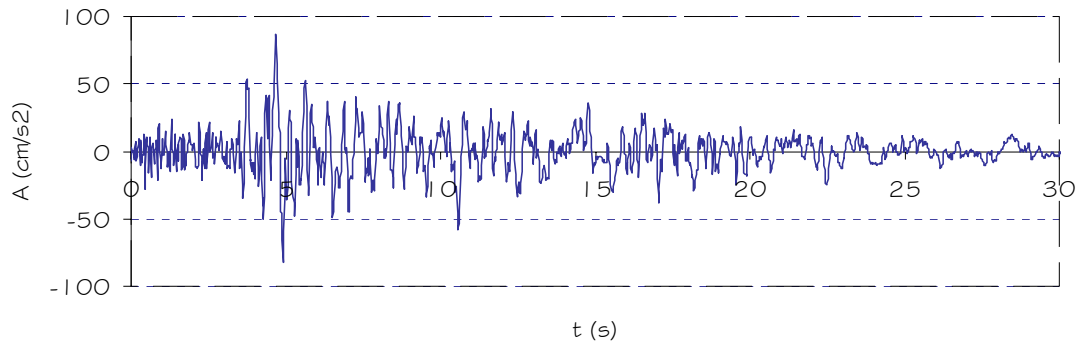


E.A. CIUADAELA DON BOSCO (DB)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

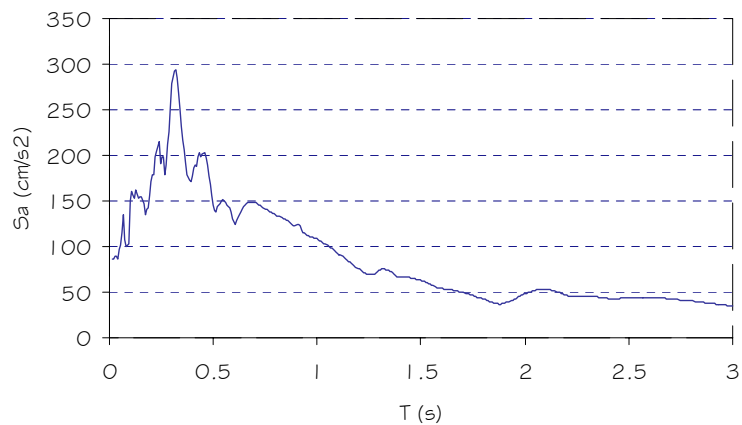


ANEXO I.9.5. Estación acelerográfica "Ciudadela Don Bosco".
Componente Horizontal Este-Oeste.

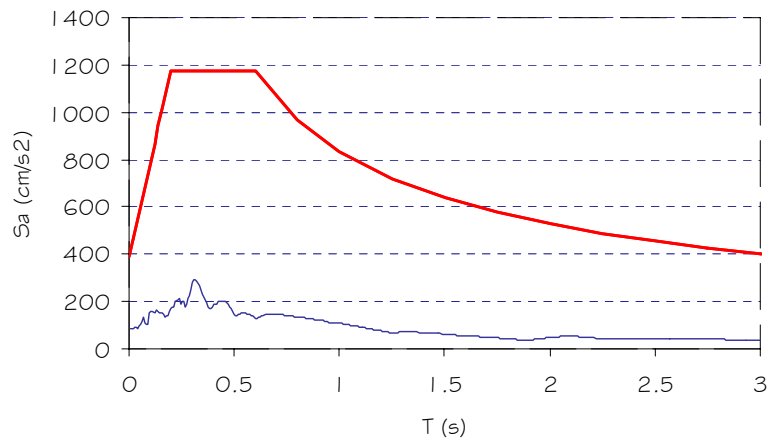
E.A. CIUADDELA DON BOSCO (DB)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. CIUADDELA DON BOSCO (DB)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

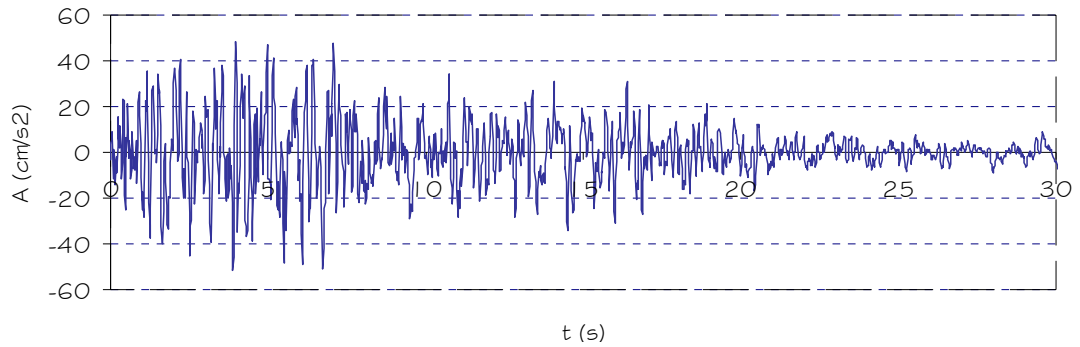


E.A. CIUADDELA DON BOSCO (DB)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

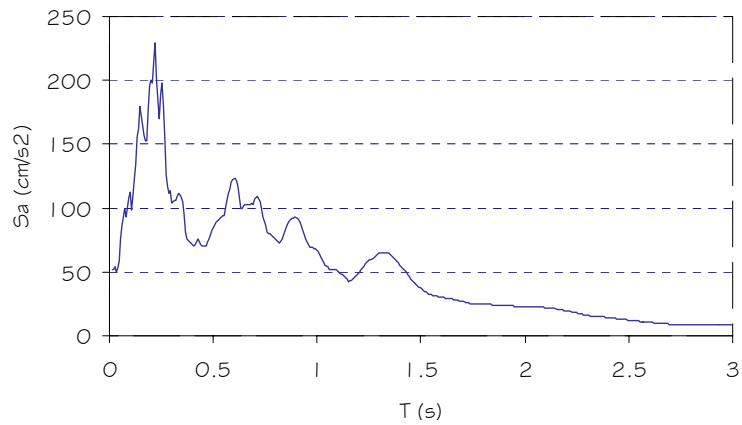


ANEXO 1.9.6. Estación acelerográfica "Ciudadela Don Bosco".
Componente Vertical.

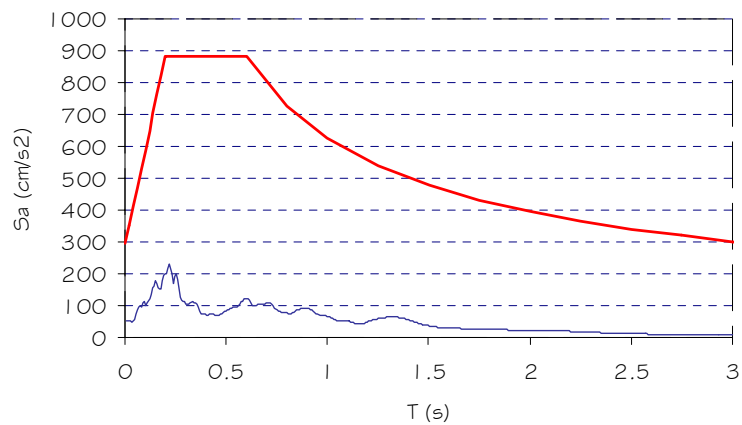
E.A. CIUADELA DON BOSCO (DB)
Acelerograma Componente Vertical



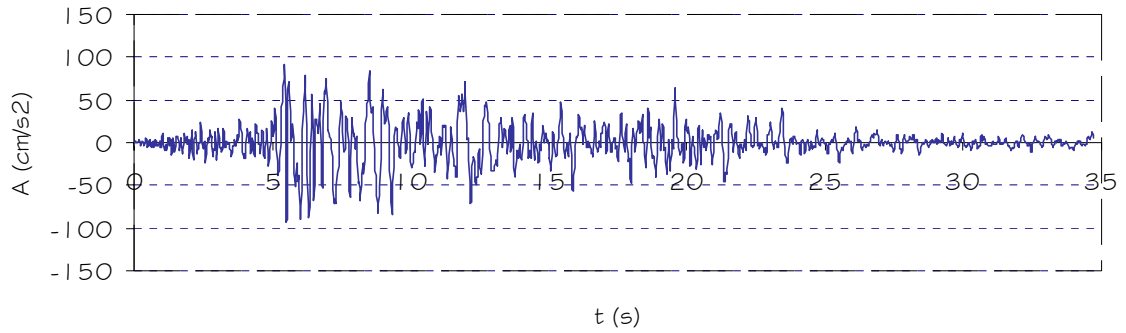
E.A. CIUADELA DON BOSCO (DB)
COMPONENTE VERTICAL



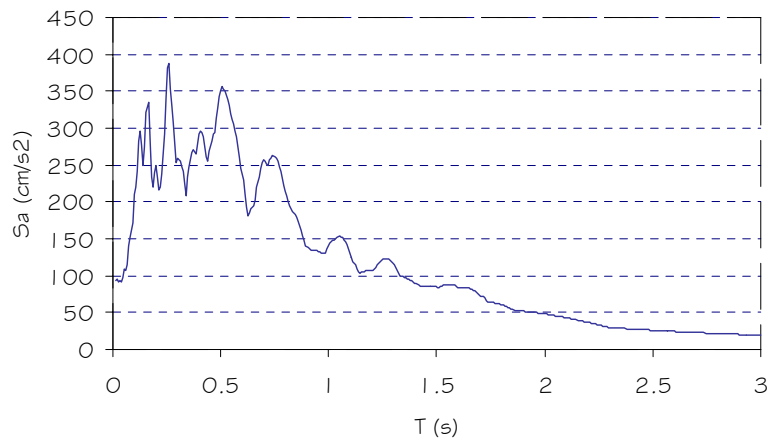
E.A. CIUADELA DON BOSCO (DB)
COMPONENTE VERTICAL



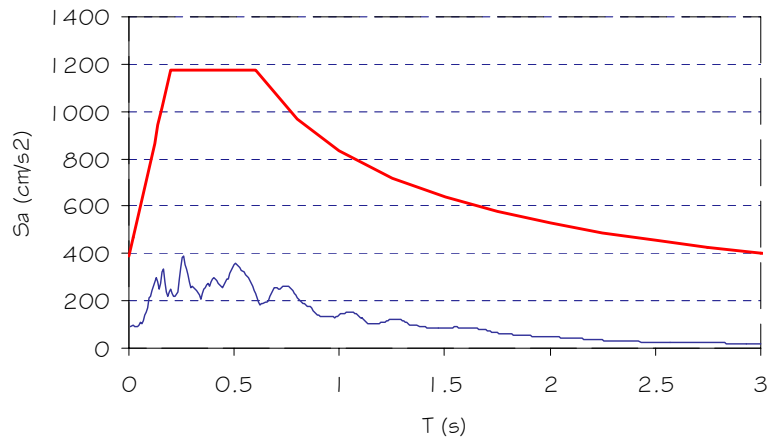
ANEXO I.9.7. Estación acelerográfica "Observatorio CIG".
Componente Horizontal Norte-Sur.
E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



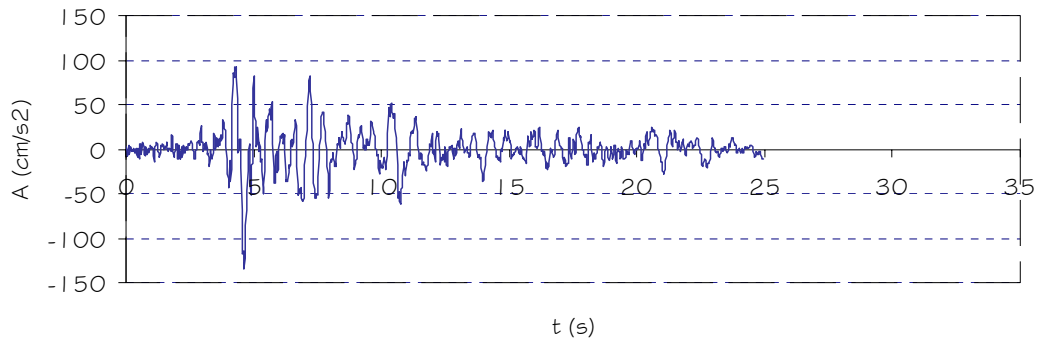
E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S



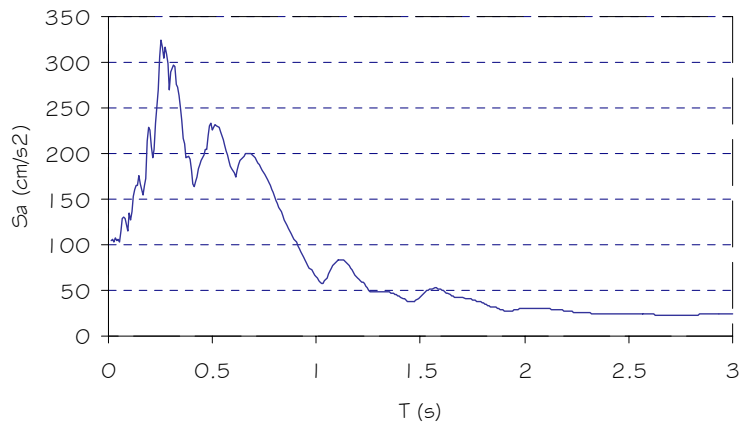
E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S



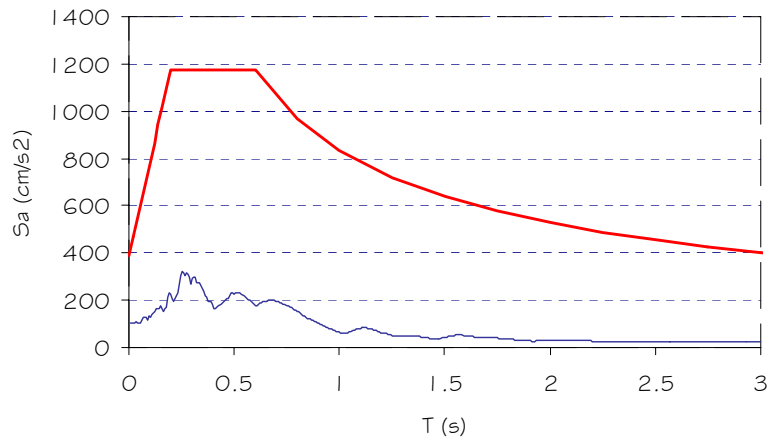
ANEXO I.9.8. Estación acelerográfica "Observatorio CIG".
Componente Horizontal Este-Oeste.
E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



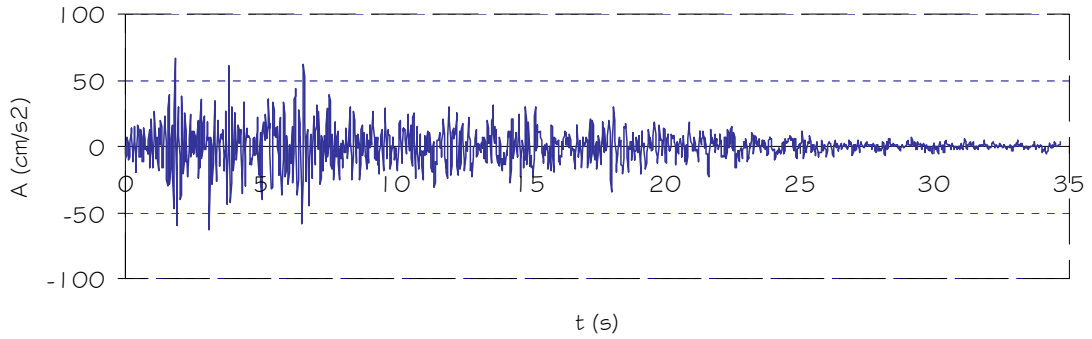
E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O



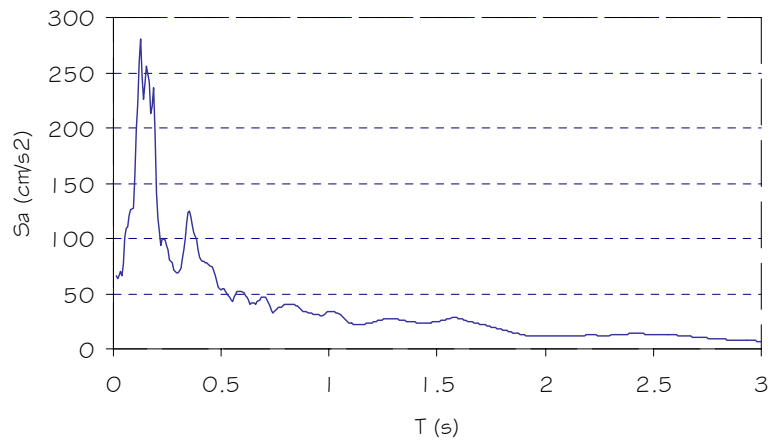
E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O



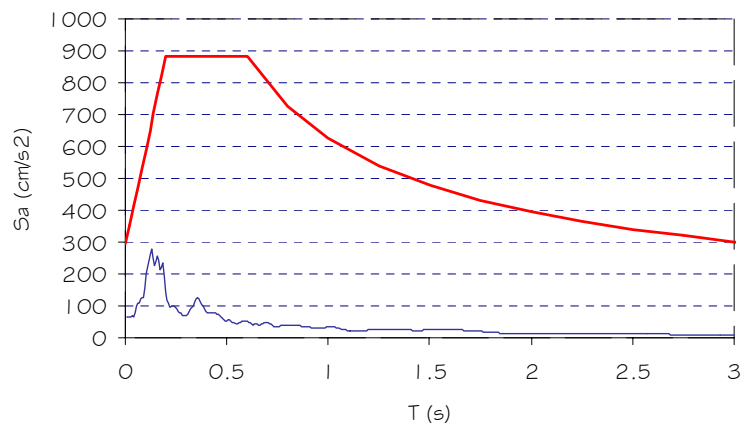
ANEXO 1.9.10. Estación acelerográfica "Observatorio CIG".
 Componente Vertical.
 E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
 Acelerograma Componente Vertical



E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
 COMPONENTE VERTICAL

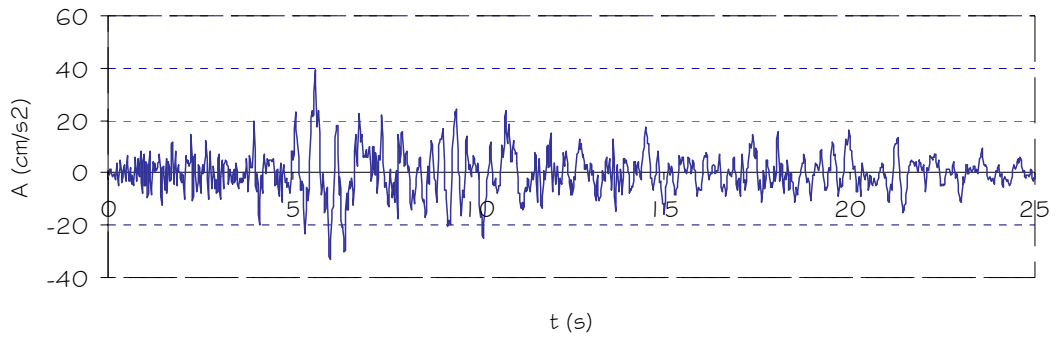


E.A. OBSERVATORIO CIG (OB)
 COMPONENTE VERTICAL

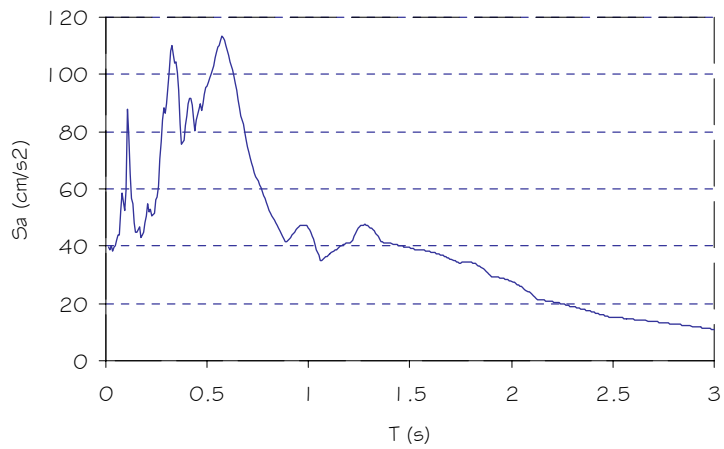


ANEXO 1.9.11. Estación acelerográfica "Relaciones Exteriores (Fondo)".
Componente Horizontal Norte-Sur.

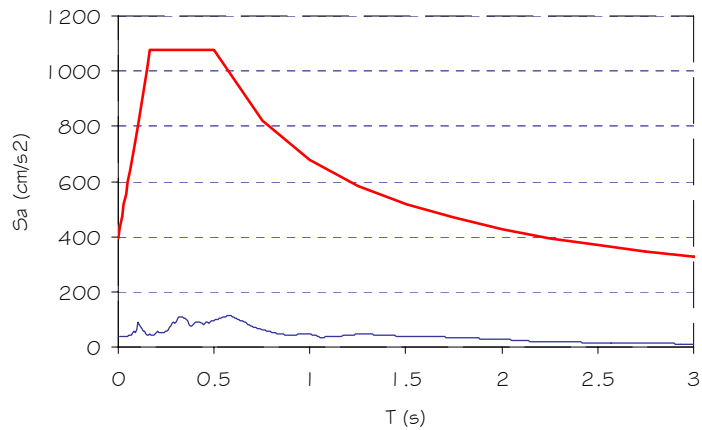
E.A. RELACIONES EXTERIORES (FONDO) (RF)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. RELACIONES EXTERIORES (FONDO) (RF)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

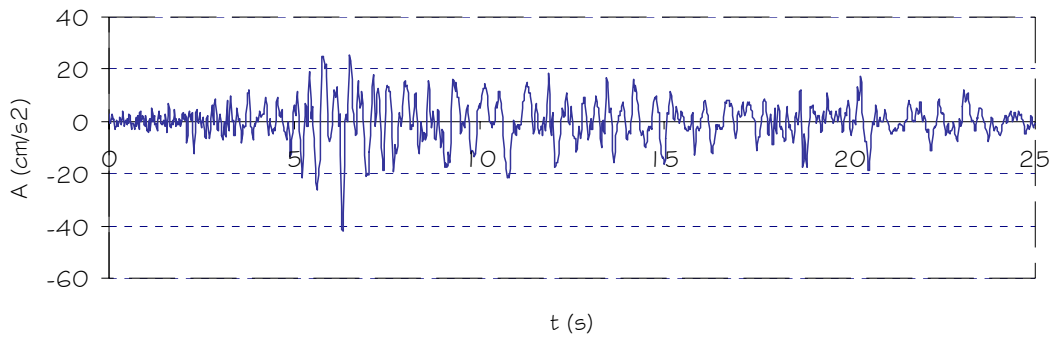


E.A. RELACIONES EXTERIORES (FONDO) (RF)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

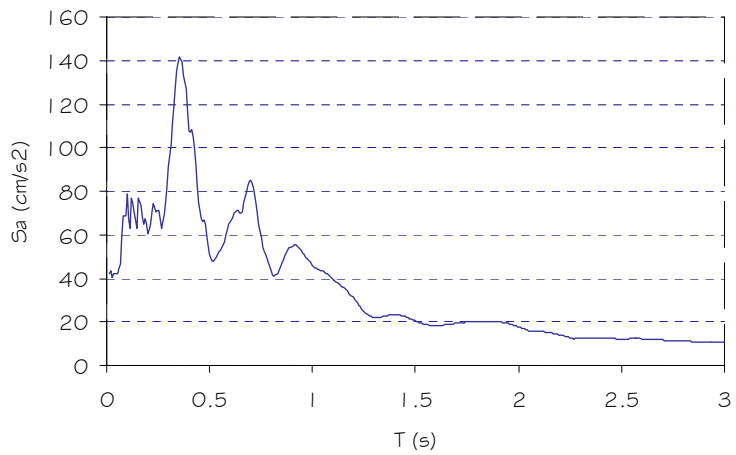


ANEXO 1.9.12. Estación acelerográfica "Relaciones Exteriores (Fondo)".
Componente Horizontal Este-Oeste.

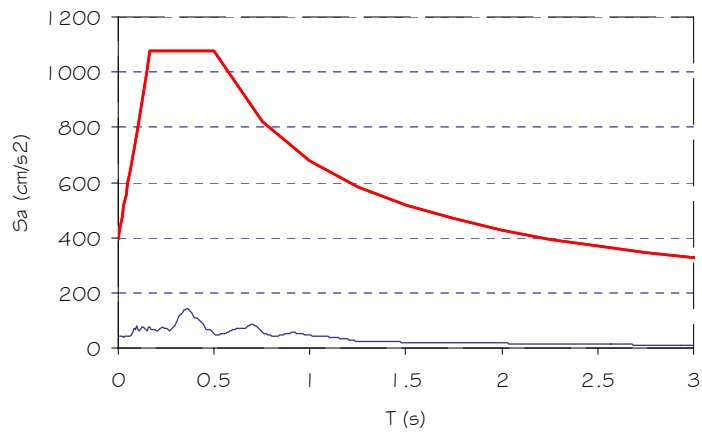
E.A. RELACIONES EXTERIORES (FONDO) (RF)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. RELACIONES EXTERIORES (FONDO) (RF)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

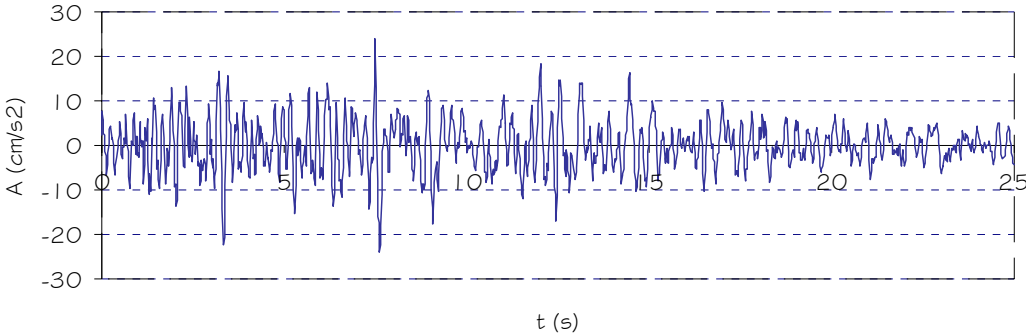


E.A. RELACIONES EXTERIORES (FONDO) (RF)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

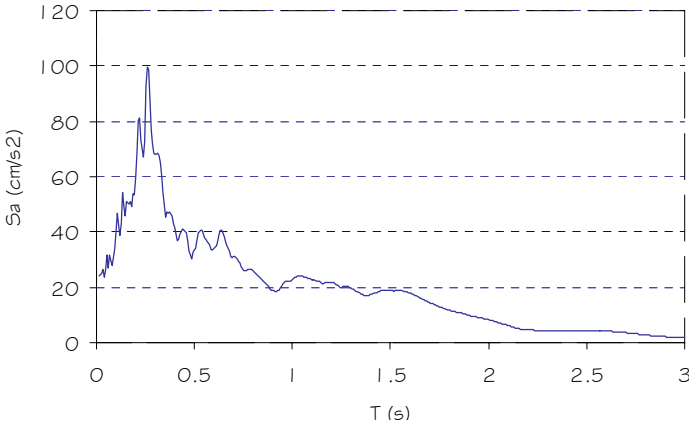


ANEXO 1.9.13. Estación acelerográfica "Relaciones Exteriores (Fondo)".
Componente Vertical.

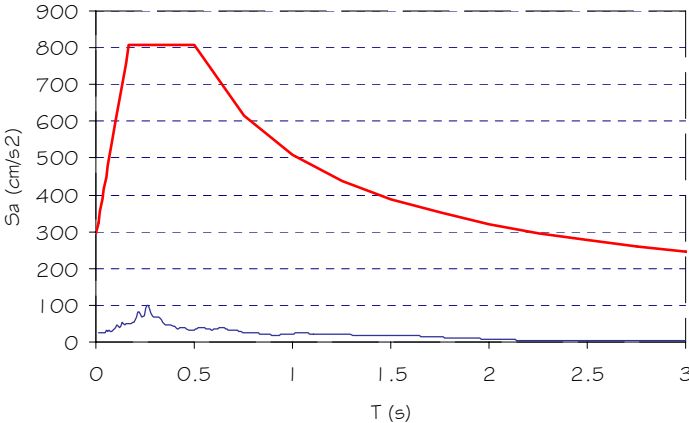
E.A. RELACIONES EXTERIORES (FONDO) (RF)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. RELACIONES EXTERIORES (FONDO) (RF)
COMPONENTE VERTICAL

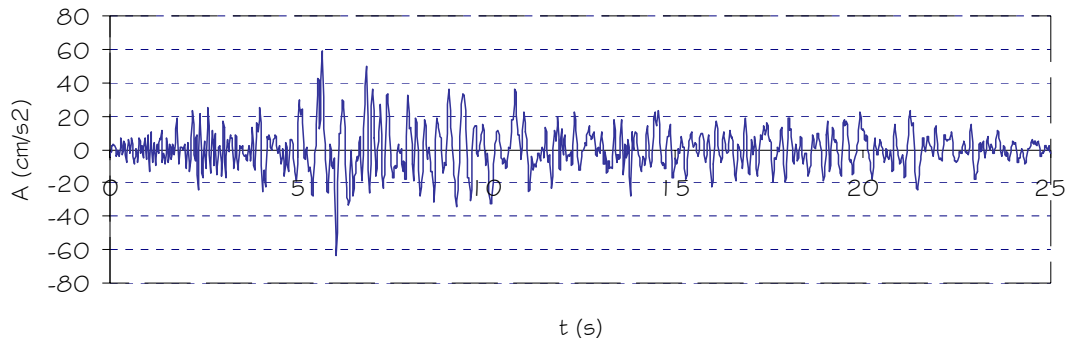


E.A. RELACIONES EXTERIORES (FONDO) (RF)
COMPONENTE VERTICAL

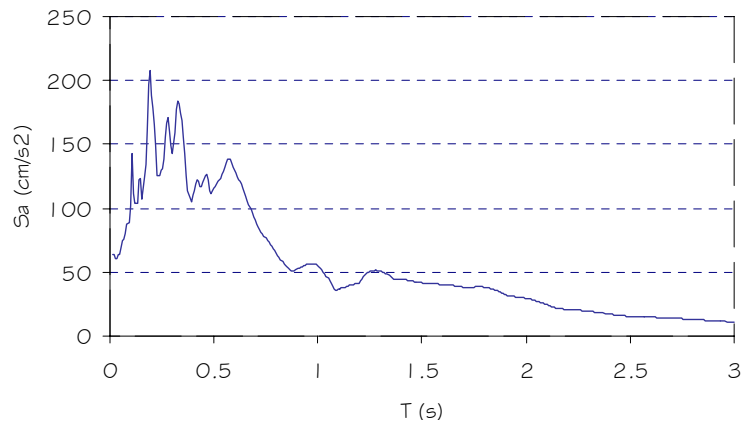


ANEXO I.9.14. Estación acelerográfica "Relaciones Exteriores (Superficie)".
Componente Horizontal Norte-Sur.

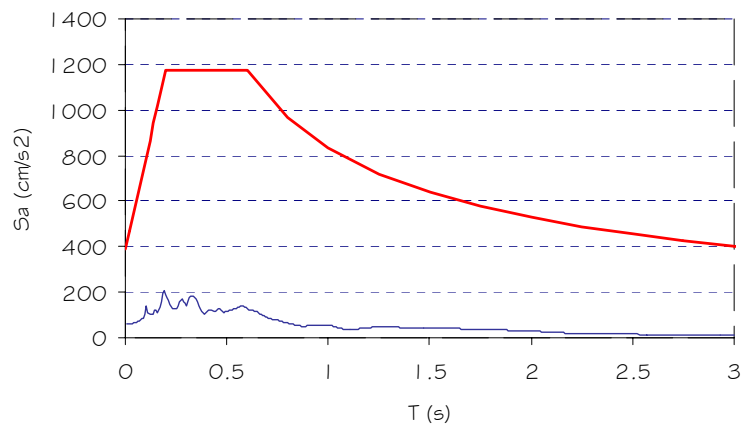
E.A. RELACIONES EXTERIORES (SUP) (RF)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. RELACIONES EXTERIORES (SUP) (RF)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

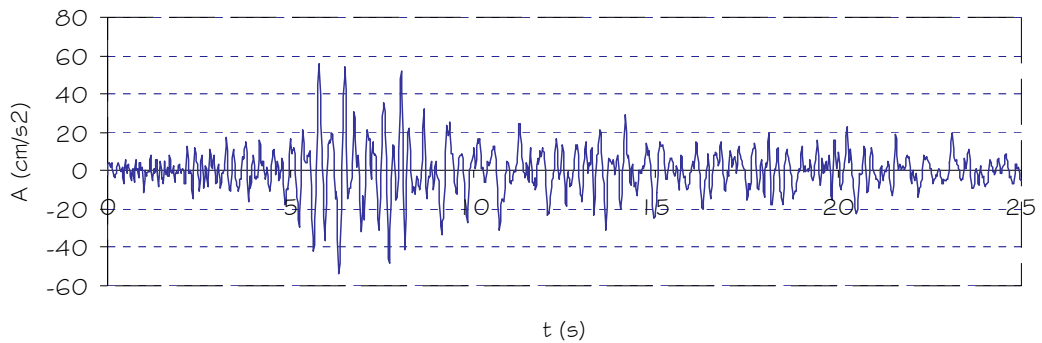


E.A. RELACIONES EXTERIORES (SUP) (RF)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

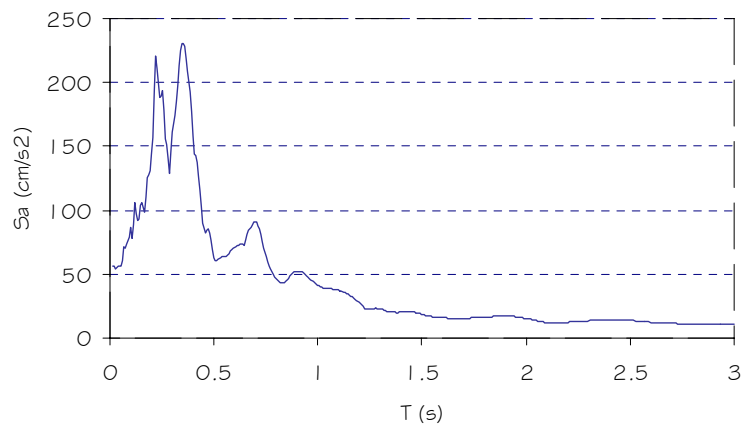


ANEXO I.9.15. Estación acelerográfica "Relaciones Exteriores (Superficie)".
Componente Horizontal Este-Oeste.

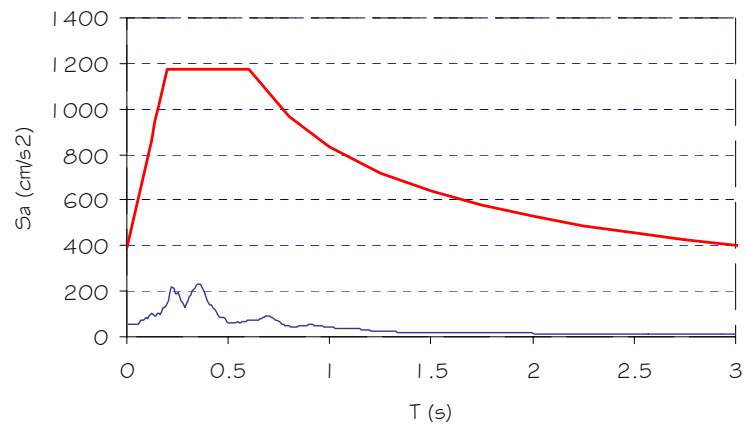
E.A. RELACIONES EXTERIORES (SUP) (RF)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. RELACIONES EXTERIORES (SUP) (RF)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

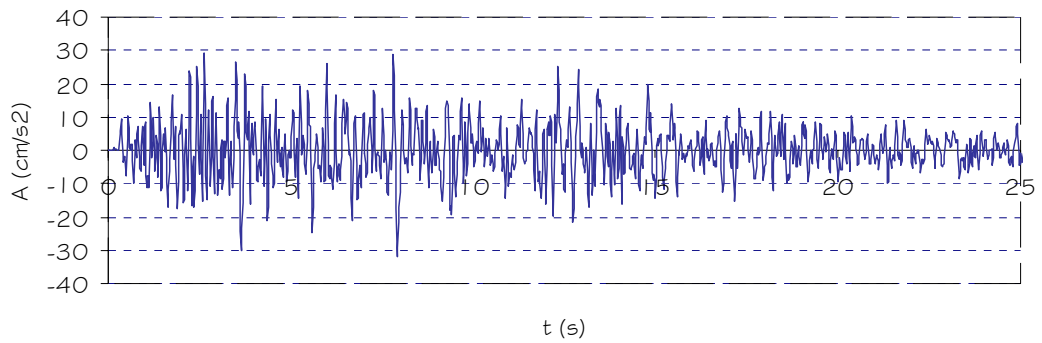


E.A. RELACIONES EXTERIORES (SUP) (RF)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

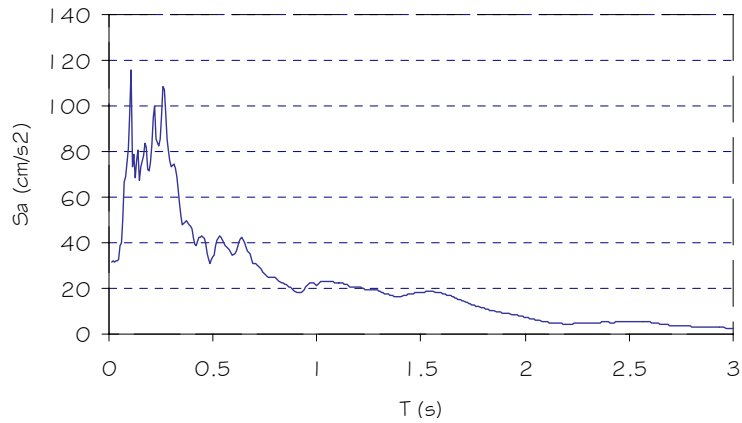


ANEXO I.9.16. Estación acelerográfica "Relaciones Exteriores (Superficie)".
Componente Vertical.

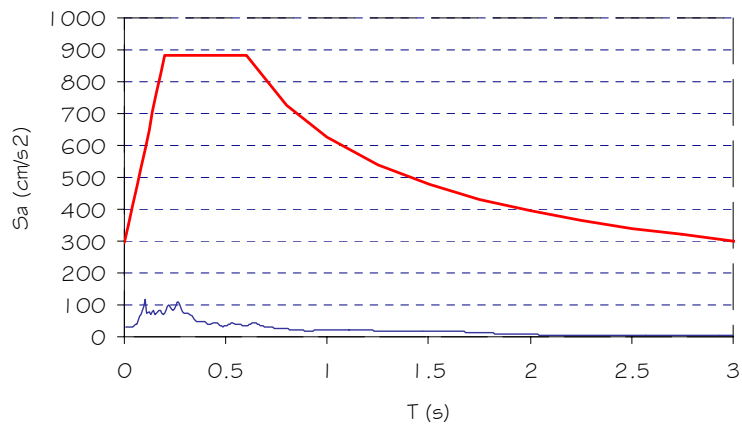
E.A. RELACIONES EXTERIORES (SUP) (RF)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. RELACIONES EXTERIORES (SUP) (RF)
COMPONENTE VERTICAL

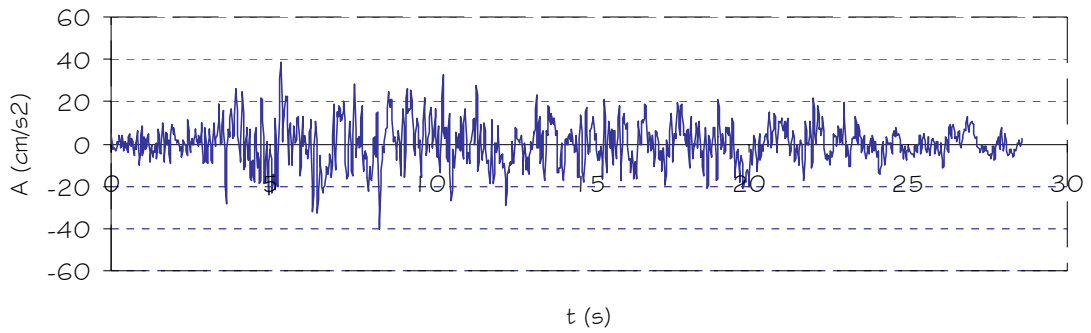


E.A. RELACIONES EXTERIORES (SUP) (RF)
COMPONENTE VERTICAL

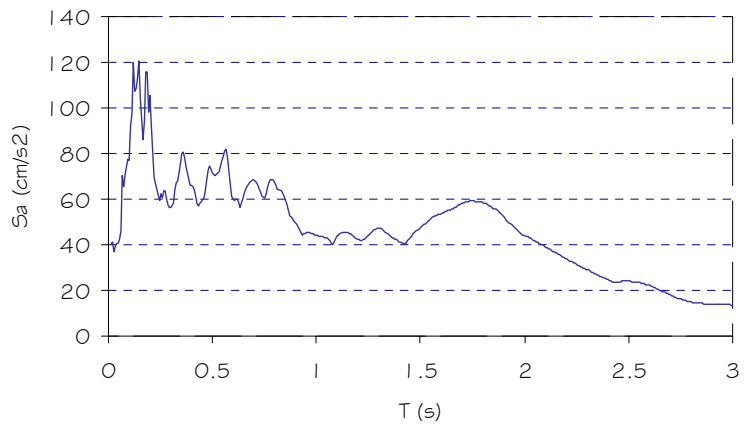


ANEXO I.9.17. Estación acelerográfica "Santa Tecla".
Componente Horizontal Norte-Sur.

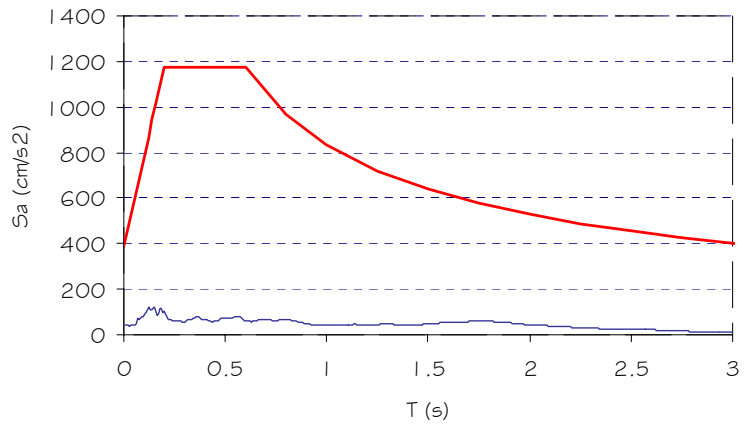
E.A. SANTA TECLA (ST)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



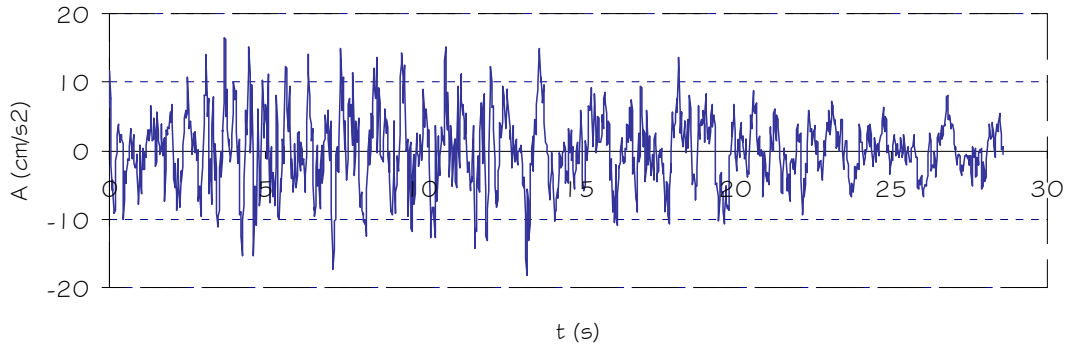
E.A. SANTA TECLA (ST)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S



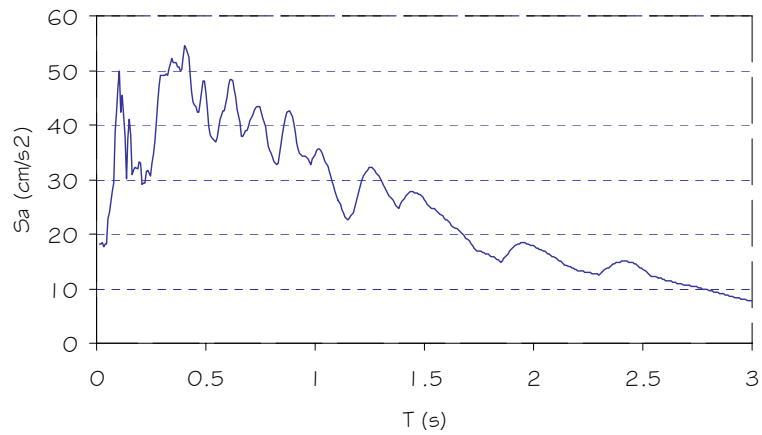
E.A. SANTA TECLA (ST)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S



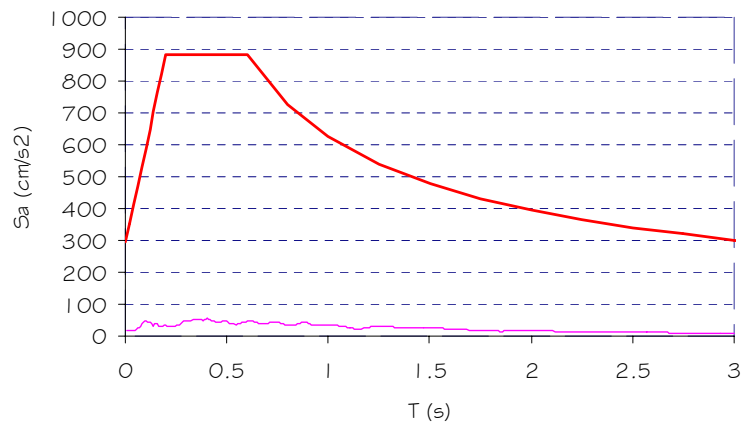
ANEXO I.9.19. Estación acelerográfica "Santa Tecla".
Componente Vertical.
E.A. SANTA TECLA (ST)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. SANTA TECLA (ST)
COMPONENTE VERTICAL

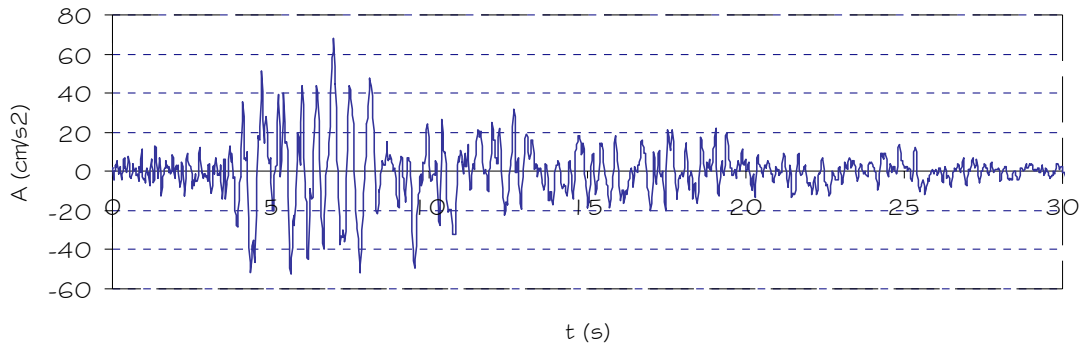


E.A. SANTA TECLA (ST)
COMPONENTE VERTICAL

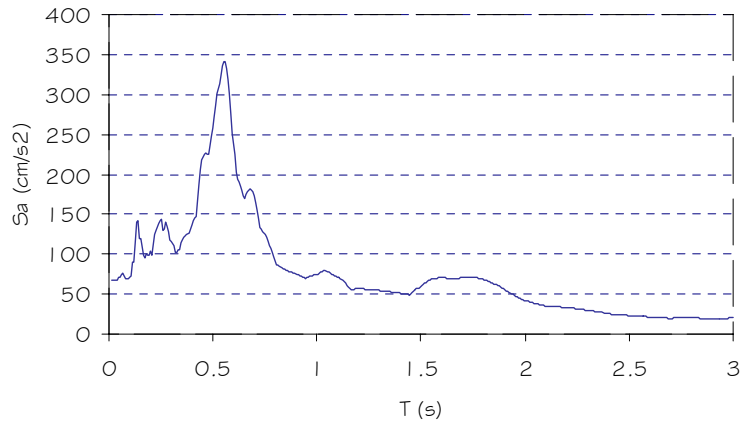


ANEXO I.9.20. Estación acelerográfica "Seminario San José de la Montaña".
Componente Horizontal Norte-Sur.

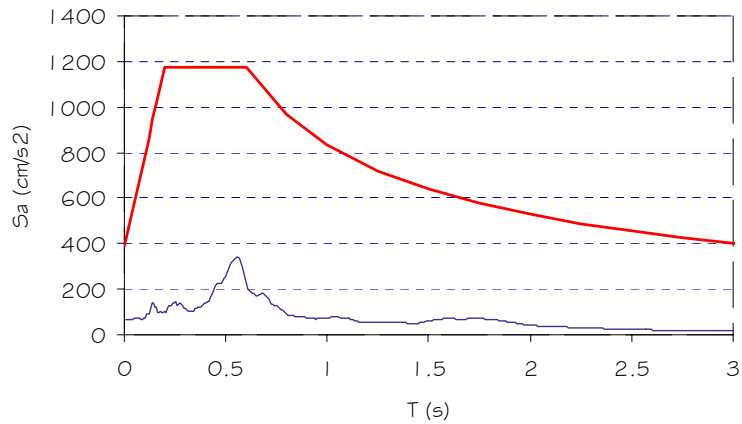
E.A. SEM. SAN JOSE DE LA MONTAÑA (SS)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. SEM. SAN JOSE DE LA MONTAÑA (SS)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

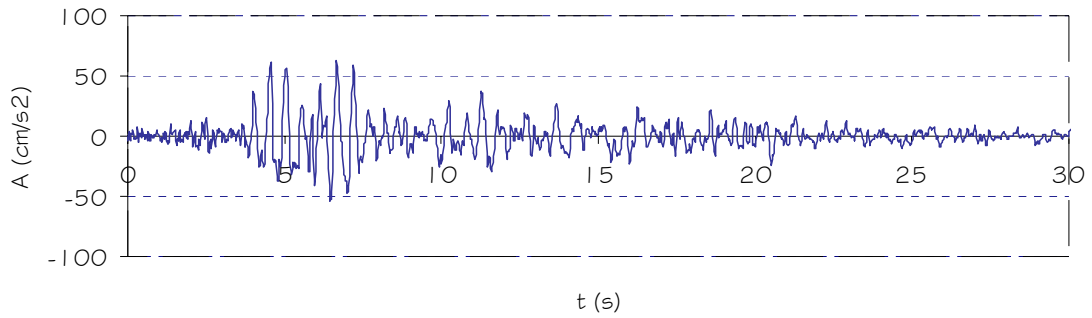


E.A. SEM. SAN JOSE DE LA MONTAÑA (SS)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

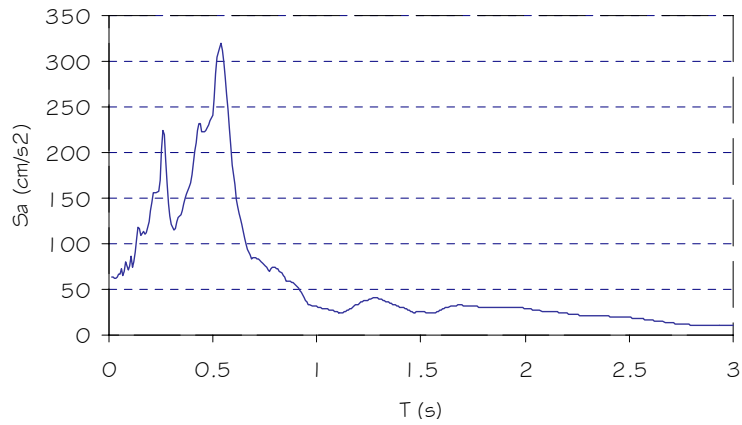


ANEXO 1.9.21. Estación acelerográfica "Seminario San José de la Montaña".
Componente Horizontal Este-Oeste.

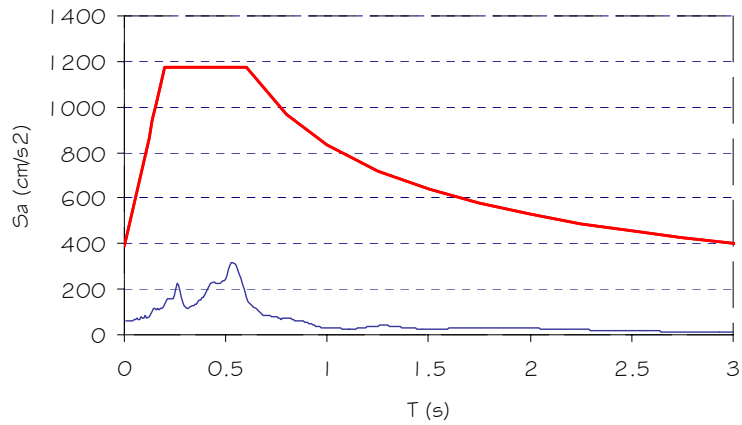
E.A. SEM. SAN JOSE DE LA MONTAÑA (SS)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. SEM. SAN JOSE DE LA MONTAÑA (SS)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

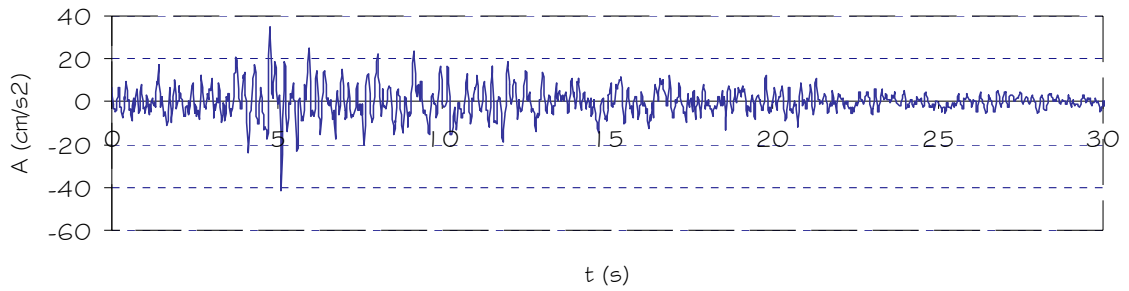


E.A. SEM. SAN JOSE DE LA MONTAÑA (SS)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

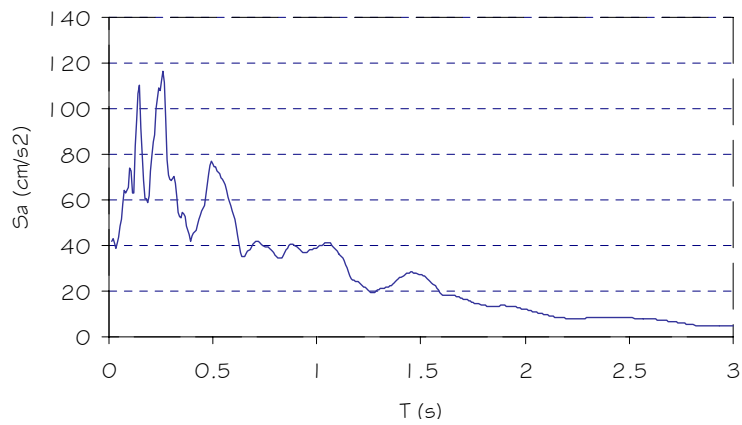


ANEXO I.9.22. Estación acelerográfica "Seminario San José de la Montaña".
Componente Vertical.

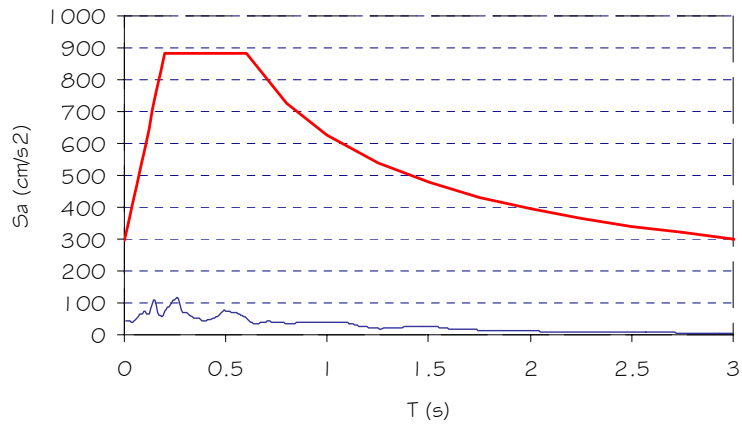
E.A. SEM. SAN JOSE DE LA MONTAÑA (SS)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. SEM. SAN JOSE DE LA MONTAÑA (SS)
COMPONENTE VERTICAL

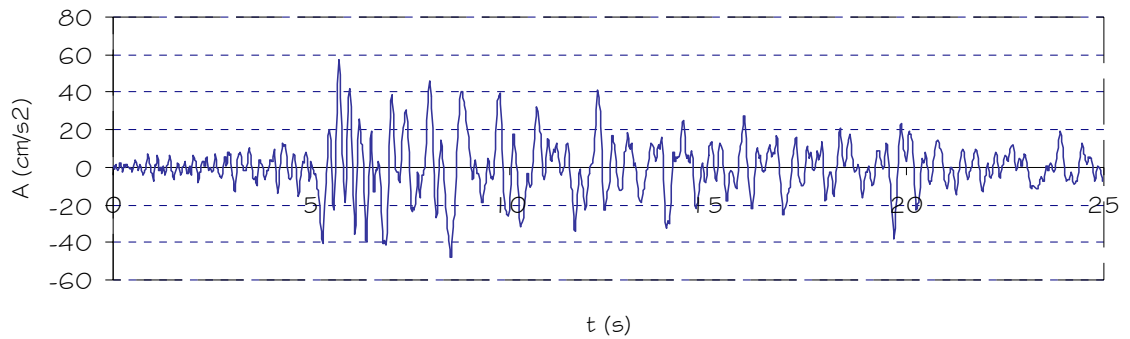


E.A. SEM. SAN JOSE DE LA MONTAÑA (SS)
COMPONENTE VERTICAL

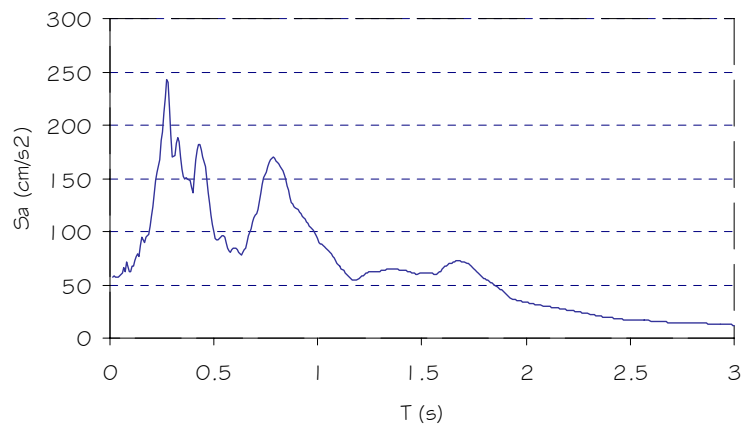


ANEXO I.9.23. Estación acelerográfica "Universidad Centroamericana".
Componente Horizontal Norte-Sur.

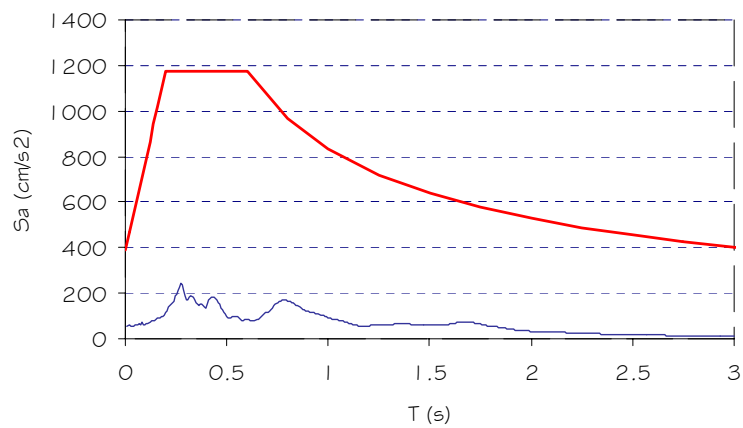
E.A. UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA (UC)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA (UC)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

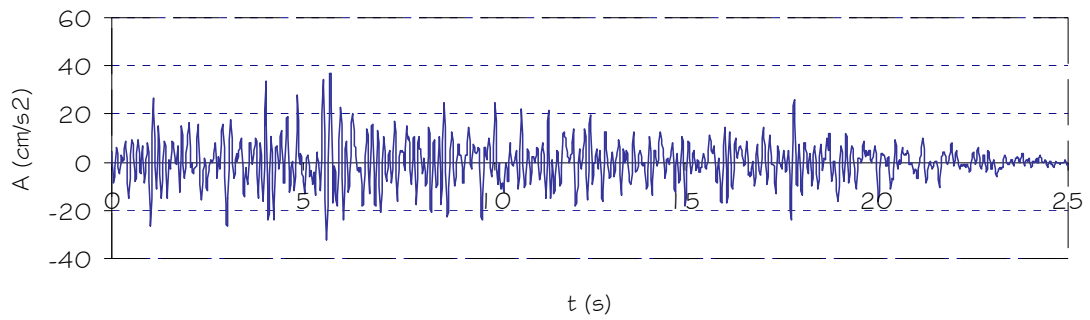


E.A. UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA (UC)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

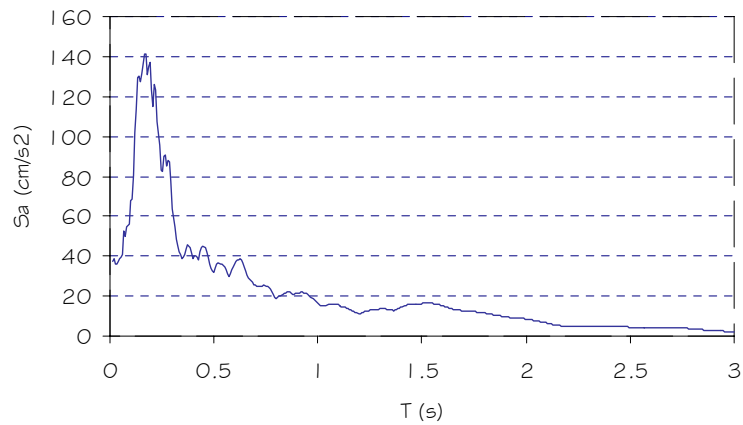


ANEXO 1.9.24. Estación acelerográfica "Universidad Centroamericana".
Componente Vertical.

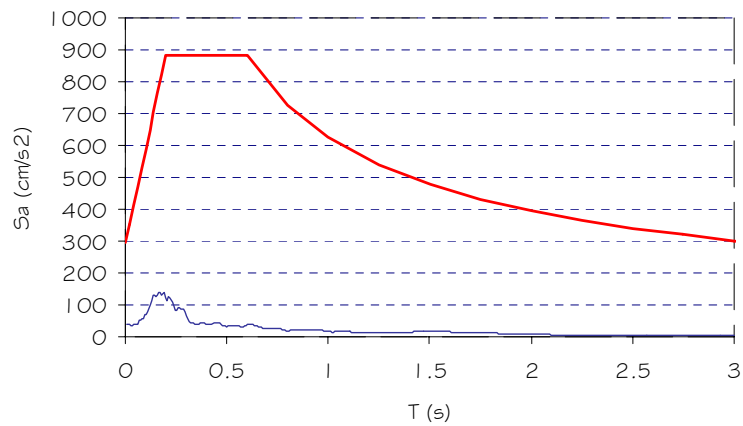
E.A. UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA (UC)
Acelerograma Componente Vertical



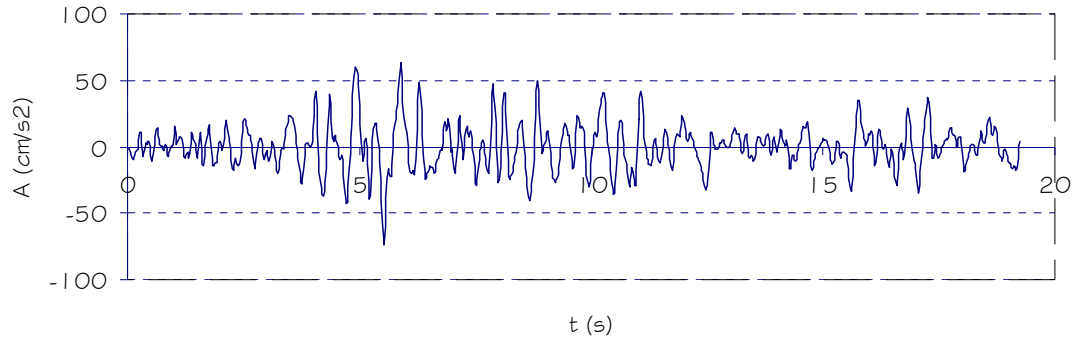
E.A. UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA (UC)
COMPONENTE VERTICAL



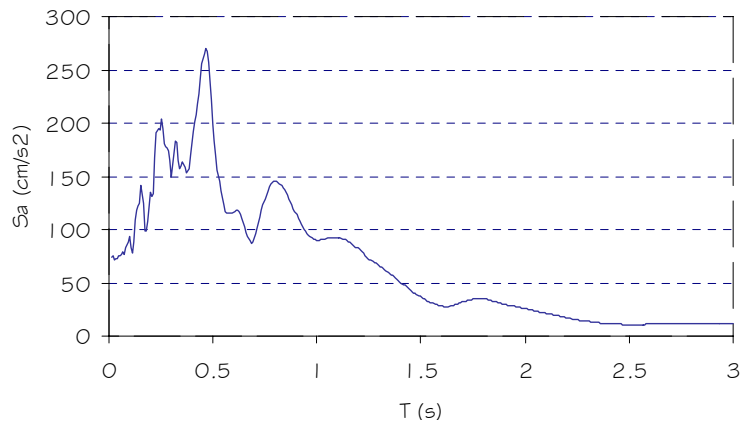
E.A. UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA (UC)
COMPONENTE VERTICAL



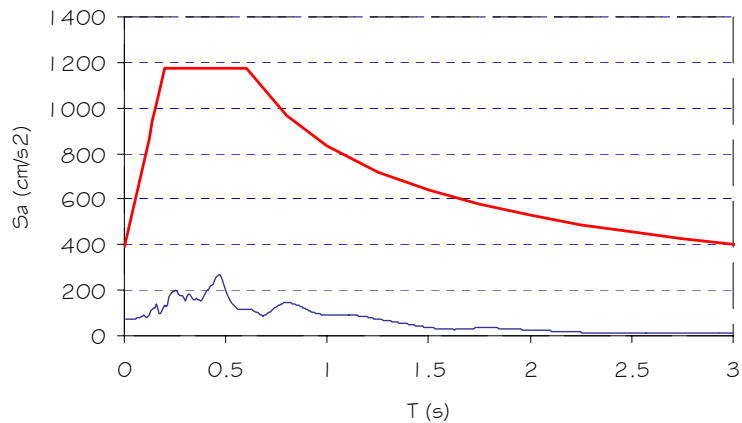
ANEXO I.9.25. Estación acelerográfica "Viveros de DUA".
 Componente Horizontal Norte-Sur.
 E.A. VIVEROS DE DUA (VS)
 Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. VIVEROS DE DUA (VS)
 COMPONENTE HORIZONTAL N-S

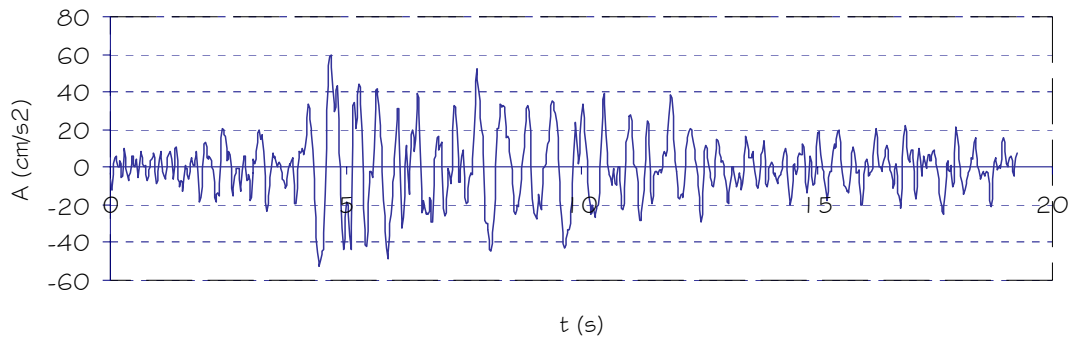


E.A. VIVEROS DE DUA (VS)
 COMPONENTE HORIZONTAL N-S

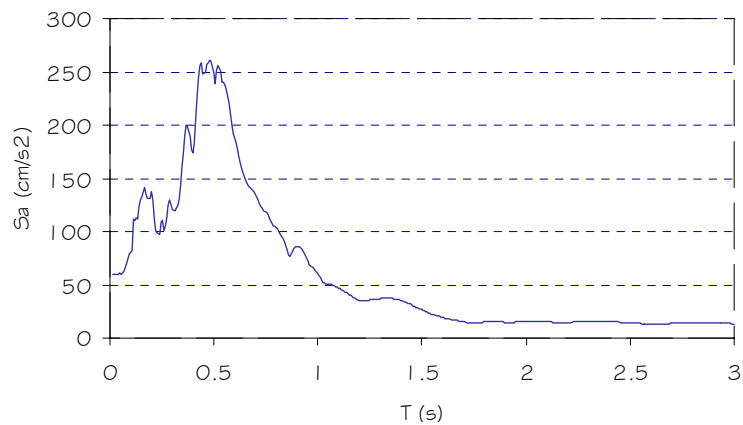


ANEXO I.9.26. Estación acelerográfica "Viveros de DUA".
Componente Horizontal Este-Oeste.

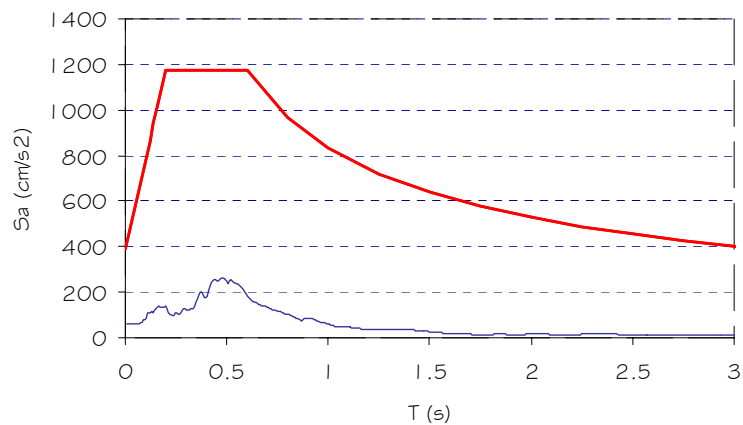
E.A. VIVEROS DE DUA (V5)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



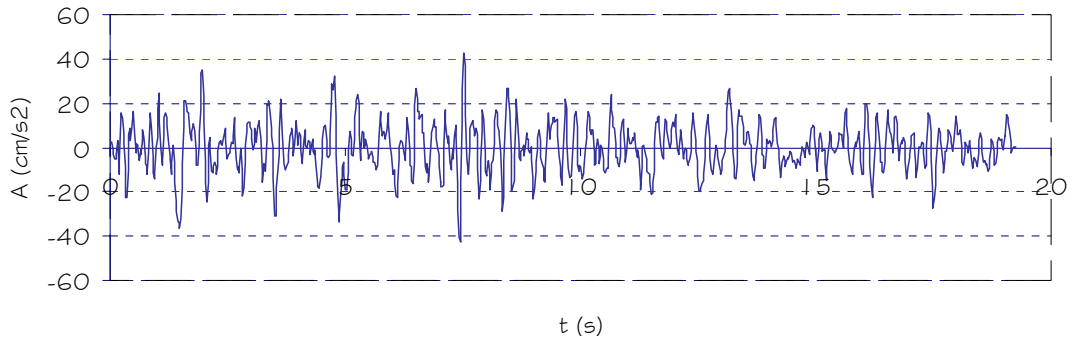
E.A. VIVEROS DE DUA (V5)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O



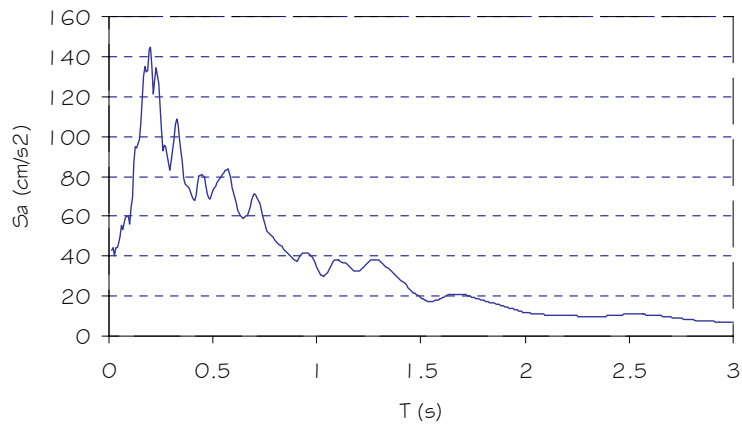
E.A. VIVEROS DE DUA (V5)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O



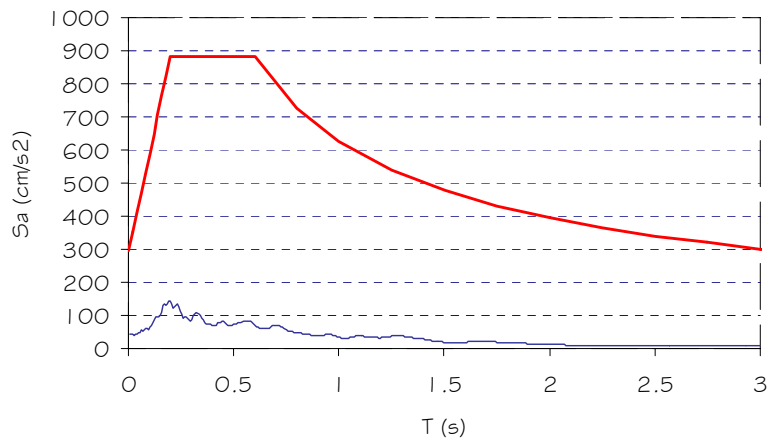
ANEXO I.9.27. Estación acelerográfica "Viveros de DUA".
 Componente Vertical.
 E.A. VIVEROS DE DUA (VS)
 Acelerograma Componente Vertical



E.A. VIVEROS DE DUA (VS)
 COMPONENTE VERTICAL

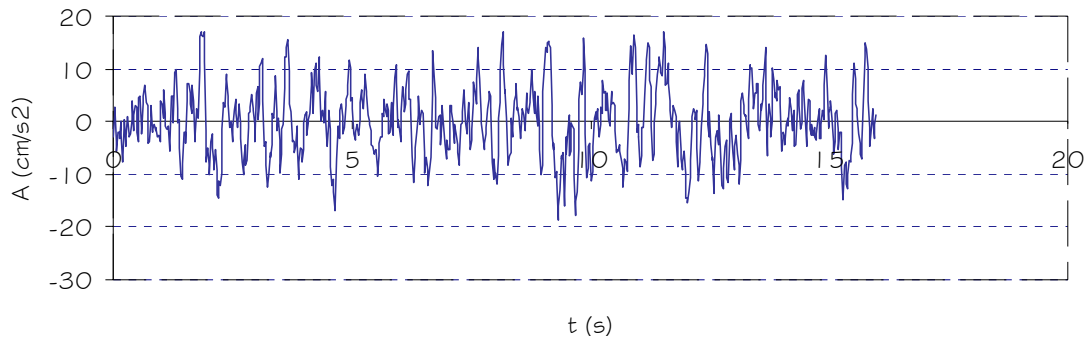


E.A. VIVEROS DE DUA (VS)
 COMPONENTE VERTICAL

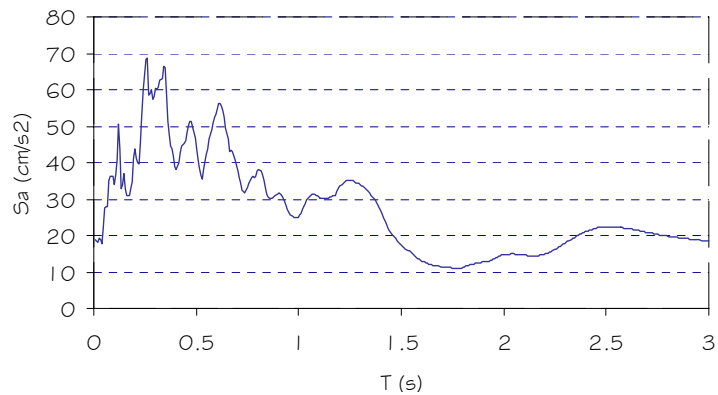


ANEXO 1.9.28. Estación acelerográfica "Presa 15 de Septiembre".
Componente Horizontal Norte-Sur.

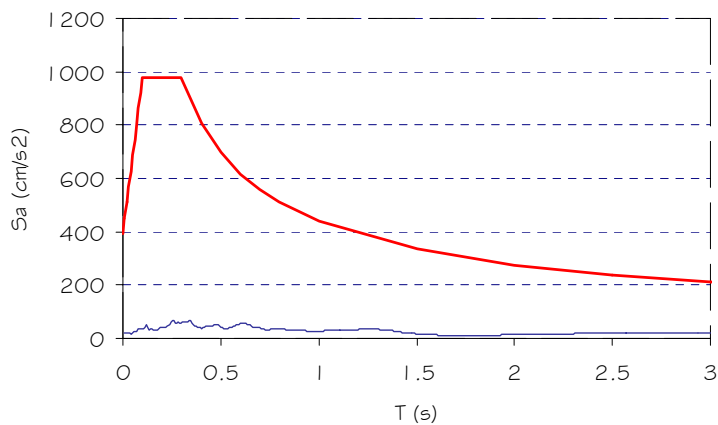
E.A. PRESA 15 DE SEPTIEMBRE (QC)
Acelerograma Componente Horizontal N-S



E.A. PRESA 15 DE SEPTIEMBRE (QC)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

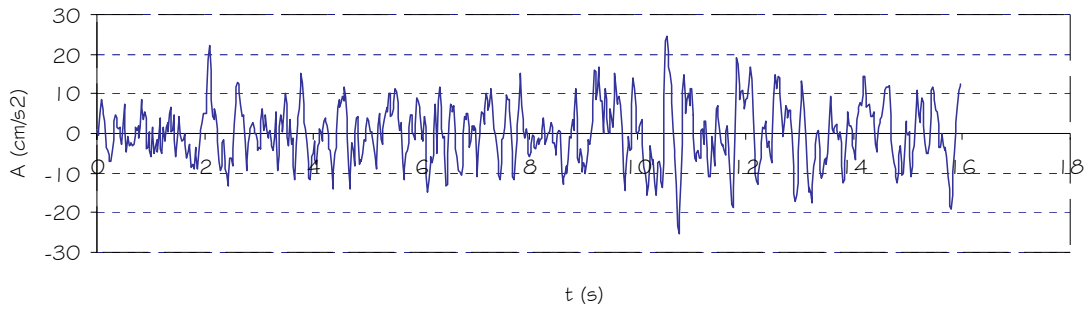


E.A. PRESA 15 DE SEPTIEMBRE (QC)
COMPONENTE HORIZONTAL N-S

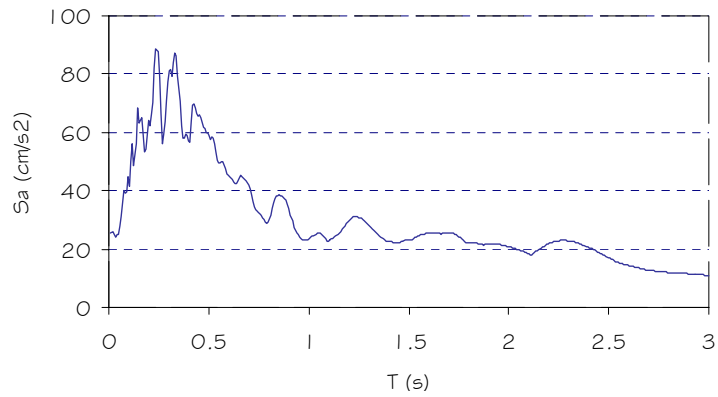


ANEXO I.9.29. Estación acelerográfica "Presa 15 de Septiembre".
Componente Horizontal Este-Oeste.

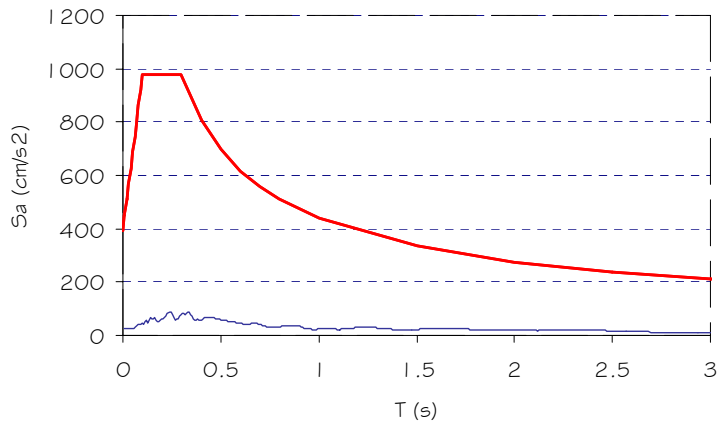
E.A. PRESA 15 DE SEPTIEMBRE (QC)
Acelerograma Componente Horizontal E-O



E.A. PRESA 15 DE SEPTIEMBRE (QC)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

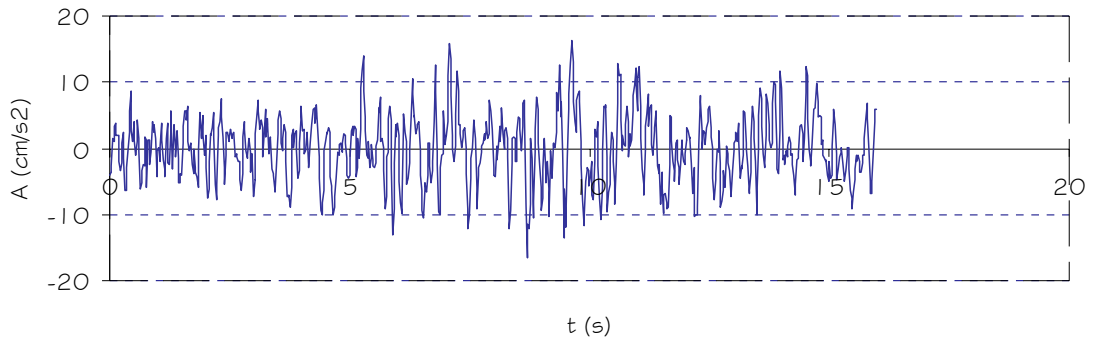


E.A. PRESA 15 DE SEPTIEMBRE (QC)
COMPONENTE HORIZONTAL E-O

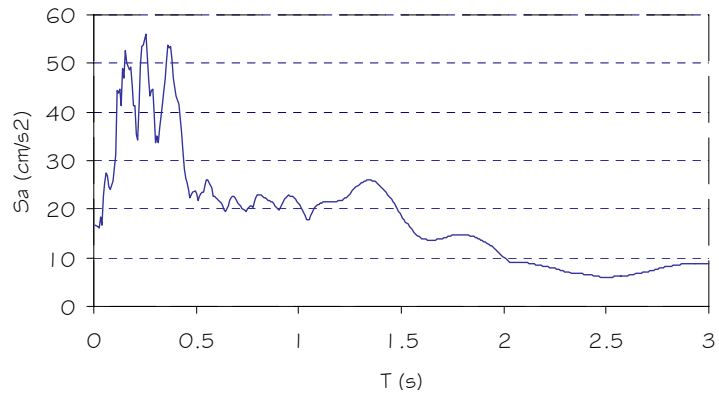


ANEXO I.9.30. Estación acelerográfica "Presa 15 de Septiembre".
Componente Vertical.

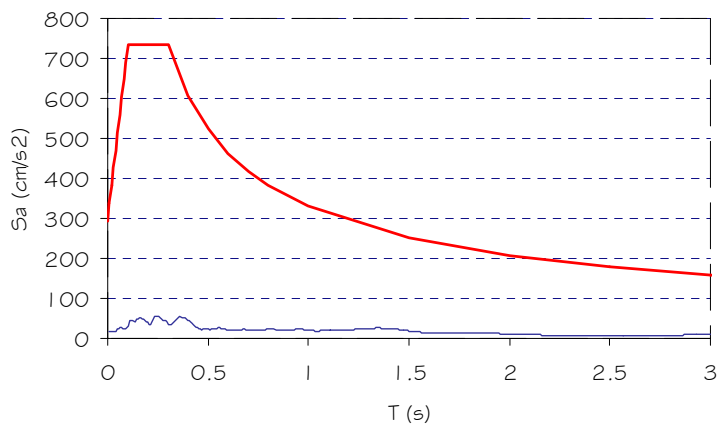
E.A. PRESA 15 DE SEPTIEMBRE (QC)
Acelerograma Componente Vertical



E.A. PRESA 15 DE SEPTIEMBRE (QC)
COMPONENTE VERTICAL



E.A. PRESA 15 DE SEPTIEMBRE (QC)
COMPONENTE VERTICAL



ANEXO I.10. Hoja de Cálculo para Espectros de Diseño NTDS-94.
Zona Sísmica I, Perfil de Suelo S3, Categoría de Ocupación I.

A	392.00	I	1.0
Co	3.00	R	1.0
To	0.60		

Tm	Sa	Descripción
0	392.00	Tm < To/3
0.02	470.40	
0.04	548.80	
0.06	627.20	
0.08	705.60	
0.1	784.00	
0.12	862.40	
0.14	940.80	
0.16	1019.20	
0.18	1097.60	
0.2	1176.00	
0.25	1176.00	
0.3	1176.00	
0.35	1176.00	
0.375	1176.00	
0.4	1176.00	
0.45	1176.00	
0.475	1176.00	
0.5	1176.00	
0.575	1176.00	
0.6	1176.00	
0.8	970.77	To < Tm ≤ 4 seg
1	836.58	
1.25	720.94	
1.5	638.43	
1.75	576.08	
2	527.01	
2.25	487.21	
2.5	454.17	
2.75	426.21	
3	402.19	
3.5	362.91	
4	332.00	Tm > 4 seg
4.5	281.51	
5	244.62	
6	191.83	

