

03077
5
205

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

UNIDAD ACADEMICA DE LOS CICLOS PROFESIONAL Y
DE POSGRADO DEL COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

INSTITUTO DE GEOFISICA
POSGRADO EN GEOFISICA

FALLA DE ORIGEN

Estudio del Factor de Calidad Qc en el Istmo de Tehuantepec, México

T E S I S
Que para obtener el grado de
Maestro en Sismología y
Física del Interior de La Tierra
P R E S E N T A
Juan Silvestre Payero de Jesús

Ciudad Universitaria

Noviembre de 1995



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

A la memoria de mi madre Edelmira de Jesús

A mi padre Juan Ma. Payero

A mis hermanos por todo el apoyo brindado y su sacrificio

A Dalia por abnegada y toda su familia

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento al Dr. David Novelo, tutor y director de tesis, por haberme brindado la oportunidad de realizar los estudios en el campo de la Sismología y permitir utilizar los datos del SSN. A la Universidad Autónoma de Santo Domingo, en República Dominicana, por el apoyo y estímulo ofrecido para que pudiera concluir mi trabajo de manera satisfactoria.

A los profesores del Posgrado en Geofísica de la UACPYP del CCH en especial al Dr. Ramón Zúñiga (coordinador) y a los investigadores del Departamento de Sismología del Instituto de Geofísica por los conocimientos transmitidos. Al Dr. Shri Krishna Singh por sus consejos y críticas siempre positivos; al Dr. V. Kostoglodov por darme la facilidad para realizar la parte práctica y de campo. A mis asesores Drs. Marco Guzmán y Luis Quintanar, gracias por importantes orientaciones. A los Drs. Gerardo Suárez (Coordinador de la Investigación Científica) y Daniel Byrne por las primeras orientaciones.

A mis jurados Drs. Mario Chávez, Carlos Valdés, Cecilio Rebolgar y Javier Pacheco por haber complementado este trabajo con sus sabias observaciones.

A las Instituciones que me brindaron soporte económico para complementar mis estudios: Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo/International Development Research Centre a través del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH), en especial al Dr. Chester Zelaya (Sec. General), Rose Marie, Alicia, Claudia, Irma, Francisco M., Gerardo y Francisco M. También a la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD), a la Unidad Académica de los Ciclos de Posgrado y Humanidades (UACPyP).

A mis compañeros de estudios y amigos Gustavo Malavé, Mario Pardo, Diana Comte, Enrique Molina, Adolfo Vázquez, Jaime Domínguez, Julio Cuenca, Alfredo Sereno, José Alvarez, David Escobedo, Alexei Gorbатов, Mario Fernández, Eugenio Polanco, Mario Cruz, Erika Vollbert, Martín Díaz, Dolores Ibáñez, Carlos Fuentes, Gerardo Pérez, Carlos Ortíz, Alejandra Alciniaga, Guillermo Pomposo y Mario Islas a todos gracias.

A Patricia Medina, Betty garcía, Norma Bravo, María Malagón, por su ayuda y colaboración en los trámites relacionados con mis estudios. A Mónica Nava, Adriana López, Graciela Solache del SSN, Ms. Patricia Santillán (Administrativa). Para Arturo, Jaime y Antonio del Personal de la biblioteca del Instituto de Geofísica, por el espíritu de servicio mostrado en cada momento.

No puedo pasar por alto el servicio brindado por el Personal de Instrumentación, al Ms Tan Yi, quien preparó y modificó el programa Lec94, cuantas veces le solicité, para poder analizar los datos en cualquier formato desde 1988 a 1994, y a los responsables de la Red del SSN, Jesús Pérez Santana, Jorge Estrada, Roberto Ortega, José Antonio, José Luis Cruz, Arturo Cárdenas y José Luis Valadés. A todo el grupo de analistas del Servicio Sismológico Nacional (México) Ing. Casiano Jiménez, Angeles y Bernardino Rubí y al Personal de Cómputo David Vázquez y Manuel Velázquez.

Finalmente, quiero agradecer al consejo de profesores, Drs. Dante Morán, Peter Schaff, Jaime Urrutia, Ms. Gustavo Tolson e Ing. Rodolfo del Arenal. Al Dr. Carlos Mendoza (USGS), Dra Renata Dmowska (HRV), Drs. Peter Davis y John Coyne (USGS), Gutuan Zheng (Div. Appl. Sci., HRV), Drs. Cinna Lomnitz y A. Gusev, Ms. Luis O. Gómez (Rep. Dom.) por su ayuda y consejo con trabajos y artículos que fueron de mucha utilidad.

A TODOS GRACIAS

INDICE

	Pág.
Resumen	1
1.- Introducción	3
1.1.- Las Principales Provincias Geológicas del Sur de México	4
1.1.1.- Provincia del Sureste de México	5
1.1.1.1.- Las Regiones Centrales y Meridionales del Istmo de Tehuantepec	6
1.1.1.2.- Subprovincia de la Sierra de Chiapas	7
1.1.1.3.- Macizo de Chiapas	8
1.1.1.4.- Sector Nor-Occidental de Chiapas	10
1.1.2.- Principales Fallas en el Area y sus Características	11
1.1.2.1.- Falla de Chacalapa-Juchatengo, Estado de Oaxaca	11
1.1.2.2.- Falla de Oaxaca	11
1.1.2.3.- Falla de Vista Hermosa	12
1.1.2.4.- Sistema de Fallas Polochic-Mapastepec, Estado de Chiapas	12
1.1.2.5.- Sistema de Fallas Laterales del Cinturón Chiapaneco de Pliegues y Fallas	13
1.2.- Historia Sísmica	13
1.3.- Otros Estudios	15
1.4.- Objetivos	16
2.- Procesamiento de los Datos y Métodos Utilizados	18
2.1.- Teoría y Técnicas	18

2.1.1.- Características y Atenuación de las Ondas Coda	19
2.1.2.- Teoría de la Dispersión Simple de Aki	20
2.1.3.- Modelos de las Ondas Coda	21
2.1.4.- Método de Aki-Chouet (1975)	24
2.1.5.- Método de Sato (1977)	25
2.1.6.- Método de Phillips y Aki (1986)	30
2.2.- Programa CODAQ	31
2.2.1.- Archivos de Entrada	31
2.2.2.- Archivos de Salida	33
3.- Análisis de los Datos	36
3.1.- Antecedentes Históricos del SSN	36
3.2.- Selección de los Eventos	38
3.3.- Datos Utilizados para la Estimación de Q_c	43
3.4.- Mecanismos Focales para los Sismos de la Región	47
4.- Resultados	51
4.1.- Distribución Espacial del Factor Q_c	51
4.2.- Resultados de Q_c por Longitud y Posición de la Ventana	54
4.2.1.- Caso 1: Ventana de 6-16 seg. Después del Arribo de la Onda S	54
4.2.2.- Caso 2: Ventana de 5-25 seg. Después del Arribo de la Onda S	63
4.2.3.- Caso 3: Ventana de 25-50 seg. Después de la Llegada de la Onda S	70
4.3.- Variación Temporal del Factor de Calidad Q_c	78

5.- Discusión	85
5.1.- Semi-regionalización de Q_c	85
5.2.- Trayectoria Libre Media (TLM)	94
5.3.- Variaciones de Q_c con la Profundidad, Magnitud y Distancia	97
5.4.- Resultados de Q_0 y η	99
6.- Conclusiones	102
Bibliografía	105
Anexo 1: Parámetros Sísmicos de los Eventos Analizados	115
Anexo 2: Ejemplos de Archivos de Entrada y Salida del Programa Principal CodaQ	124
Anexo 3: Valores de Q_c y su Error Determinados para una Ventana de 25-50 seg.	128
Anexo 4: Valores de f_c y f_p para varios sismos de magnitud $3.9 \leq M_c \leq 5.2$.	138
Anexo 5: Valores z observados al comparar las diferentes zonas	140

FIGURAS

Fig. 1.1.- Mapa del Istmo de Tehuantepec y regiones adyacentes, mostrando las principales ciudades.	4
Fig. 1.2.- Mapa de la parte central y sur de México presentando las principales Provincias Geológicas.	5
Fig. 1.3.- Mapa Geológico de la zona del Istmo de Tehuantepec.	7
Fig. 1.4- Mapa litológico de las unidades oligocénicas del Istmo de Tehuantepec.	8
Fig. 1.5.- Mapa litológico mostrando las edades de las diferentes regiones.	9

Fig. 1.6.- Mapa estructural para explicar el comportamiento de un sistema transpresivo entre Macuspana y Puerto Angel.	10
Fig. 2.1.- Elipses generadas por el modelo de dispersión simple. Para la determinación de coda Q.	23
Fig. 2.2.- Resultados de Q_c obtenidos utilizando los métodos descritos en el texto.	35
Fig. 3.1.- Sistema de detección automático del SSN para la adquisición y procesamiento de los datos sísmicos.	37
Fig. 3.2.- Localización de las estaciones sismológicas en la región y epicentros de los eventos ocurridos de 1989 a 1994 en el Istmo de Tehuantepec.	40
Fig. 3.3.- Distribución de los sismos seleccionados por profundidad.	41
Fig. 3.4.- Perfil sísmico mostrando el comportamiento hipocentral de los eventos.	42
Fig. 3.5.- Resultados de Q_c , obtenidos por los diferentes métodos implementados, para la frecuencia de 3.0 Hz. Registrado en OXX.	44
Fig. 3.6.- Resultados de Q_c , obtenidos por los diferentes métodos implementados, para la frecuencia de 1.5 Hz. Registrado en SCX.	45
Fig. 3.7.- Valores de Q_c , obtenidos para la frecuencia de 6.0 Hz en la estación SCX.	46
Fig. 3.8.- Trayectorias epicentro-estación para indicar la cobertura de las estaciones de la zona del Istmo.	48
Fig. 3.9.- Mecanismos focales para los eventos ocurridos en la región desde 1974 hasta 1994. Reportados por Harvard.	50
Fig. 4.1.- Sismograma de velocidad y espectros determinados de diferentes partes del sismograma para analizar la relación señal/ruido.	53

Fig. 4.2.- Mapas del área del Istmo de Tehuantepec mostrando los bloques en que se dividió la zona y los valores de Q_c medidos para las estaciones OXX y SCX.	56
Fig. 4.3.- Mapas del área del Istmo de Tehuantepec mostrando los resultados de Q_c para el intervalo de profundidad de 60-80 km.	57
Fig. 4.4.- Mapas del área del Istmo de Tehuantepec mostrando los resultados de Q_c para eventos con profundidad entre 80 y 100 km.	58
Fig. 4.5.- Mapas del área del Istmo de Tehuantepec mostrando los resultados de Q_c para eventos con profundidad entre 100 y 120 km.	59
Fig. 4.6.- Resultados promedio de Q_c (utilizando OXX y SCX) para eventos registrados en una o varias estaciones a diferentes profundidades.	60
Fig. 4.7.- Resultados promedio de Q_c para eventos registrados en una o varias estaciones a profundidades de 60-80 km.	61
Fig. 4.8.- Resultados promedio de Q_c para eventos registrados en una o varias estaciones a diferentes profundidades.	62
Fig. 4.9.- Mapas del área del Istmo de Tehuantepec mostrando los valores de Q_c para eventos localizados de 0 a 20 km de profundidad y un intervalo de coda de 5-25 seg.	64
Fig. 4.10.- Mapas del área del Istmo de Tehuantepec mostrando los valores de Q_c para eventos localizados de 60 a 80 km de profundidad y un intervalo de coda de 5-25 seg.	65
Fig. 4.11.- Mapas del área del Istmo de Tehuantepec mostrando los valores de Q_c para eventos localizados de 80 a 100 km de profundidad y un intervalo de coda de 5-25 seg.	66
Fig. 4.12.- Mapas del área del Istmo de Tehuantepec mostrando los valores de Q_c para eventos localizados de 100 a 120 km de profundidad y un intervalo de coda de 5-25 seg.	67

Fig. 4.13.- Regionalización de valores promedio de Q_c para eventos registrados en una o varias estaciones a diferentes profundidades.	68
Fig. 4.14.- Regionalización de valores promedio de Q_c para eventos registrados en una o varias estaciones a diferentes profundidades.	69
Fig. 4.15.- Mapas del área del Istmo de Tehuantepec mostrando los valores de Q_c para eventos localizados de 0 a 20 km de profundidad y un intervalo de coda de 25-50 seg.	71
Fig. 4.16.- Mapas del área del Istmo de Tehuantepec mostrando los valores de Q_c para eventos localizados de 60 a 80 km de profundidad y un intervalo de coda de 25-50 seg.	72
Fig. 4.17.- Mapas del área del Istmo de Tehuantepec mostrando los valores de Q_c para eventos localizados de 80 a 100 km de profundidad y un intervalo de coda de 25-50 seg.	73
Fig. 4.18.- Regionalización de Q_c para eventos registrados en una o varias estaciones. Profundidades 0-20 y 20-40 km.	74
Fig. 4.19.- Regionalización de Q_c para eventos registrados en una o varias estaciones. Profundidades 40-60 y 60-80km.	75
Fig. 4.20.- Regionalización de Q_c para eventos registrados en una o varias estaciones a diferentes profundidades.	76
Fig. 4.21.- Relación de Q_c^{-1} con la frecuencia.	77
Fig. 4.22.- Representación de Q_c en función del tiempo a diferentes frecuencias para el evento 10/09/1993.	79
Fig. 4.23.- Representación de Q_c en función del tiempo a diferentes frecuencias para el evento 30/09/1993.	82

Fig. 5.1.- Valores de Q_c por zona, para $f = 1.5$ y 3.0 Hz.	88
Fig. 5.2.- Valores de Q_c por zona, para $f = 6.0$ y 12.0 Hz.	89
Fig. 5.3.- Variaciones de Q_c con la profundidad.	91
Fig. 5.4.- Distribución de Q_c con la profundidad.	93
Fig. 5.5.- Mapa mostrando la trayectoria libre media (TLM).	94
Fig. 5.6.- Dependencia de Q_c promedio con la profundidad, magnitud y distancia.	98
Fig. 5.7.- Distribución por zona del factor Q_0 y η	100

TABLAS

1.1.- Sismos de $M_s \geq 7.0$ ocurridos en el Istmo de Tehuantepec durante este siglo.	14
3.1.- Características principales de las estaciones sismológicas.	38
4.1.- Valores de Q_c y su error para diferentes ventanas de tiempo.	78
4.2.- Valores z para los cambios observados de Q_c antes y después de los sismos del 10 y 30 de septiembre de 1993	84
5.1.- Valores de Q_c y su error para las diferentes zonas.	87
5.2.- Valores z para las diferencias de Q_c por zonas	92
5.3.- Trayectorias Libre Media para diferentes direcciones desde las estaciones OXX y SCX.	96
5.4.- Valores z para las diferencias observadas en TLM	96

5.5.- Valores de Q_0 y η para las Zonas Consideradas. 99

5.6.- Valores de η para diferentes regiones del mundo. 100

RESUMEN

El estudio del factor Q de las ondas coda para frecuencias centradas en 1.5, 3, 6, 12 y 24 Hz en el Istmo de Tehuantepec se realizó analizando 283 sismos ocurridos entre enero de 1989 y diciembre de 1994, registrados por seis estaciones localizadas en la región. Los resultados obtenidos al aplicar tres diferentes métodos, indican una dependencia de la atenuación con las diferentes ventanas y posiciones en que se colocaron éstas. Los valores más satisfactorios se obtienen cuando se considera una ventana de 25 segundos, colocada 25 segundos después del arribo de la onda S, ya que los efectos locales son mínimos o casi nulos. Los cálculos se realizaron utilizando el método de dispersión simple en el dominio del tiempo (Aki y Chouet, 1975; Sato, 1977) y la frecuencia (Phillips y Aki, 1986).

Las modalidades sismológicas y tectónicas del Istmo de Tehuantepec son abordadas a partir de estudios regionales desarrollados por otros investigadores para diversos sectores en esta zona de México (Chávez y otros, 1993; Novelo-Casanova y otros, 1980; Ponce y otros, 1992; Suárez y Ponce, 1986; Valdés y otros, 1986.)

Los datos muestran evidencias de variaciones en la distribución espacial de la atenuación en la región, las cuales están relacionados con la densidad de fracturamiento, la concentración de la sismicidad, así como con variaciones temporales. La zona del Istmo central (#1) a la profundidad superficial (0-40 km) fue la que presentó menor valor para Q_c (84 ± 11) en la frecuencia de 1.5 Hz. El máximo valor de Q_c ($3,597 \pm 598$) estuvo en la región IV para una frecuencia de 24 Hz. Para las demás áreas no se obtuvieron suficientes resultados a la frecuencia de 24 Hz.

Se encontró dependencia del valor de Q_c con la frecuencia, esta relación es de la forma $Q_0 f^\eta$ donde Q_0 varía desde 65 hasta 237 y η osciló entre 0.66 y 1.25 para las diferentes zonas en que se clasificaron los resultados. Estos valores concuerdan con la actividad tectónica de la región.

La distribución espacial del factor de calidad mostró un incremento con la profundidad hasta los 80 km. Este resultado es congruente con otros estudios realizados en esta zona (Pardo, 1993). Sin embargo, entre los 80 y 120 km de profundidad, se encontró una disminución de Q_c , lo cual representa un aumento en la atenuación de las ondas coda y puede estar reflejando una zona sismogénica que posee alto gradiente térmico y anisotropía (Anderson, 1989).

Las variaciones temporales de Q_c , para eventos localizados en las áreas donde ocurrieron los eventos del 10 y 30 de septiembre de 1993 ($M_s=7.3$; $M_s=6.5$), indican que el valor promedio de Q_c después del primer evento fue mayor al promedio antes del sismo.

Las Trayectorias Libre Media (TLM1) medidas a partir de las estaciones OXX y SCX en dirección perpendicular a la Trinchera favorece un valor uniforme de 66 y 74 km para 3 y 6 Hz, respectivamente. Para la dirección diagonal a la Trinchera Mesoamericana, las trayectorias desde OXX tienen una longitud mayor que la estación SCX en un 30%. Sin embargo, para trayectorias aproximadamente paralelas a la Trinchera la estación SCX fue ligeramente mayor.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

El área de estudio está comprendida entre las longitudes 92 y 97° W y las latitudes 14.5 y 19.5°N (Fig.1.1). Esta zona representa una de las regiones de más alta sismicidad de México. Los principales rasgos tectónicos de esta región son: a) La subducción de la Placa de Cocos debajo de la Placa Norteamericana, responsable de la mayor cantidad de sismos en esta área; b) La parte oriental del cinturón volcánico transmexicano (TMB) que da origen a una parte de la sismicidad superficial; c) El sistema de fallamiento Polochic-Motagua con sismos de mecanismos focales transcurrentes; d) El sistema de fallas transcurrentes y de cabalgamiento en la región comprendida entre Chiapas y Oaxaca; y e) Por último, el arco volcánico Tabasco-Oaxaca y su colisión con el graben de Acambay (Ponce y Suárez, 1986c).

A pesar de la frecuencia con la que ocurren los sismos y los daños que producen en esta región, su relación con la tectónica local y regional aun no está bien explicada. Esto se debe, en primer lugar, a que las redes locales (de período corto) son relativamente recientes, por lo que su cobertura fue muy limitada en el pasado.

El trabajo consta de cinco partes: La primera está dedicada al marco geológico y antecedentes sismológicos de la región. En la segunda parte se describen los métodos y programas utilizados en todo el análisis. La tercera parte está centrada en la presentación de los datos seleccionados. En el cuarto capítulo se presentan los resultados gráficos y analíticos. Se definen los diferentes dominios continentales del factor de calidad Q_c . La quinta parte está dedicada a la interpretación de los

resultados. Para esto se hizo un agrupamiento de la información, primero por bloques o celdas y luego por regiones, seis en total. Por último se presentan las conclusiones del trabajo.

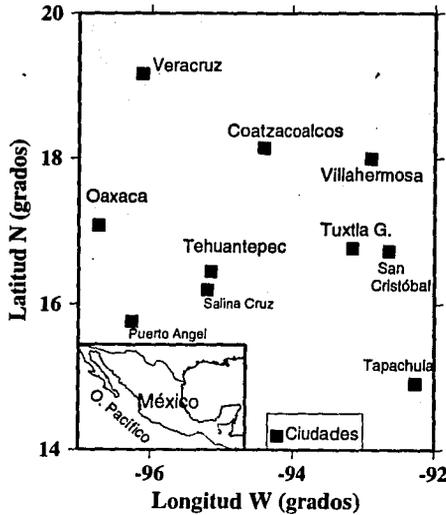


Fig.1.1 Mapa del Istmo de Tehuantepec, México, y regiones adyacentes, mostrando las principales ciudades.

1.1 Las Principales Provincias Geológicas del Sur de México

Las Provincias Geológicas del sur y sureste de México, que corresponden a la región de nuestro estudio (Fig.1.2) se pueden resumir en: 1) Plataforma de Yucatán, secuencia cenozoica, principalmente calcárea y una secuencia cretácica constituida por anhidritas, calizas, dolomías, intercalaciones de bentonitas y sobre todo por las evaporitas de Yucatán, 2) Cuenca Deltaica de Tabasco, compuesta por terreno de tipo sedimentario continental del Cenozoico caracterizado por ser geoclinal; 3) Cinturón Chiapaneco de Pliegues y Fallas, sedimentario marino y su medio ambiente orogénico; 4) Batolito de Chiapas del Paleozoico, de origen plutónico. 5) Macizo Igneo del Soconusco; 6) Cuenca de Tehuantepec ocupa la parte extrema continental

y está compuesta por terreno sedimentario marino del Cenozoico; 7) Cuenca Deltaica de Veracruz; 8) Macizo volcánico de los Tuxtlas del Cenozoico, de origen volcánico; 9) Provincia Cuicateca de origen volcano-sedimentaria, arco submarino; 10) Provincia Zapoteca comprende gran parte del terreno Oaxaqueño, del Precámbrico y complejo; 11) Mixteca de edad Paleozoica y de origen complejo; 12) Chatina (Ortega-Gutiérrez y otros, 1992) / Terreno Xolapa (Campa y Coney, 1983) del Mesozoico, de origen plutónico y raíz de arco.

- | | | | | | |
|--|--------------------------------|--|------------------------------------|--|---|
| | 11) Plataforma de Yucatán | | 2) Cuenca Deltaica de Tabasco | | 1) Cinturón Chiapaneco de Pliegues y Fallas |
| | 4) Batolito de Chiapas | | 5) Macizo Igneo del Soconusco | | 6) Cuenca de Tehuantepec |
| | 7) Cuenca Deltaica de Veracruz | | 8) Macizo Volcánico de los Tuxtlas | | 9) Provincia Cuicateca |
| | 10) Provincia Zapoteca | | 11) Provincia Mixteca | | 12) Provincia Chatina |

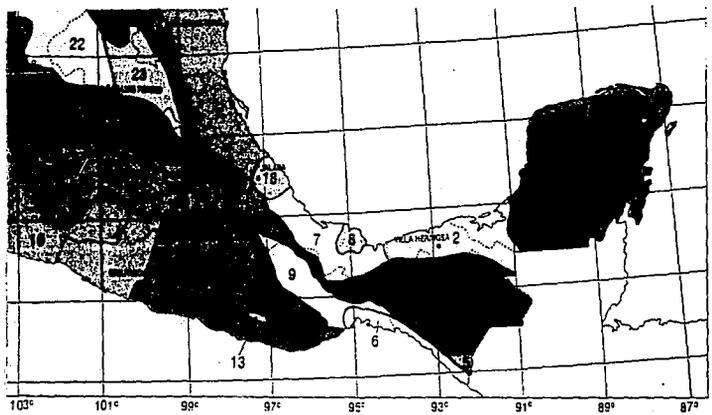


Fig.1.2 Mapa de la parte central y sur de México presentando las principales Provincias Geológicas. Los números indican las Provincias Geológicas (Ortega-Gutiérrez y otros, 1992).

1.1.1 Provincia del sureste de México.

La región del Istmo de Tehuantepec (IT) en la zona de Oaxaca corresponde a una de las áreas de mayor sismicidad de México. La historia sísmica recopilada

desde el siglo XV hasta la fecha, indica la ocurrencia de una gran cantidad de temblores destructores (Singh, 1984; Quintanar, 1985; Figueroa, 1987).

El Istmo de Tehuantepec (Fig. 1.1) forma parte de la Provincia del sureste de México, la cual es una de la más importantes de México, desde el punto de vista geológico, corresponde a la conjunción de diferentes lineamientos tectónicos (Fig.1.3). Se considera un punto triple no bien definido, por la convergencia de las Placas Cocos, Norteamericana y El Caribe (Morán-Zenteno, 1985; Guzmán-Speziale y otros, 1989; Delgado-Argote y Carballido-Sánchez, 1990; Morán-Zenteno, 1990).

Los estudios de sismicidad en esta región, muestran un cambio considerable en la geometría de la placa subducida a partir de la longitud 96° W, pasando de una geometría subhorizontal a una muy profunda, con buzamiento de 45° - 50° al Este de los 96° W (Ponce y otros, 1992)

1.1.1.1 Las Regiones Centrales y Meridionales del Istmo de Tehuantepec.

Cuatro fases principales se observan: Fase distensiva, ligada a la distensión triásica-jurásica del Golfo de México; fase compresiva subherciniana; fase compresiva larámica, la cual se efectúa en seco y vuelve a tomar una dirección ligeramente oblicua. Las formaciones de la Sierra de Juárez cabalgan la cobertura meridional de los batolitos permo-triásicos. Fallamiento neotectónico y fallas triásico-jurásicas fueron reactivadas recientemente y una fuerte sismicidad delinea los accidentes ístmicos debido a la segmentación de la Placa de Cocos (Carfantan, 1986).

Los principales lineamientos y fallas estructurales en la Sierra Madre de Chiapas, oeste de Guatemala y la parte central del Estado de Tabasco, se muestran en la Fig.1.3.

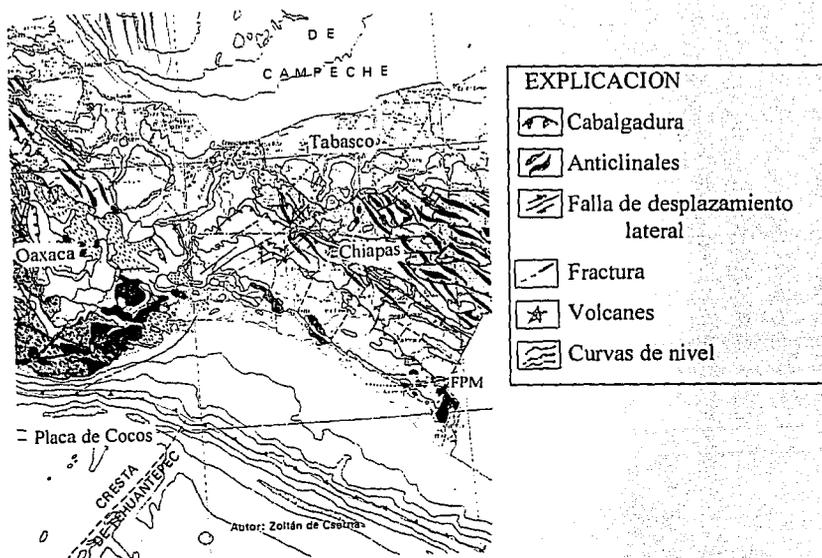


Fig.1.3 Mapa Geológico de la zona del Istmo de Tehuantepec. Los principales rasgos tectónicos son: La Trinchera Mesoamericana con una orientación NO-SE y la cresta de Tehuantepec, en la parte oceánica. Las fallas de tipo cabalgamiento en la región de Oaxaca; las fallas de corrimiento lateral derecho y las de cabalgamiento al NE de Chiapas y el sistema de Fallas Poloichic-Motagua (FPM), en la zona continental. Las Provincias Geológicas aparecen en colores, como se definieron en la Fig.1.2. (Tomado de De Cserna, 1992).

1.1.1.2 Subprovincia de la Sierra de Chiapas.

Limitada al norte por la planicie costera del Golfo, al sur por el Macizo de Chiapas, al este por el altiplano de Guatemala y al oeste por una parte del Istmo de Tehuantepec. Esta Subprovincia pertenece al Paleozoico superior al SE de Chiapas. La formación Todos Santos (la parte inferior de Chiapas, Guatemala, Honduras y El

Salvador) son de edad Jurásico inferior y medio. La depresión de Chiapas situada al sureste del Estado, donde inicia su curso el río Chiapas y luego el río Grijalva, presenta fallas normales.

Para hacer una interpretación de la interrupción de los pliegues de la Sierra de Chiapas en la planicie costera del Golfo, se especula que a lo largo de ese frente montañoso existe una zona de fallas (López Ramos, 1979). Esa serie de pliegues y fallas seguramente son de edad Terciaria inferior y media, algo característico es que las fallas presentan el mismo rumbo que las de la Sierra NW-SE.

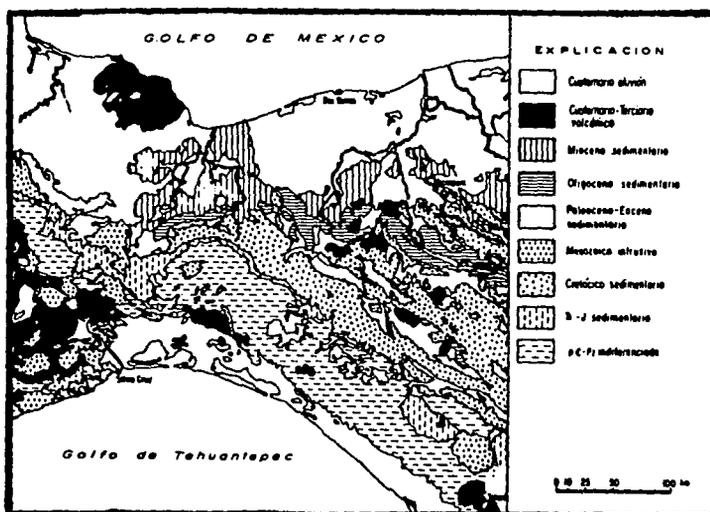


Fig.1.4 Mapa litológico, donde destacan las unidades oligocénicas afectadas por un sistema transpresivo neogénico (Reproducido de Delgado-Argote y Carballido-Sánchez, 1990).

1.1.1.3 Macizo de Chiapas.

El Macizo de Chiapas, localizado en el extremo sureste de México, constituye el parteaguas entre la vertiente del Golfo de México y del Pacífico, con altitudes de hasta 2,500 mts. Se advierte la presencia de vulcanismo, sobre todo Terciario;

considerado como un gran batolito (López Ramos, 1979). Se observan las rocas más antiguas de la Provincia, con edad del Precámbrico en el Estado de Chiapas, con esquistos micáceos y gneises graníticos en Oaxaca y granitos y granodioritas en el Macizo de Chiapas (Fig. 1.4 y 1.5).

El depósito de sedimentos mesozóicos, como calizas, en la vertiente del Pacífico, supone una analogía de condiciones de depósito en la vertiente del Golfo de México. Fallamiento de corrimiento lateral izquierdo es visto en las Fallas de la Venta, Malpaso, Chicoasén, Copainalá, Oxchuc y Ocosingo. Fallas de cabalgamiento en la Falla de Itzantún, Amatán y al oeste-noroeste de Chiapas en la Falla de Chivela, el Zapote, de Huamelula y de Astatot.

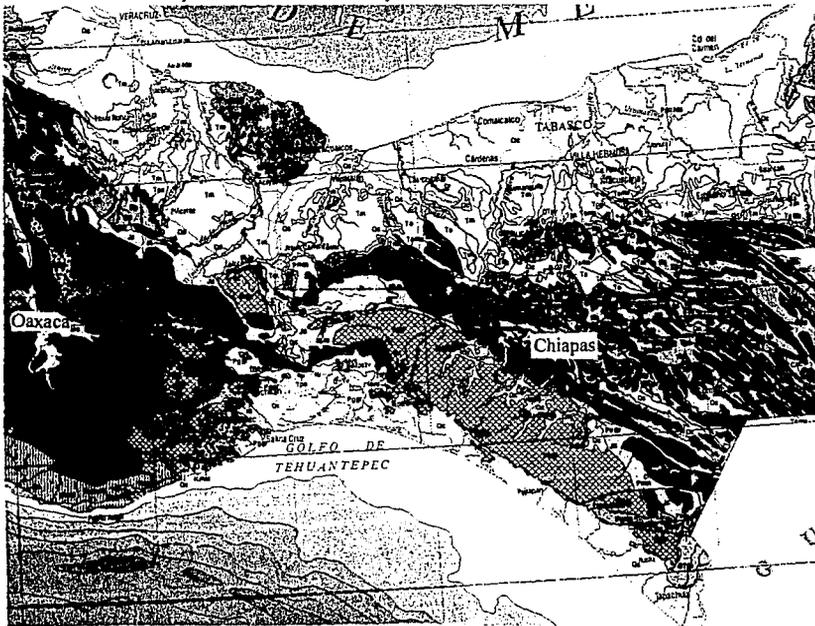


Fig.1.5 Mapa litológico mostrando las edades de las diferentes regiones del I.T. (Jc) Jurásico-continental, (Jv) Jurásico-volcánico, (Ksc) Cretácico-sedimento-continental, (Kmet) Cretácico-metamórfico, (Pggr) Paleoceno-gabros-graníticas, (Pmet) Paleozoico-metamórfico, (Psg) Paleozoico-superior-graníticas, (Qc) Cuaternario-continental, (Tm) Terciario-mioceno, (To) Terciario-oligoceno (carta geológica UNAM, 1992).

1.1.1.4 Sector Nor-Occidental de Chiapas.

Se observan varias fases tectónicas, una de ellas es la Triásica-jurásica, que divide el amazón paleozoico en fosas y pilares, permitiendo la ascensión de material volcánico. La fase orogénica de fracturación larámica, en el paleoceno, provoca la fracturación del dominio chiapaneco y termina con la emersión. Esta fracturación está relacionada con el nacimiento del protosistema Polochic-Motagua (FPM) y la apertura de la Cuenca de Yucatán (Fig.1.3 y 1.6).

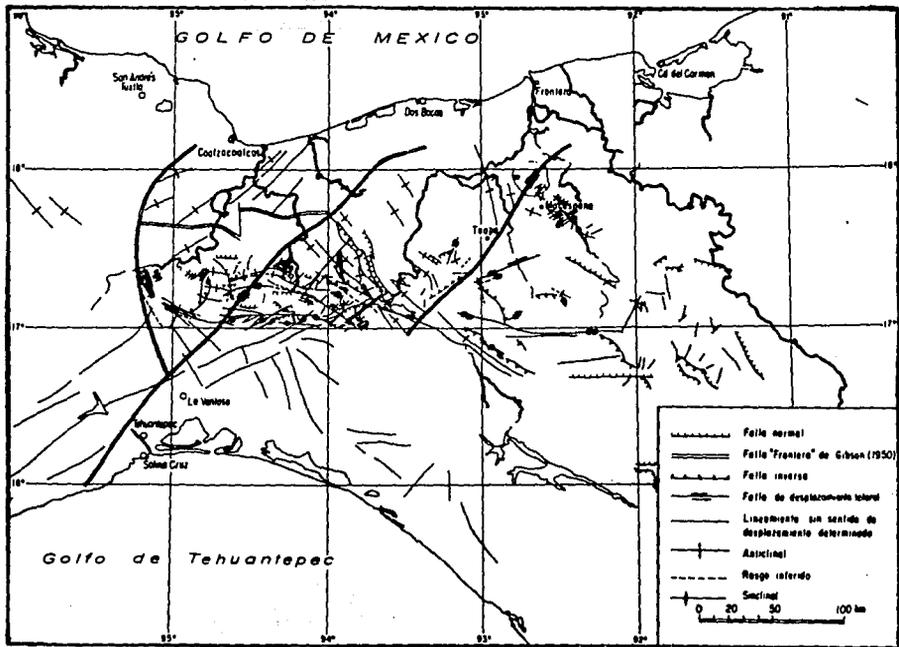


Fig.1.6 Mapa estructural compilado de diversos trabajos y autores, se explica el comportamiento de un sistema transpresivo entre Macuspana y Puerto Angel, al SW de Salina Cruz (Delgado-Argote y Carballido-Sánchez, 1990).

Una fase compresiva mayor, durante el mioceno superior, es la fase esencial; las fallas larámicas reactivadas actúan como fallas transcurrentes izquierdas, provocando torsiones axiales y cabalgamientos, debido a la actividad transcurrente izquierda del sistema Polochic-Motagua (FPM) (Fig.1.3). Más tarde la fase distensiva plio-cuaternaria ocasiona una gran depresión en formación paralela al límite del Pacífico. Esta neo-tectónica distensiva resulta del estado "convergencia-extensión" entre la Placa de Cocos y la Placa Norteamericana a la altura del dominio chiapaneco (Carfantan, 1986).

1.1.2 Principales fallas en el área y sus características.

1.1.2.1 Falla de Chacalapa-Juchatengo, estado de Oaxaca.

Estructura considerada como la sutura entre los terrenos Chatino y Zapoteco (Ortega-Gutiérrez, 1981). Define un arco convexo hacia el sur que se extiende aproximadamente 160 km. en la región meridional del estado de Oaxaca. Está constituido por un complejo milonítico situado al sur, desarrollado a expensas de las rocas gnéisicas y graníticas del complejo Xolapa, y las granulitas del complejo Oaxaqueño, localizado al norte de la falla. Su edad probable es del Cretácico tardío-Paleógeno, afectan rocas de la cobertura cretácica del complejo Oaxaqueño y está cubierta de secuencias volcanoclásticas.

1.1.2.2 Falla de Oaxaca.

Tiene una dirección NNW-SSE y una longitud cercana a los 150 km. Se extiende desde la ciudad de Oaxaca hasta Tehuacán, separando a los terrenos Zapoteco y Cuicateco. Ocupada por un complejo milonítico, que es el más extenso conocido en México, desarrollado mayoritariamente a partir de un protolito gnéisico del complejo Oaxaqueño, el cual cabalgó en dirección este, a las rocas

sedimentarias, volcanosedimentarias y plutónicas del terreno Cuicateco, de edad mesozoica (Fig. 1.4).

1.1.2.3 Falla de Vista Hermosa.

Es una cabalgadura que se encuentra separando a las rocas metamórficas del Mesozoico (o Paleozoico; Carfantán, 1985) pertenecientes al terreno Cuicateco, situado al oeste de la falla, y a unos lechos rojos, probablemente de la Formación Todos Santos, que está al este de la falla. De edad laramídica, con una polaridad tectónica del transporte hacia el este. Gabros serpentinizados y serpentinitas son las rocas principales, las cuales presentan un enraizamiento profundo, que posiblemente alcance la región ístmica hacia el sur, y la de Tehuacán hacia el norte.

1.1.2.4 Sistema de fallas Polochic-Mapastepec, estado de Chiapas.

Este sistema de fallas representa la continuación en México del sistema de fallas laterales izquierdas Polochic-Motagua (Fig.1.3), que define el límite tectónico entre las Placas del Caribe y Norteamericana. Intersecta y desplaza a la Trinchera Mesoamericana frente a las costas del Océano Pacífico (Burkart, 1983) definiendo un punto triple. Su extensión no ha podido demostrarse, o bien podrá considerarse sometida a una flexión hacia el NW y continuar en la región ístmica, transformándose en un sistema difuso de fallamiento múltiple (Ortega-Gutiérrez, 1992). Lo que si es notorio es el marcado cambio de orientación del sistema Polochic respecto a los lineamientos del área del Istmo de Tehuantepec (Delgado-Argote y Carballido-Sánchez,1990) definido como sistema Puerto Angel-Macuspana (Fig. 1.5).

1.1.2.5 Sistema de fallas laterales del Cinturón Chiapaneco de pliegues y fallas.

Este sistema lateral izquierdo de fallas, en dirección E-W, con una longitud conjunta a los 300 km, controvertido en cuanto a su edad y actividad tectónica, consiste de numerosas fallas subverticales que truncan a sedimentos tanto mesozoicos como terciarios. Sobresalen las fallas de Ocosingo, Malpaso-Muñiz y Chicoasén-Huixtán, que llegan a alcanzar hasta los 100 km de longitud cada una.

1.2 Historia Sísmica.

La sismicidad en la parte del IT está dominada por el efecto de la subducción de la Placa de Cocos debajo de la Placa Norteamericana, a una velocidad relativa promedio de 7 cm/año (Ponce y otros 1992, Suárez y otros 1992), con un ángulo de 45° de inclinación y un azimut de 36° (Haskov y otros 1978; Novelo-Casanova, 1980). Eventos de profundidad intermedia (70-90 km) ocurren frecuentemente, mientras que la sismicidad de la corteza es dispersa en esta parte de México. La sismicidad del IT es alta comparada con otras partes de la zona de subducción Mesoamericana.

Algunos sismos originados en fallas específicas, son de magnitud moderada ($M_s=6.0-7.0$). Pero a lo largo del Golfo de México, considerada una margen continental pasiva, una serie de pequeños sismos (corticales) ocurren en la región comprendida entre las ciudades de Coatzacoalcos y Tuxpan. El mayor sismo, observado e instrumentado, ocurrió en Jáltipan, zona del Golfo de México, el 26 de agosto de 1959 con una magnitud de 6.5 (Figuroa, 1970).

La sismicidad histórica se remonta a los primeros reportes realizados por sacerdotes e historiadores durante la época colonial. Así, el primer registro que se menciona para la zona de estudio es del 1 de abril de 1523, cuando ocurrió un temblor en Veracruz. También se reportaron erupciones del volcán Orizaba con posibles sismos en 1545 (Orozco y Berra, 1887).

Tabla 1.1

Sismos de $M_s \geq 7.0$ ocurridos en el Istmo de Tehuantepec durante este siglo*

Nº	Fecha	T. de Origen	Latº(N)	Longº(W)	Prof(km)	Ms.
1	23 septiembre 1902	-	16.58	92.58	100	7.8&
2	19 noviembre 1912	-	19.98	96.90	10	7.0#
3	30 marzo 1914	04:41:18	16.77	92.15	80	7.5&
4	29 diciembre 1917	22:50:20	15.0	97.0	S	7.1
5	22 marzo 1928	04:17:03.2	16.23	95.45	S	7.7
6	17 junio 1928	03:19:28.2	16.33	96.70	S	8.0
7	9 octubre 1928	03:01:07.7	16.34	97.29	S	7.8
8	15 enero 1931	01:50:40.2	16.10	96.64	S	8.0
9	14 diciembre 1935	22:07:18	16.72	93.10	-	7.3&
10	26 julio 1937	03:47:13	18.45	96.08	85	7.3#
11	20 noviembre 1942	04:05:47	16.47	94.43	100	7.2&
12	11 julio 1946	04:46:46	17.23	94.62	70	7.1&
13	26 septiembre 1955	08:28:32	15.83	92.83	200	7.0&
14	23 agosto 1965	19:46:02.9	16.30	95.8	S	7.8
15	29 noviembre 1978	10:52:47.3	16.00	96.69	S	7.8

* Datos de Singh (1984).

Datos de Suárez y otros (1986).

& Datos de Figueroa (1970 y 1973).

S = somero.

En la Tabla 1.1 se muestran los mayores eventos ocurridos en la zona del IT durante este siglo, reportados por diferentes investigadores (Singh y otros, 1984; Suárez y otros, 1986; Figueroa, 1970 y 1973).

1.3 Otros estudios.

La principal característica sismotectónica en el sur de México, la subducción de la Placa de Cocos debajo de la Placa Norteamericana (Molnar y Sykes, 1969) ha hecho que se desarrollen varios trabajos de investigación sobre todo en la parte oceánica. Así, se han efectuado importantes estudios en la dorsal Pacífico Este (EPR). Los datos de anomalía magnética y batimetría del EPR constituye el punto más joven en la historia tectónica para la construcción de un modelo de tectónica de placa para el Pacífico Ecuatorial Este (Klitgord y Mammerickx, 1982). La topografía de las zonas fracturadas en el EPR muestra las características más importantes (Menard, 1964, 1966). Así, la fractura de Clipperton (CFZ) es una zona de apertura de estructuras paralelas que giran suavemente hacia el noreste y parece tener su contraparte en la dorsal de Tehuantepec (TFZ), sobre el lado norte de la zona de fractura de Tehuantepec. Este constituye el rasgo lineal batimétrico de mayor longitud en el flanco Este del EPR, desde aproximadamente 10-4 Ma. Estos rasgos morfológicos nos permiten determinar la correlación edad-profundidad de la corteza en el piso oceánico, según la relación cuantitativa (Sclater y otros, 1971):

$$d = 2,500 \text{ mts} + \sqrt{350(\text{edad})} \quad (1.1)$$

con la (edad) en millones de años y (d) en metros.

La sismicidad del Istmo de Tehuantepec despierta un gran interés para los sismólogos, sobre todo en la década de los 80 cuando se empieza un estudio

sistemático de esta región. El análisis de la sismicidad profunda es importante para conocer la dirección, inclinación y velocidad de subducción de la Placa Cocos debajo de la Placa Norteamericana (Novelo-Casanova, 1980; Kostoglodov y Bandy, 1995). También se nota que la zona de Benioff a partir de los 100 km de profundidad queda representada por un bloque de 46 km de espesor (Novelo-Casanova, 1980).

Los trabajos de clasificación de los sismos superficiales en México (Singh, 1984) muestran un total de siete sismos de magnitud igual o mayor a 7.0 Ms para esta zona. Estos se encuentran localizados básicamente en el Estado de Oaxaca y su costa (Tabla 1.1). Núñez-Cornú (1987) y Quintanar (1985) analizaron temblores fuertes de los últimos 100 años, con la finalidad de construir un catálogo homogéneo de los eventos sísmicos, recurrencia en la región y variaciones espacio-temporales de la sismicidad.

1.4 Objetivos.

En la década de los 80 fue instalada una red telemétrica, con estaciones digitales y analógicas, para cubrir la parte Sur y Suroeste de México. Este proyecto se realizó en colaboración con el Instituto de Geofísica por parte de la UNAM, la Secretaría de Comunicaciones y Petróleos Mexicanos (PEMEX). Actualmente esta red es administrada por el Servicio Sismológico Nacional (SSN) a cargo del Instituto de Geofísica.

A partir de 1988 se obtienen de manera rutinaria registros digitales de las principales estaciones y un año más tarde son abundantes y confiables, tanto para las

localizaciones hipocentrales como para la determinación de la magnitud para eventos de $M_s \leq 5.5$ usando la coda de los eventos registrados.

Este trabajo presenta un estudio del comportamiento espacial del factor de calidad Q_c (y la atenuación Q_c^{-1}) en el Istmo de Tehuantepec (IT), parte de la zona de Veracruz y Chiapas, para eventos ocurridos entre Enero de 1989 y Diciembre de 1994. Se utilizaron los datos digitales de la Red Sismológica Nacional del Servicio Sismológico Nacional (SSN). Se aplican tres métodos: Aki y Chouet (1975), Sato (1977), Phillips y Aki (1986). Se realiza también un análisis de los eventos por profundidad para tener una mejor información sobre las características de la zona de Benioff. Además se hace una interpretación del comportamiento temporal del factor Q_c . Por último, se comparan los resultados con la litología de la zona.

CAPITULO 2

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS Y METODOS UTILIZADOS.

2.1 Teoría y técnicas.

Las ondas coda constituyen una de las características más importantes observadas en los sismogramas y su estudio ha sido de gran valor en la interpretación de la fuente y del medio de propagación de las ondas sísmicas. Cuando una onda primaria (en este caso S) se propaga en un medio que no sea perfectamente elástico sufre una disipación de su energía ($1/Q$) y la fracción de energía disipada durante un ciclo en cada onda se representa como:

$$1/Q = - (1/2\pi) (\Delta E/E) \quad (2.1)$$

Por otra parte, cuando una onda primaria S interactúa con una heterogeneidad del medio, produce otras ondas secundarias, este proceso se denomina dispersión y es el que da origen a las ondas coda. El decaimiento de las ondas coda es una función de la absorción intrínseca y de la dispersión, debida a heterogeneidades (Aki, 1969; Aki y Chouet, 1975; Sato, 1977; Gusev y Lemzikov, 1985). Dainty y Toksöz (1981) obtuvieron una expresión de la siguiente forma:

$$1/Q = 1/Q_i + 1/Q_{dis} \quad (2.2)$$

donde $1/Q$ es la atenuación aparente y $1/Q_i$ es la atenuación intrínseca, $1/Q_{dis}$ representa la atenuación por dispersión.

Esta ecuación se puede expresar en función de la velocidad (v) de esta onda y la frecuencia angular (ω):

$$1/Q = 1/Q_i + gv/\omega \quad (2.3)$$

siendo (g) el coeficiente de turbidez, que mide la intensidad de la dispersión (Dainty, 1981).

Podemos interpretar este resultado de la siguiente manera, si la absorción ($1/Q_i$) es baja y existe una fuerte dispersión (g), el sismograma tendrá una larga duración; por el contrario si la absorción es grande, la duración es corta o sea la coda tendrá un rápido decaimiento. Esta interacción es la que nos permite deducir propiedades litológicas del interior de la Tierra en regiones específicas.

2.1.1 Características y atenuación de las ondas coda

Las características de estas ondas han sido estudiadas por diversos investigadores (Aki y Chouet, 1975; Sato, 1977, 1988; Gusev y Lemzikov, 1985; Lee y otros, 1986; Novelo-Casanova y otros, 1985; Hellweg y otros, 1995), éstas se pueden resumir en:

1.- El contenido espectral de la primera parte de un sismograma está asociado a la distancia de viaje y la naturaleza de la trayectoria seguida por la onda desde el foco a la estación. La diferencia espectral entre estaciones disminuye en la parte posterior del sismograma (Aki, 1969).

2.- La duración total del sismograma, para sismo local (distancia ≤ 100 km), es casi independiente de la distancia epicentral o del azimut y puede usarse efectivamente como una medida de la magnitud del sismo (Soloviev, 1965; Tsumura, 1967; Lee y otros, 1972).

3.- La medida de Q_c para diferentes posiciones y longitudes de la ventana de la coda pueden causar cambios significativos en el valor de éste (Hellweg y otros, 1995).

4.- La geología local del sitio de la estación afecta la excitación de las ondas coda. Puede ser de 5 a 8 veces mayor en los sedimentos que en el granito.

5.- Estudios de coda para un arreglo de pequeña apertura de sismógrafos muestran que no son ondas planas regulares viniendo desde el epicentro (Aki, 1956; Scheimer y Landers, 1974).

2.1.2 Teoría de la dispersión simple de Aki.

La duración de la fuente del terremoto, puede ser medida aproximadamente por la longitud de la falla dividida por la velocidad de ruptura. Llamaremos "Ondas Primarias" a las ondas que se expanden hacia afuera desde la fuente, antes de tener alguna disipación. La naturaleza de esta disipación depende de la estructura de la Tierra en su trayectoria.

En su propagación hacia afuera, las ondas primarias generan ondas secundarias en cada heterogeneidad que se encuentren en su trayecto. Así, la coda de un sismo local es el resultado de la dispersión simple de ondas superficiales debido a numerosas heterogeneidades (Fig.2.1), distribuidas en forma aleatoria en la corteza (Aki, 1969).

El espectro de potencia $P(\omega, t)$ de las ondas coda observadas en un tiempo t , medido a partir del tiempo de origen, se puede expresar como la convolución de los parámetros de la fuente $S(\omega)$ y el efecto local del medio $C(\omega, t)$:

$$P(\omega|t) = S(\omega) * C(\omega|t), \quad (2.4)$$

siendo $S(\omega)$ proporcional al momento sísmico.

Si consideramos dos sismos locales de potencia $P_1(\omega, t)$ y $P_2(\omega, t)$, respectivamente, debido a que la constante $C(\omega, t)$ será común a ambos, entonces:

$$\frac{P_1(\omega, t)}{P_2(\omega, t)} = \frac{S_1(\omega)}{S_2(\omega)} \quad (2.5)$$

El término de la derecha representa físicamente la razón de la energía sísmica total generada por un terremoto en la banda de unidad de frecuencia central ω . Otra suposición es que la duración de las ondas primarias es pequeña comparada con el intervalo de tiempo (Δt) sobre el cual se estima el espectro de potencia de la coda. Esto implica, que la dimensión espacial de la fuente primaria es menor que el producto de la velocidad de propagación por el tiempo ($v_p * \Delta t$).

2.1.3 Modelos de las ondas coda :

a) Modelo de dispersión simple, considera la coda como la superposición de ondas dispersadas de varias fuentes discretas.

b) Modelo de difusión considera la transferencia de energía sísmica como un proceso de difusión. En este caso la energía se conserva, a diferencia del modelo anterior.

En ambos modelos se considera a la fuente y el receptor en el mismo lugar, lo cual es válido debido a que se asume que el espectro de potencia de las ondas coda es independiente de la distancia epicentral. Siendo r la distancia estación-heterogeneidad, R la distancia epicentro-heterogeneidad y δ la distancia estación-epicentro, se debe cumplir:

$$r \cong R \gg \delta \quad (2.6)$$

Entonces la ecuación (2.4) se puede escribir como:

$$P(\omega, t) = M_0^2 |\phi_0(\omega, r_0)|^2 2N(r_0) t^{-1} e^{-\omega t/Q} \quad (2.7)$$

donde: $S(\omega) = M_0^2$

y

$$C(\omega, t) = |\phi_0(\omega, r_0)|^2 2N(r_0) t^{-1} e^{-\omega t/Q} \quad (2.8)$$

Aquí M_0^2 es el momento sísmico, $|\phi_0(\omega, r_0)|$ es el valor absoluto de la Transformada de Fourier (FFT) del desplazamiento debido a una onda secundaria generada en una heterogeneidad a la distancia r_0 de la estación. $N(r_0)$ es el número de heterogeneidades dentro del radio r_0 y $\exp(-\omega t/Q)$ es la corrección por disipación del medio en un tiempo (t) medido desde el origen.

Un factor importante lo constituye el "espectro de coda reducida" $X(f_p)$.

$$X(f_p) = t^{1/2} e^{\pi f_p t / Q} \left[-\frac{1}{Q} \frac{dt}{df} \right]^{1/4} \langle y^2(t) \rangle^{1/2} \quad (2.9)$$

$$X(f_p) = K(t) \langle y^2(t) \rangle^{1/2} \quad (2.10)$$

donde el término $K(t)$ incluye una corrección por dispersión geométrica, disipación y disipación aplicada a la amplitud observada. El término $\langle y^2 \rangle^{1/2}$ corresponde a la amplitud media tomada del sismograma.

Aki (1969) obtuvo una relación empírica entre la frecuencia principal (f_p) y el tiempo (t) para eventos pequeños en el área de Parkfield, California, usando un valor para $Q = 200$ de la forma:

$$t/100 = (f_p / 0.82)^{-1.5} \quad (2.11)$$

ELIPSES GENERADAS POR EL MODELO DE DISPERSION SIMPLE

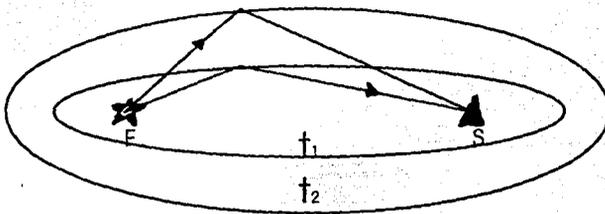


Fig. 2.1 Elipses generadas por el modelo de dispersión simple. Los tiempos característicos de cada elipse cumplen $t_1 < t_2$. (F) representa la fuente, (S) la estación (Reproducido de Singh, 1981).

2.1.4 Método de Aki-Chouet (1975)

Fue uno de los primeros métodos desarrollados para la dispersión simple. Como se mencionó anteriormente, se considera que la coda es una superposición de ondas dispersadas debido a heterogeneidades discretas. Se considera que las ondas de cuerpo S son las causantes de las ondas coda.

El espectro de potencia $P(\omega, t)$ se puede expresar en función de la densidad de heterogeneidades por unidad de volumen σ , como:

$$P(\omega, t) = 8\pi\sigma |\phi_o(\omega, r_o)|^2 (r_o)^4 v^{-1} t^{-2} e^{-\omega t/Q} \quad (2.12)$$

o en forma simplificada:

$$P(\omega, t) = S(\omega) t^{-m} e^{-\omega t/Q_c(\omega)} \quad (2.13)$$

siendo el factor de la fuente $S(\omega)$ a la frecuencia ω :

$$S(\omega) = 8\pi\sigma |\phi_o(\omega, r_o)|^2 (r_o)^4 v^{-1} \quad (2.14)$$

aquí v es la velocidad de la onda considerada, t^{-m} es la dispersión geométrica y $\exp(-\omega t/Q_c(\omega))$ contiene los efectos de atenuación intrínseca y por dispersión. El momento sísmico está relacionado con el espectro $|\phi_o(\omega, r_o)|$ mediante la expresión:

$$|\phi_o(\omega, r)| = M_o |\phi_o(\omega, r_o)| \quad (2.15)$$

ya que $|\phi_o(\omega, r_o)|$ depende sólo de la frecuencia (Aki, 1969) y es constante si consideramos una distribución uniforme de heterogeneidades en el espacio y la variación de $S(\omega)$ entre distintos eventos se debe a la diferencias de M_o (Herraiz y Espinosa, 1987).

Las amplitudes de la coda observadas están relacionadas con el espectro de potencia calculado. Por lo tanto la amplitud de la envolvente $A(\omega, t)$ será:

$$A(\omega, t) = C(\omega)t^{-a} e^{-a\omega/2Q_c(\omega)} \quad (2.16)$$

siendo $a = m/2$, donde ($m = 1$ para ondas superficiales, 2 para ondas de cuerpo) y

$$C(\omega) = 2 [2 * S(\omega) \Delta f]^{1/2} \quad (2.17)$$

Aplicando logaritmo a la ecuación (2.16) y considerando que son ondas de cuerpo ($m = 2$), tenemos

$$\log_{10} [A(f, t)t] = C - bt \quad (2.18)$$

$$\text{con} \quad b = \pi(\log_{10} e)f/Q_c(f) \quad (2.19)$$

de donde podemos obtener Q_c a partir de la pendiente b de la recta definida por 2.18 y la ecuación (2.19), por medio de ajuste de mínimos cuadrados.

2.1.5 Método de Sato (1977).

Este método considera la dispersión simple de Aki y Chouet (1975), pero supone que la fuente sísmica y la estación se encuentran separadas. Asume un medio

infinito tridimensional y una distribución homogénea y aleatoria de las heterogeneidades, caracterizado por una "trayectoria libre media" $\ell = 1/n\sigma$ siendo σ la sección total efectiva que controla la transferencia de energía de la onda primaria a la onda dispersada según el trayecto recorrido, con una velocidad v y $n\sigma$ el coeficiente de dispersión efectiva. Así la densidad de flujo de energía media se reduce por el factor $e^{-x/\ell}$ siendo x la distancia recorrida según la propagación (Sato, 1977).

Se considera una fuente puntual, lo cual significa, que su tamaño es menor que la longitud de onda λ de la onda elástica emitida, el medio está caracterizado por una densidad de masa (m) y el cambio de amplitud es causado solamente por la expansión geométrica.

Sato (1977) presenta este modelo, como una generalización del modelo de Aki y Chouet (1975) de simple dispersión por retroceso. Haciendo estas consideraciones, la densidad media de energía de las ondas dispersadas está dada por:

$$E_d(r,t,\omega) = \frac{W_0(\omega)}{4\pi l} \left(\frac{1}{r}\right)^2 K\left[\frac{vt}{r}\right] \quad (2.20)$$

donde $W_0(\omega)$ representa la densidad de energía total radiada a la frecuencia ω , r la distancia hipocentral, t es el tiempo transcurrido a partir del tiempo de origen y:

$$K\left[\frac{vt}{r}\right] = \frac{r}{vt} \ln \frac{\frac{vt}{r} + 1}{\frac{vt}{r} - 1} \quad (2.21)$$

$K(t,r)$ es el efecto de dispersión geométrica. En la ecuación (2.20) se considera el término Θ (función escalón) para la condición causal, lo cual significa que la velocidad de propagación aparente siempre es igual o menor a la velocidad (v):

$$\begin{aligned} \Theta(x) &= 1 & \text{si } x \geq 0 & \quad \text{siendo} \quad \Theta(vt/r - 1) \\ \Theta(x) &= 0 & \text{si } x < 0 & \end{aligned}$$

Con una distribución homogénea de las heterogeneidades, ($\ell = 1/n\sigma$) donde n representa la densidad de distribución. Por tanto, para el caso de ondas S, sustituyendo ℓ en la ecuación (2.20) y sabiendo que $r = vt_s$:

$$E_d(r,t,\omega) = \frac{W_0(\omega)n\sigma}{4\pi} (1/r)^2 K[t/t_s] \quad (2.22)$$

siendo t_s el tiempo de recorrido de la onda S. Considerando el efecto anelástico del medio, la ecuación (2.22) se puede reescribir en la forma:

$$E_d(r,t,\omega) = \frac{W_0(\omega)n\sigma}{4\pi} (1/r)^2 K[t/t_s] e^{-\omega t/2Qc} \quad (2.23)$$

y la densidad de energía radiada, en un tiempo corto (μ), de la onda S directa a una distancia ($r = \ell$) (Sato, 1977) será:

$$E_s(r,\omega) = \frac{W_0(\omega)}{4\pi\beta\mu} (1/r)^2 e^{-\omega t/2Qc} \quad (2.24)$$

donde $\beta\mu = \ell$ y β es la velocidad de la onda S.

Recordando que la energía sísmica es directamente proporcional al cuadrado de la amplitud de las ondas (Gutenberg y Richter, 1956), podemos considerar la relación de energía (E_s y E_d) entre ambas ondas directa S y la dispersada respectivamente como:

$$\frac{E_s}{E_d} \cong \frac{A_s^2}{A_d^2} \cong [1/(n\sigma)(\beta\mu)] \frac{1}{K(\alpha)} e^{\alpha(t-t_0)/2Q_c} \quad (2.25)$$

donde $\alpha = t/t_s$

Tomando el logaritmo en ambos lados de la ecuación y agrupando términos llegamos a una expresión de la forma:

$$\log_{10} \left[\left(\frac{A_s^2}{A_d^2} \right) K(\alpha) \right] = -C + 2b(t - t_0) \quad (2.26)$$

siendo

$$C = \log_{10} [n\sigma\beta\mu]^{-1} \quad (2.27)$$

y

$$b = \pi(\log_{10} e) f / Q_c \quad (2.28)$$

El valor de Q_c se obtiene a partir de la ecuación (2.28) y se considera que ha sido removido la dependencia del instrumento.

Gao (1984) propuso un método para obtener una relación de proporcionalidad entre el espectro de potencia-atenuación y la densidad espectral del promedio de la energía para múltiple dispersión de las ondas S. Partiendo del espectro de potencia de atenuación de las ondas S:

$$P(\omega|t) = 2\omega AS(\omega) \frac{1}{Q_s v^2 t^2} e^{-\omega t/Q} \quad (2.29)$$

siendo

$$A = 1 + 1.23(\omega t / Q_s) e^{0.33\omega t / Q_s} \quad (2.30)$$

Considerando el espectro de densidad de energía para múltiple dispersión de ondas S a una distancia (R) de la fuente y la distancia r_0 de referencia desde la fuente primaria, como:

$$F(\omega|t) = (r_0 / R)^2 |\phi(\omega|r_0)|^2 e^{-\omega(R-r_0)/Qv} \quad (2.31)$$

de las ecuaciones (2.29) y (2.31) se obtiene:

$$\frac{P(\omega|t)}{F(\omega|t)} = 2\omega A \frac{1}{Q_s \alpha^2} e^{-\omega(t-r)/Q} \quad (2.32)$$

siendo $\alpha = t / t_s$. Los parámetros Q y Q_s representan el factor de calidad aparente y de dispersión, respectivamente.

A partir de la observación del espectro de potencia de las ondas coda y del espectro de potencia de las ondas S, obtenidos de una simple estación (Gao, 1984), podemos determinar los factores de la ecuación 2.1 (Dainty y Toksöz, 1981). Sin embargo este procedimiento no será aplicado en este trabajo.

2.1.6 Método de Phillips y Aki (1986).

Este método es una implementación, en el dominio de la frecuencia, del método de Aki y Chouet (1975). Para una región dada, las ondas coda presentan una característica espectral que es aproximadamente independiente de la localización de la fuente y el receptor, así como también de la orientación de la fuente (Phillips y Aki, 1986). Esta propiedad puede ser expresada por:

$$P(\omega, t) = |S(\omega)|^2 C(\omega, t) \quad (2.33)$$

siendo $S(\omega)$ la dependencia de la fuente sísmica y las condiciones de sitio en la estación. $C(\omega, t)$ depende de la frecuencia y el tiempo (t) y es independiente de la localización estación-fuente.

La expresión (2.33) la podemos escribir entonces (Aki y Chouet, 1975):

$$P(\omega, t) = C(\omega)t^{-2} e^{-\omega t/Qc(\omega)} \quad (2.34)$$

donde el factor t^{-2} es equivalente al factor de expansión geométrica de Sato (1977) $K(\alpha)$, descrito en la ecuación (2.21). Entonces la ecuación (2.34) podemos escribirla:

$$P(\omega, t) = C(\omega)K(\alpha)e^{-\omega t/Qc(\omega)} \quad (2.35)$$

Tomando el logaritmo en ambos lados de esta ecuación:

$$\log_{10}[P(f, t)/K(\alpha)] = C - 2bt \quad (2.36)$$

donde C depende solamente de la frecuencia y :

$$b = \pi(\log_{10} e) f / Q_c(\omega) \quad (2.37)$$

Como en los trabajos de Lee y otros (1986), el espectro de potencia $P(\omega, t)$ en la ecuación (2.35) es evaluada moviendo la FFT en ventanas traslapadas. El valor de Q_c es estimado a partir de la pendiente b de la recta definida por 2.36 y la ecuación (2.37).

2.2 Programa CODAQ.

El programa, utilizado en este trabajo fue desarrollado por Novelo-Casanova y Monfret (1994). Permite calcular el factor Q_c por tres métodos diferentes: 1-Aki y Chouet (1975), 2-Sato (1977) y 3-Phillips y Aki (1986).

El programa principal requiere tres archivos de entrada y proporciona dos de salida.

2.2.1 Archivos de Entrada

a) Parámetros de control los cuales indican las características generales y las opciones para la determinación de Q_c . Aquí se decide si la estimación de Q_c se realizará en forma automática o manual, el intervalo de tiempo en que se mide el ruido al inicio de la señal. El intervalo en el sismo para el cual se calculará Q_c . Se indica si se opta por determinar si existe saturación de la señal así como el despliegue de los resultados en pantalla. Las frecuencias y ancho de banda para las

despliegue de los resultados en pantalla. Las frecuencias y ancho de banda para las cuales se medirá Q_c , son proporcionadas por el usuario en caso de que no se haya optado por determinación automática de Q_c . También el ancho de la ventana para calcular la FFT y el RMS. Por último, el porcentaje de suavizamiento (tapering) para el cálculo de la FFT.

b) Listado de los archivos que contienen los eventos que serán procesados, llamados por el programa principal. Los datos pueden estar en ASCII o binario. En este trabajo fueron utilizados datos en ASCII generados mediante el uso del Programa Lec94 (Tan Yi, 1994) con el cual se puede seleccionar los sismogramas de aquellas estaciones que presentan una adecuada relación señal/ruido. El programa Lectura (versión original de Lec94) permite el despliegado de los sismogramas registrados por cada estación. Pueden ser desplegados hasta 15 canales y además se pueden segmentar y amplificar para tener una mejor definición de las fases del sismo por analizar. En el anexo 2 se muestra un modelo de listado de los archivos, se indica la fecha, hora y estación de registro del sismo. En esta lista se observa los nombres de estaciones, como IIS, III, IIT, ACX, que no fueron consideradas en los resultados finales por estar muy distantes de la zona de estudio.

c) Identificación de eventos. En este archivo se debe proporcionar la fecha, tiempo de origen, longitud, latitud del sismo, además la estación que registró ese evento. Tiempo de viaje de la onda S a cada estación (medido a partir del tiempo de origen). El número de líneas en el encabezado del archivo que contiene las características del sismograma y el tipo de datos ASCII o binario. Este archivo se prepara a partir de la solución hipocentral, el anexo 2 presenta un ejemplo de este archivo.

a) Los archivos de salida son: Resultados en forma general y resultados en forma compacta. En el primer archivo se obtienen los resultados con un encabezado que identifica el evento e indica los parámetros utilizados en los cálculos y la frecuencia a la cual se determinó Q_c . L1-Q y L2-Q correspondiente al estimado de Q_c por el método de Phillips y Aki (1986) para las ondas coda arribando inmediatamente después de la llegada de la onda S y dos veces después del tiempo de arribo de S hasta el final de la coda, respectivamente. Los resultados de S1-Q y S2-Q indican las determinaciones de Q_c por el método de Sato (1977), para los mismos intervalos de tiempos descritos en el método anterior. AC-Q calculado por el método Aki y Chouet (1975) sólo para un tiempo igual a dos veces el tiempo de arribo de S. En cada método de determinan Q_c y Q_c^{-1} , $1/C$ y b con sus respectivos errores (según las fórmulas 2.18, 2.19, 2.26, 2.28, 2.36 y 2.37). Cuando se usa el programa en forma automática para un intervalo dado, sólo se obtendrá un resultado para cada método LF-Q, SF-Q y AF-Q.

b) En el segundo archivo de salida, los resultados aparecen en forma compacta, pudiéndose utilizar en otros programas para procesamientos adicionales. Todos los cálculos de Q_c en este trabajo fueron realizados a partir de este archivo.

En la Figura 2.2 se muestran ejemplos de estimaciones de Q_c en función de la frecuencia (3.0 Hz) para cada uno de los métodos aplicados. El método L1 y L2 corresponde a la aplicación del método de Phillips y Aki (1986). Los valores en S1 y S2 se obtienen aplicando el método de Sato (1977) y el resultado AC corresponde al método Aki-Chouet (1975). A la derecha aparece la señal filtrada, en este caso se utilizó la coda (completa) del sismograma.

También se utilizó el programa Lectcoda (Monfret,1992) para determinar Q_0 y el coeficiente de anelasticidad η en la ecuación:

$$Q_c = Q_0 f^\eta \quad (2.38)$$

donde Q_0 es el valor de Q_c a la frecuencia (f_0) de 1 Hz.

Además, en este trabajo se desarrollaron varios programas para: a) separar los datos con errores (σ) menores o iguales al 25% y promediar los datos por cada frecuencia en cada evento, c) clasificar los resultados por frecuencia y por estación, d) agrupar y promediar los resultados por bloques, e) determinar la trayectoria libre media (TLM) de varias regiones con respecto a las estaciones OXX y SCX utilizando la ecuación (2.3) considerando que la turbidez es igual al inverso de la trayectoria libre media (Pulli, 1984).

Para determinar el grado de confianza, al comparar dos mediciones $M1$ y $M2$ que tienen errores σ_1 y σ_2 , y que fueron medidas $N1$ y $N2$ veces, respectivamente, se utilizó el valor z determinado según Spiegel (1975):

$$z = \frac{(M1 - M2)}{\left(\frac{\sigma^2}{N1} + \frac{\sigma^2}{N2} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.39)$$

Taylor (1990) considera el número de mediciones menos uno ($N-1$) y cuando la diferencia es pequeña se sustituye $M1-M2$ por $\sigma_1-\sigma_2$. Un cambio de dos mediciones que presenta un valor $z=1.28$ indica una grado de confianza del 80%, $z=1.64$ del 90% y $z=1.96$ del 95%. Un valor negativo implica un aumento y un positivo indica una disminución.

FREQUENCY = 3.0 Hz

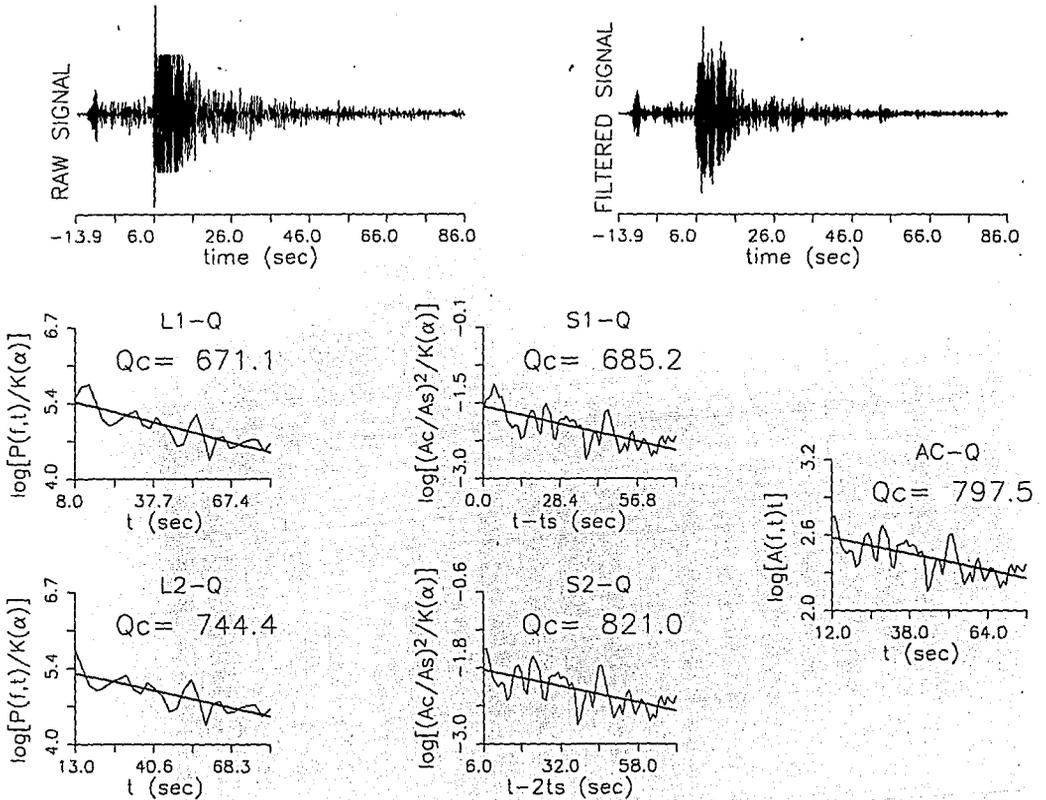


Fig. 2.2- Resultados obtenidos por cada uno de los métodos descritos más arriba; valores altos de Q_c muestran los métodos S2 (821) y AC (797). El cálculo se realizó utilizando una ventana igual a la coda completa del sismo. La señal filtrada aparece en la parte superior a la derecha.

CAPITULO 3

ANALISIS DE LOS DATOS

3.1 Antecedentes históricos del SSN

El 1 de abril de 1904 se reunieron en Estrasburgo, Francia, dieciocho países entre ellos México, con el fin de crear la Asociación Sismológica Internacional y mejorar la instrumentación sismológica a nivel mundial. Como resultado de esta reunión, el Servicio Sismológico Nacional (SSN), fue creado el 5 de septiembre de 1910 por Decreto Presidencial con motivo de la celebración del centenario de la independencia de México.

Al principio, el Servicio Sismológico formó parte del Instituto Geológico Nacional y en 1929 es incorporado al Instituto de Geología-UNAM hasta que en 1949 el SSN pasó a ser una dependencia del Instituto de Geofísica (IGF)-UNAM. El SSN contaba entre 1910 y 1923 con el Observatorio Central de Tacubaya y otras 8 estaciones: Guadalajara, Mazatlán, Mérida, Oaxaca, Zacatecas, Monterrey, Chihuahua y Veracruz. Los instrumentos consistían de sismógrafos Wilchert de período corto. La Red Sísmica Mexicana de Apertura Continental (RESMAC), implementó las primeras estaciones digitales elaboradas totalmente en el país (Lomnitz, comunicación personal). En 1986 es transferida oficialmente al IGF e inmediatamente se incorpora al SSN.

A partir de 1988 se empezaron obtener datos en el SSN con suficiente calidad al implementarse un Sistema Automático de Detección Sísmica que digitaliza las señales analógicas de la red telemétrica. Esta red sismológica está compuesta de estaciones dependientes de los Institutos de Geofísica y de Ingeniería de la

U.N.A.M., y la transmisión de los datos es mediante la red de microondas de TELECOMM y de Petróleos Mexicanos (PEMEX), y de enlaces de radio.

El sistema de adquisición y procesamiento de datos sísmicos digitales utilizado por el SSN fue diseñado originalmente en el US Geological Survey (USGS) por Willie Lee y otros (1988) con el objetivo de tener un medio simple, económico y confiable, capaz de detectar, digitalizar, almacenar y localizar eventos sísmicos automáticamente usando hasta 32 canales de señales analógicas. Actualmente, en el SSN el sistema trabaja con 16 canales, la señal es digitalizada por una tarjeta de adquisición de datos y la detección y localización del evento se realiza por medio de software adaptado a una computadora PC/AT. El esquema general del sistema se muestra a continuación (Fig.3.1):

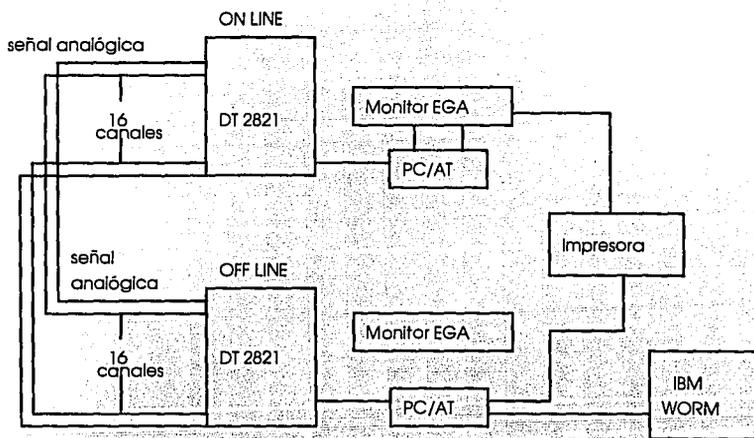


Fig. 3.1-- Sistema de detección automático del SSN el cual permite desplegar hasta 15 canales o registros y un canal para el tiempo (reproducido de Tan Yi, 1989).

La Tabla 3.1 presenta las características principales de cada uno de los sismómetros de las estaciones utilizadas en este estudio. Todas las estaciones

constan de un sismómetro Mark L-4, de componente vertical y su frecuencia característica es de 1 Hz. Tres estaciones son de señales digitales y las señales de las otras estaciones analógicas son digitalizadas por el sistema. La localización geográfica de las estaciones en esta zona (Fig.3.2), forma un paralelogramo, y permite muestrear un área de 6° x 6° (4,400 km² aproximadamente), lo cual representa una amplia cobertura de las diferentes trayectorias sísmicas en el Istmo.

Tabla 3.1
Características principales de las estaciones utilizadas en este estudio*.

No.	STN	LAT (N)	LONG(w)	H(m)	D/A	SISM.	FREC(Hz)	COMP.	OBSERV.
1	EVV	18.46	95.35	&	A	Mark L4	1	Z	
2	LVV	19.74	96.45	&	A	Mark L4	1	Z	
3	OXX	17.08	96.72	173	D	Mark L4	1	Z	Resmac
4	PSM	16.70	95.04	750	A	Mark L4	1	Z	
5	SCX	16.74	92.63	0	D	Mark L4	1	Z	Resmac
6	TPX	14.91	92.26	15	D	Mark L4	1	Z	Resmac

*. Las estaciones analógicas (A) son digitalizadas por el sistema. (D) estaciones digitales.
& La altura no está precisada

3.2 Selección de los eventos

Los eventos fueron seleccionados basados en su localización epicentral y en sus errores tanto horizontal como vertical. Se consideraron aquellos localizados entre las coordenadas 14.5-20° N y 92-97° W, con ERH ≤ 18 km y ERZ ≤ 15 km y RMS ≤ 2.04 seg. Se utilizaron los eventos ocurridos entre Enero de 1989 y Diciembre de 1994 con M_c ≥ 3.5. Aunque se obtuvieron resultados adecuados del factor de calidad Q_c para 283 sismos, este número de eventos varió al utilizar las diferentes ventanas para el cálculo de Q_c. La Fig.3.2b muestra los epicentros de los eventos considerados en este estudio y que fueron seleccionados de acuerdo a los criterios descritos anteriormente.

Las estimaciones de Q_c se realizaron para eventos con parámetros promedio de $M_c = 4.46 \pm 0.10$; $RMS = 0.55 \pm 0.29$ seg; $ERH = 5.18 \pm 2.67$ km y $ERZ = 7.74 \pm 3.77$ km. Se utilizaron por lo menos 15 lecturas de fases para la mayoría de las localizaciones, excepto para aquellos eventos muy locales y de magnitud pequeña. La lista de eventos utilizados se presenta en el Anexo 1 y la Fig.3.2a muestra la localización epicentral del total de eventos (1245 sismos) reportados para esta zona. La Fig.3.2b muestra los epicentros de los eventos considerados en este estudio y que fueron seleccionados de acuerdo a los criterios descritos anteriormente. El 40% de los eventos analizados presenta una profundidad inferior a 30 km. Considerando una corteza con espesor de 8 km, en la parte continental-costera, y de 45 ± 4 km en la parte continental-interna (Valdés y otros, 1986), podemos inducir que la mayoría de los eventos ocurrieron en la corteza (Fig.3.3), aquí se presenta la distribución de hipocentros por profundidad.

En la Fig. 3.4a se presenta el perfil AA' (Fig.3.2) realizado considerando un bloque de 100 km de ancho con centro en el perfil y eventos ocurridos entre 1989 y 1994. La distancia horizontal y la profundidad están expresados en km. El punto (A) representa el límite de la dorsal de Tehuantepec. Se pueden observar dos zonas sismogénicas muy bien definidas: a) zona de sismos superficiales (0- 40 km) y b) zona de sismos profundos (80-200 km). En la fig.3.4b se muestra el mismo perfil AA', pero utilizando eventos ocurridos entre 1974-1994. La carencia de resolución para definir la zona de Benioff se debe a la poca cobertura por falta de estaciones en los años 70s.

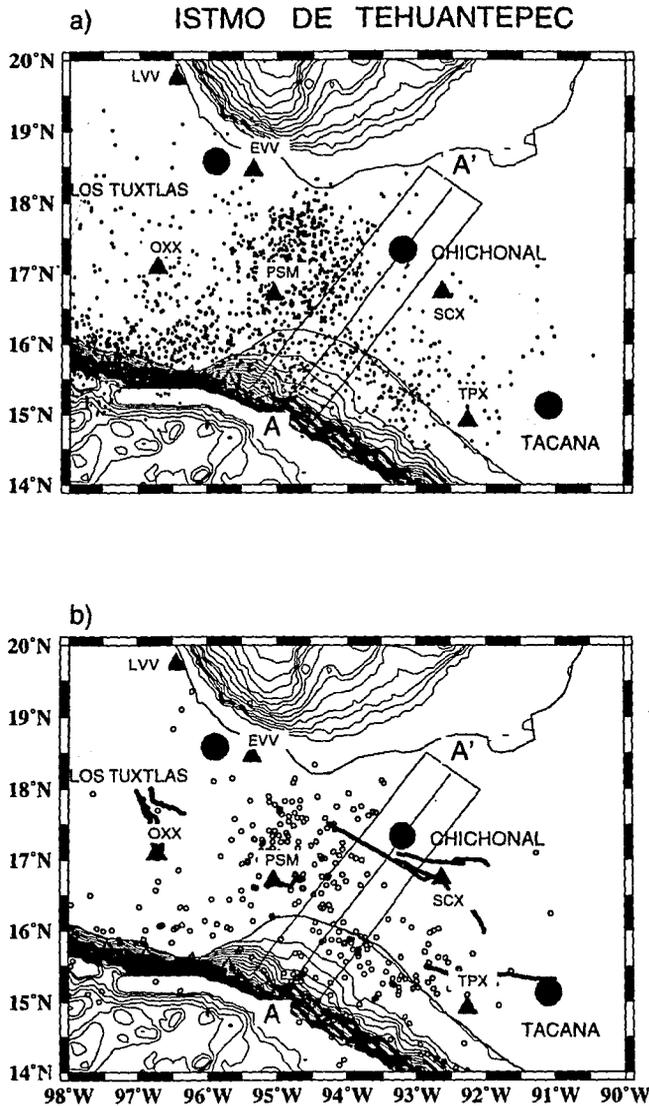


Fig.3.2. Localización de las estaciones sismológicas de la región (triángulos) y epicentros de los eventos ocurridos en el Istmo de Tehuantepec entre 1989-1994. a) Total de eventos reportados por el SSN (círculos pequeños). b) Eventos utilizados en el estudio (círculos en blanco). Los tres volcanes principales aparecen en círculos grandes y las fallas más importantes están en trazos gruesos. La línea AA' indica la posición del perfil desplegado en la Figura 3.4.

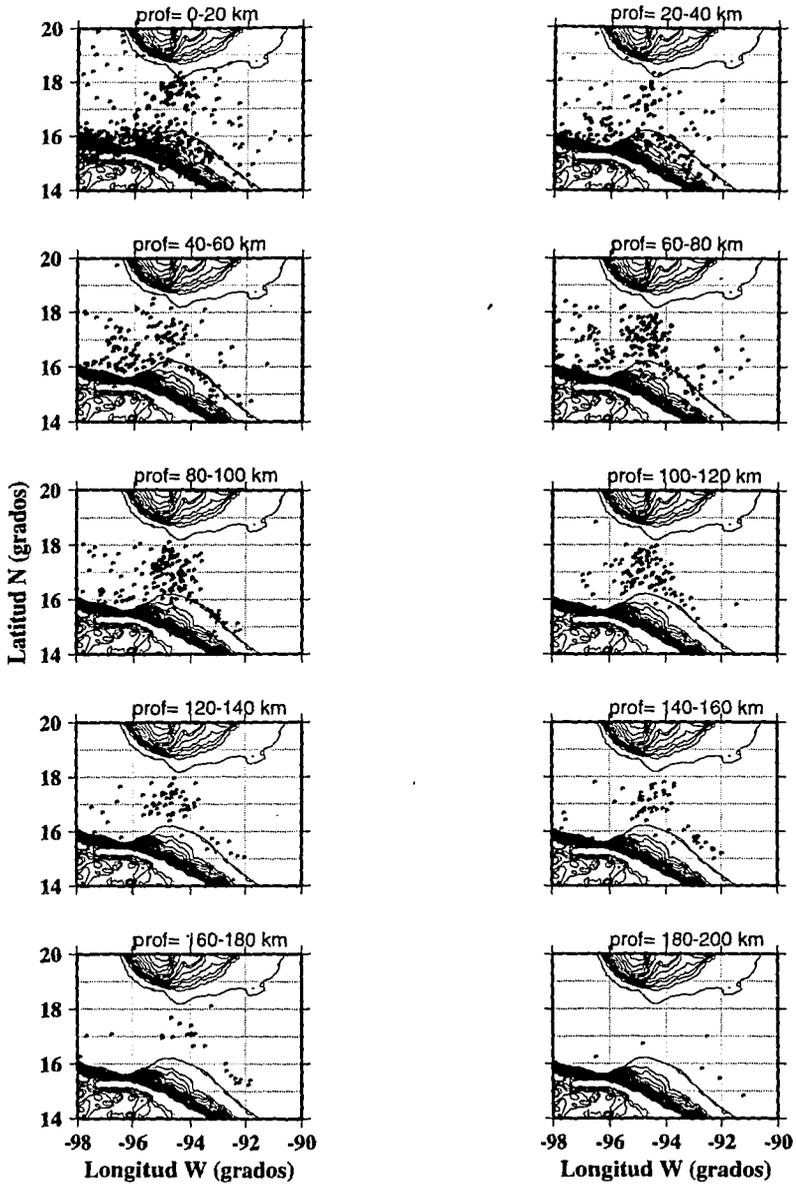


Fig.3.3 Distribución hipocentral de los eventos reportados por SSN desde 1989 hasta 1994. Los bloques tienen espesor de 20 km.

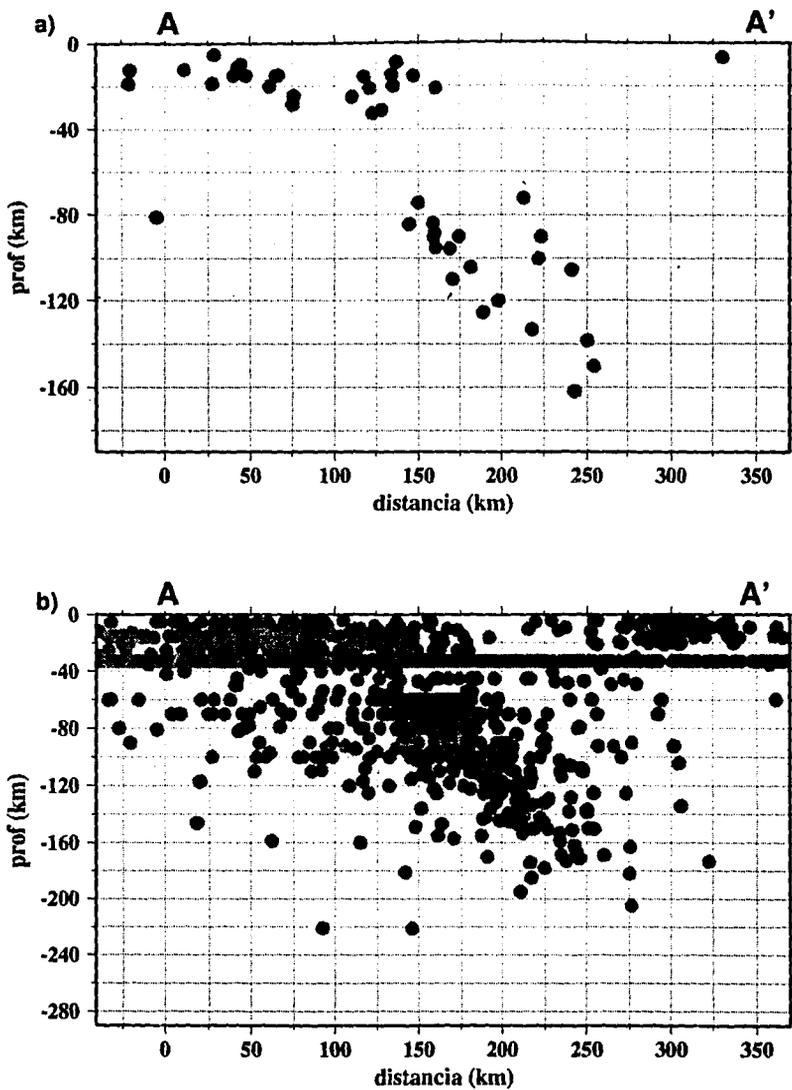


Fig.3.4 a).Perfil AA' (según la Fig.3.2) mostrando el comportamiento hipocentral de los sismos al E del meridiano 96°W para eventos ocurridos entre 1989 y 1994, b) Eventos ocurridos entre 1974-1994. La carencia de resolución para definir la Zona de Benioff se debe a la poca cobertura y carencia de estaciones en los años 70s.

3.3 Datos utilizados para la estimación de Q_c .

Fueron seleccionados los valores de Q_c con errores $\leq 25\%$. Este criterio fue basado en el trabajo de Novelo-Casanova y Lee (1991). Ellos demuestran que este límite de incertidumbre permite una determinación adecuada del factor de calidad. Las Figuras 3.5, 3.6 y 3.7 muestran ejemplos de mediciones de Q_c obtenidas para diferentes frecuencias e intervalos (o ventanas). Se puede observar la saturación del sismómetro inmediatamente después de la llegada de la onda S. Los valores mostrados corresponden a la coda completa del sismograma. Se utilizaron más de 1,200 resultados distintos para el cálculo de Q_c (anexo III).

La estación San Cristóbal, Chiapas (SCX) es la que presenta mayor cantidad y mejor calidad en los resultados, ya que tiene poca saturación en los sismogramas y poco ruido en las señales. Esto permitió el cálculo del factor Q para una gran cantidad de eventos. Las estaciones de Oaxaca, Oax. (OXX) y Tapachula, Chis. (TPX) también operaron durante el período de este estudio (1989-1994) y sus datos fueron utilizados.

OXX, sin embargo, presentó bastante saturación, debido a que muchos eventos tenían su epicentro cercano a la estación, lo cual motivó que se desecharan varios de sus registros. No obstante, al encontrarse localizada en la región con mayor cantidad de epicentros, proporcionó un número importante de resultados para el factor Q_c . La estación TPX se localizó distante de los epicentros y además presentaba alto nivel de ruido por lo que sus registros fueron limitados. Generalmente los resultados de esta estación fueron buenos para eventos cercanos, como se mostrará más adelante. Las estaciones El Vigía, Ver., EVV (1989-1990) y Palma Sola, Oax., PSM (1990) aportaron una limitada cantidad de datos, debido a su

FREQUENCY = 3.0 Hz

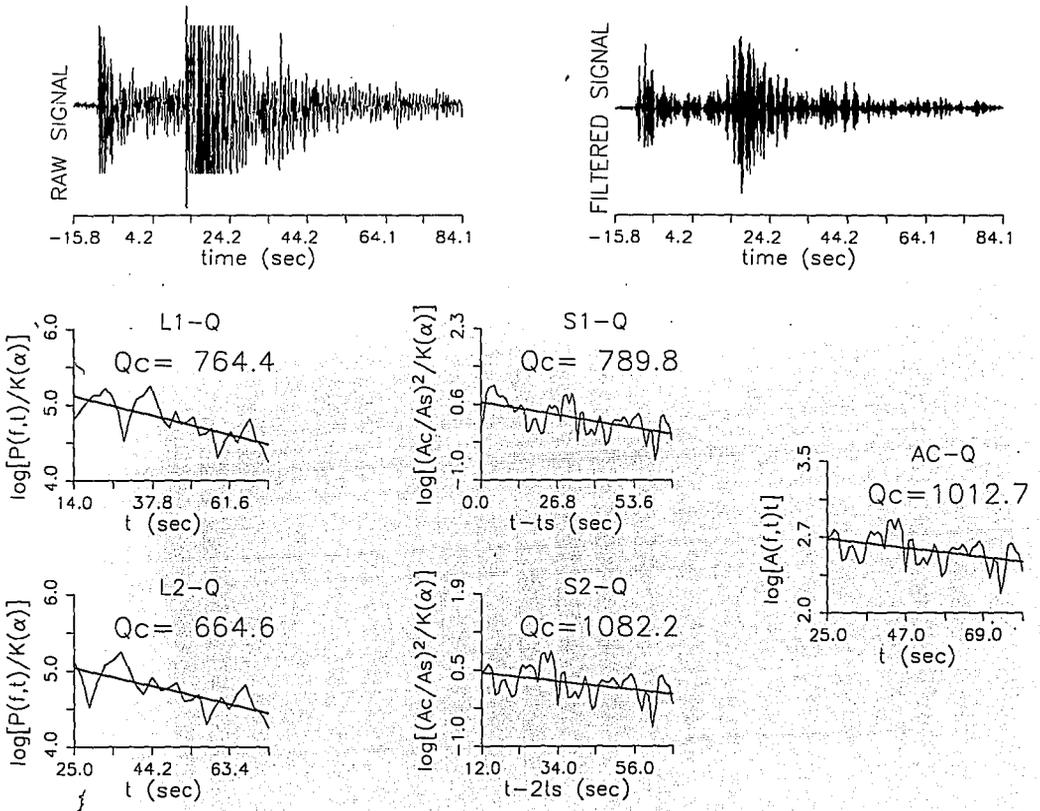


Fig. 3.5 Resultados de Q_c , obtenidos por los diferentes métodos implementados para una frecuencia de 3.0 Hz y considerando la coda completa, para un evento registrado en la estación OXX. Se observa dispersión de Q_c entre los diferentes métodos, al efectuar el cálculo para toda la coda y saturación del instrumento.

FREQUENCY = 1.5 Hz

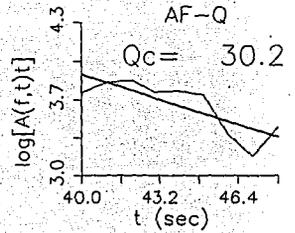
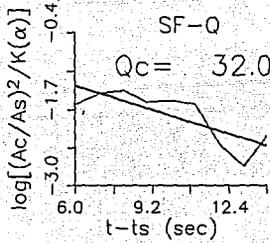
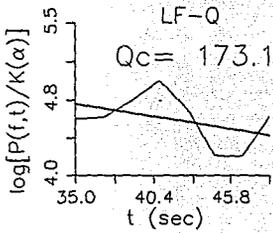
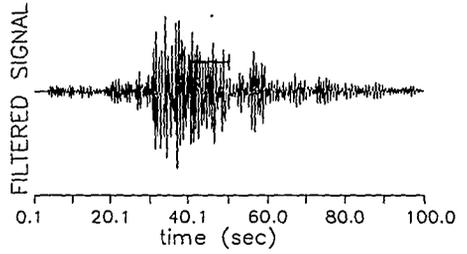
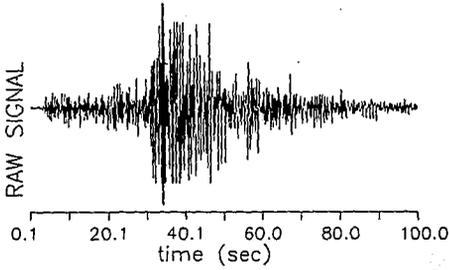


Fig. 3.6 Resultados de Q_c para una frecuencia de 1.5 Hz y considerando un intervalo de 10 seg próximo a la onda S para un evento registrado en la estación SCX. Se observa dispersión de Q_c entre el método de Phillips y Aki (173.1) y los otros dos métodos (32.0 y 30.2) respectivamente.

FREQUENCY = 6.0 Hz

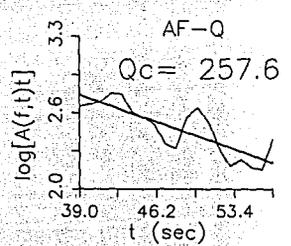
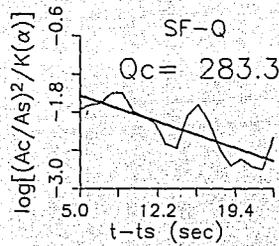
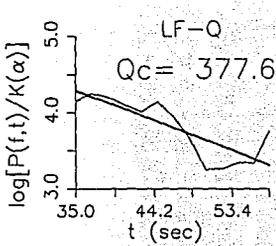
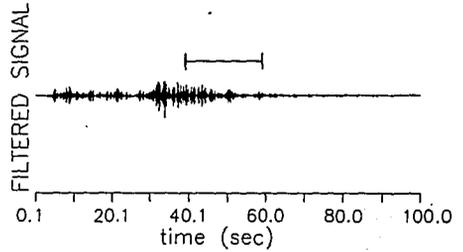
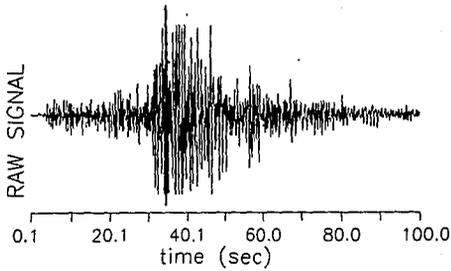


Fig. 3.7 Resultados de Q_c para una frecuencia de 6.0 Hz y considerando un intervalo de 25 seg alejado a la onda S para un evento registrado en la estación SCX. En este caso, el valor calculado, por los distintos métodos, es más uniforme.

corto período de operación. Con la estación Laguna Verde, Ver., LVV se calcularon datos, sobre todo para distancias regionales y presentó un nivel de saturación en la mayoría de los registros.

En la selección de los sismos locales y semi-regionales, como se describió anteriormente, se consideró también el criterio de que las trayectorias epicentro-estación fueran lo más corta posible, y al mismo tiempo diera una amplia cobertura de toda la zona continental (Fig.3.8). Una importante observación, que cabe destacar, la muestran las estaciones EVV, TPX y PSM, las cuales presentaron resultados para trayectorias cortas, en cambio la estación LVV siempre tuvo buenos valores en trayectorias largas. Para las estaciones OXX y SCX fue posible obtener datos de Q_c con trayectorias variadas, sobre todo, que tuvieran direcciones paralela y perpendicular a la trinchera.

Otro parámetro importante, en el estudio de Q_c , es considerar que los registros no tuvieran frecuencias predominantes mayores a la frecuencia de esquina de los sismos (Herrmann, 1980). La frecuencia de esquina para nuestros datos, fue de 2 Hz para sismos mayores ($M_c = 5.2$) y de 4 Hz para los menores ($M_c=3.8$); mientras que la frecuencia predominante estuvo entre 1.08 y 1.50 Hz (Anexo IV). Así, los resultados de Q_c tendrán una mejor validez (Herrmann, 1980).

3.4 Mecanismos focales para los sismos de la región

En la zona de contacto de las Placas de Cocos y de Norteamérica se encuentran dos regiones sísmicas bien definidas y muy diferenciables: a) Zona de sismos superficiales de 20 a 25 km. de profundidad, que presentan mecanismo focal

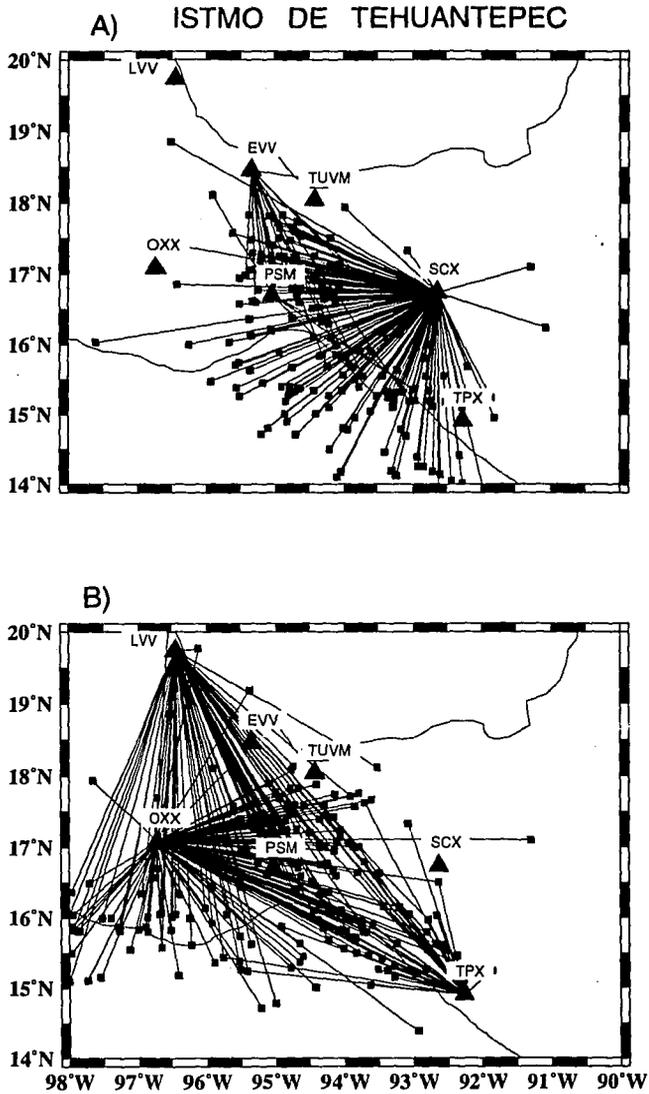


Fig. 3.8 Trayectorias epicentro-estación para: a) SCX, EVV y PSM; b) OXX, LVV y TPX. Los triángulos indican las estaciones y los cuadrados indican los epicentros. Nótese la buena cobertura para las estaciones OXX y SCX.

de fallas inversas y de bajo ángulo, éstos corresponden a sismos interplaca (Lefevre y McNally, 1985; Dewey y Suárez, 1991); b) Zona con profundidades entre 40 y 60 km, aquí los sismos se caracterizan por tener mecanismos de fallas normales, cuyos ejes de tensión T son aproximadamente paralelos al buzamiento de la litósfera subducida (Lefevre y McNally, 1985; Dewey y Suárez, 1988). Atendiendo a estas cualidades y clasificación hecha para los eventos, los mecanismos focales obtenidos de CMT-Harvard (Harvard, 1994) fueron agrupados en cinco profundidades: 0-20, 20-40, 40-60, 60-100 y 100-200 km (Fig.3.9).

La orientación de los ejes T puede reflejar la importancia de las fuerzas de tracción transmitida a lo largo de una guía de esfuerzos en la placa subducida (Isack y Molnar, 1971) y en otros casos pueden reflejar el estado de esfuerzo en el interior de la placa debido a cambios de curvatura de la misma (Fujita y Kanamori, 1981). Las soluciones de Harvard, para los planos de fallas de algunos eventos a partir de los 40 km de profundidad, indican un desplazamiento de corrimiento lateral. Estas soluciones unidas al sistema de fallas SW-SE, que se inicia en Puerto Angel y Salina Cruz, es interpretada como el límite de una zona de apertura de deformación entre el sur de México y el norte de América Central (Guzmán-Speziale y otros, 1989).

En la parte norte del Istmo de Tehuantepec la actividad sísmica superficial es alta, aunque inferior con respecto a la parte sur, y se caracteriza por sismos con mecanismo focal de fallamiento inverso (Suárez y otros, 1986). Los ejes de compresión P tienen orientación aproximadamente paralela a la dirección de movimientos relativos de las placas en la trinchera, y son consistentes con un fuerte acoplamiento de la interfase de placas debido al choque de la zona de fractura de Tehuantepec en la zona de subducción (Suárez y Ponce, 1986).

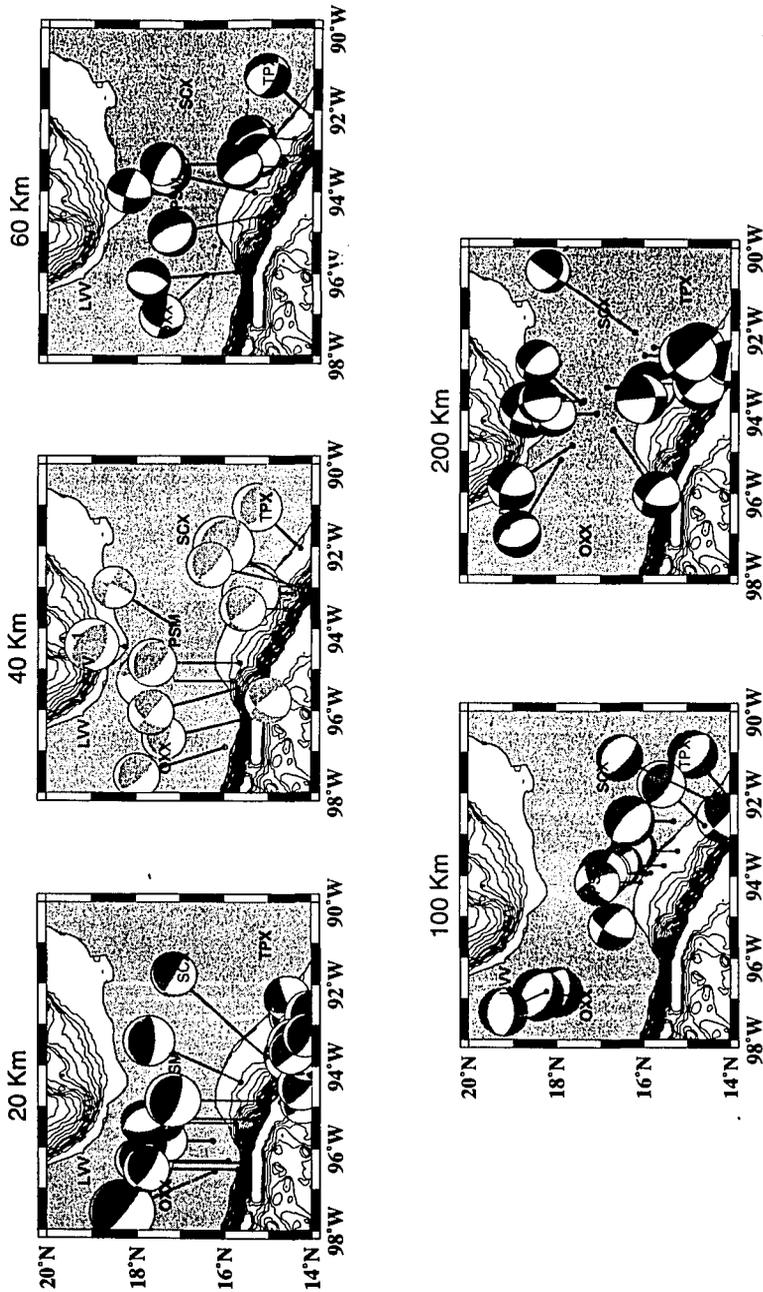


Fig. 3.9 Mecanismos focales de los eventos ($M > 5.0$) ocurridos en la región de estudio para el período 1978-1994. a) Los mecanismos focales para eventos superficiales, hasta 40 km, representan mecanismos relacionados con falla inversa (subducción). b) A partir de los 50 km tienden a ser mecanismos de falla normal (60, 100, 120 km) (Tomado de CMT-Harvard). El evento #1 (40 km) fue tomado de Suárez y otros, 1986.

CAPITULO 4

RESULTADOS

4.1 Distribución espacial del factor Q_c

El factor Q_c se determinó para cinco bandas de frecuencias centradas a 1.5, 3, 6, 12 y 24 Hz a fin de comprobar su dependencia con la frecuencia. Se utilizaron varias ventanas de diferentes intervalos de tiempo y colocadas en distintas partes del sismograma a partir de la llegada de la onda S. Esto último permite investigar el comportamiento del factor Q_c en función de la longitud y posición de la ventana. Varios investigadores han notado un incremento de Q_c cuando la longitud de la ventana analizada se incrementa (Del Pezzo, 1990; Hellweg, 1995).

Los datos fueron analizados para ventanas con longitudes de 5, 10, 20 y 25 seg con la finalidad de estudiar el comportamiento de Q_c con el ancho de la ventana; y se colocaron en diferentes posiciones a partir del tiempo de llegada de la onda S (t_s). En la Tabla 4.1 se muestran los resultados obtenidos para un mismo evento, considerando las cuatro ventanas. En general, para todos los eventos se observa un incremento en el valor de Q_c al aumentar el intervalo de la ventana, salvo en los eventos #2 y 6 (Tabla 4.1) en los cuales se nota un pequeño decremento para el intervalo 6-16 seg, al igual que en los eventos #6 y 7 para el intervalo 5-25 seg.

La Fig. 4.1 presenta las características principales de los sismogramas en la región. El registro corresponde a un evento registrado por la componente vertical en la estación SCX. En la parte superior de la figura, aparece señalada la posición y longitud de los intervalos analizados: A) 6-16 seg, B) 5-25 seg, C) 25-50 seg. El

intervalo D) 25-75 seg no se consideró por los pocos resultados obtenidos de Q_c en esta ventana. En la parte inferior de la Figura 4.1 aparecen los espectros (Scherbaum y Johnson, 1992) determinados en distintas posiciones del sismograma con la finalidad de obtener un mejor criterio en la selección para la posición de la ventana. Así, se tomaron las posiciones correspondientes al: ruido (N), la parte inicial (E), media (M) y lejana (L) de la coda. Las frecuencias a las que se calculó Q_c están indicadas en la parte inferior. La relación señal/ruido se mantiene alta para las posiciones E y M en las frecuencias de 1.5, 3 y 6 Hz. Sin embargo, para las otras frecuencias esta relación es pequeña, de tal manera que a 12 y 24 Hz, Q_c no tiene un valor representativo; nótese que la escala vertical utilizada es la misma para cada espectro. Por lo tanto, podemos considerar (M) como la mejor posición para el cálculo del factor de calidad en las frecuencias mencionadas. Varios investigadores prefieren considerar un intervalo de coda donde se mantenga una relación señal/ruido mayor que 10.

Una vez calculados los valores de Q_c por los diferentes métodos se determinó el promedio (promedio pesado) para cada frecuencia. La región de estudio fue dividida en bloques de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ y con espesores de 20 kms, de tal forma que se pudiera estudiar la distribución de Q_c con la profundidad, desde la superficie hasta una profundidad de 180 km (Fig.4.2). Esto último basado en que se han observado dos zonas sísmicas principales: una superficial de 0-60 kms y otra de profundidad intermedia de 70-160 km. Con estas consideraciones se trató de mantener las condiciones mínimas para que los rayos sísmicos penetren la corteza y parte superior del manto. La orientación de la malla se hizo mediante una rotación de 28° (en el sentido de las manecillas del reloj) para facilitar la realización de perfiles paralelos y perpendiculares a la Trinchera Mesoamericana.

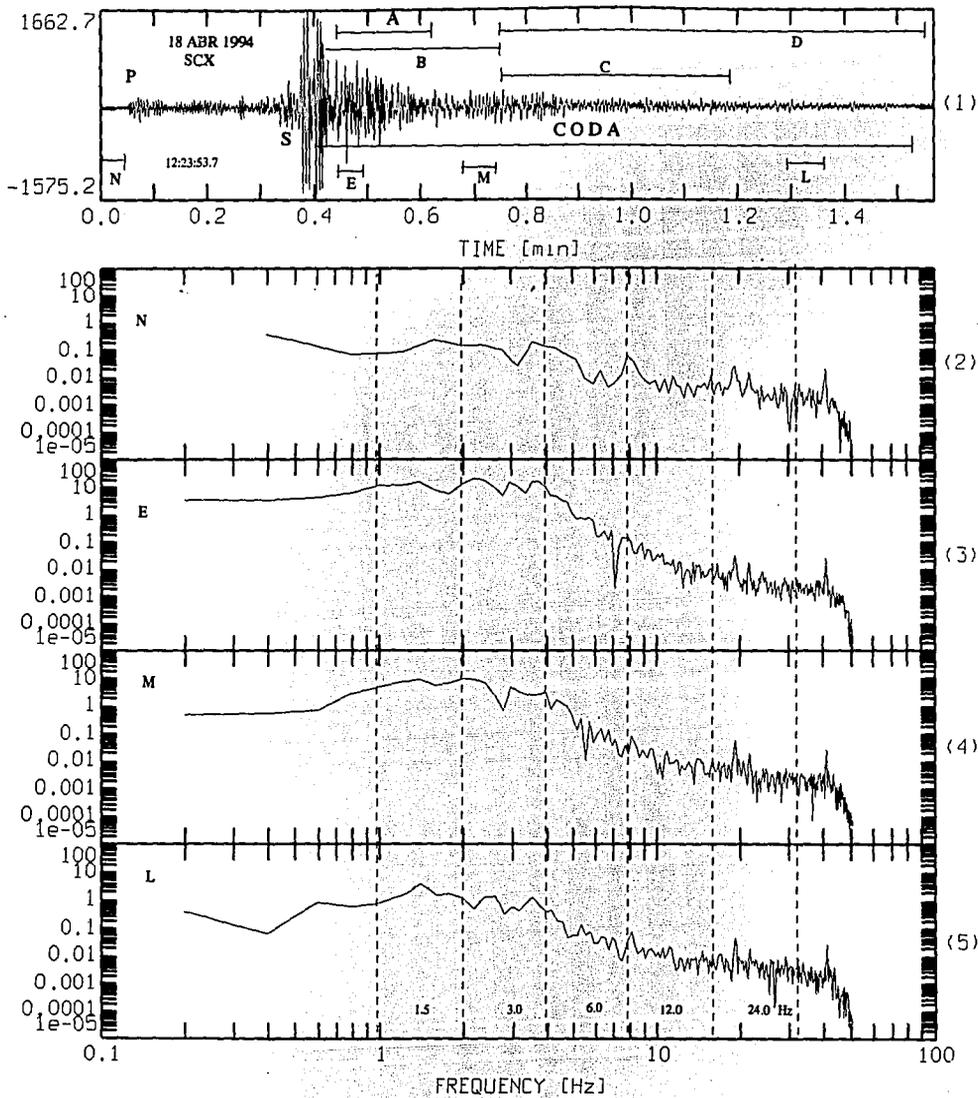


Fig. 4.1 Sismograma de velocidad de la componente vertical, en la estación SCX (arriba) para el sismo del 18 de abril de 1994, el tiempo indicado corresponde a la onda P. Abajo aparecen los espectros determinados en distintas partes del sismograma N, E, M y L. Las cinco bandas de frecuencias centrada aparecen señaladas en la parte inferior y el ancho de banda, del filtro, está trazado por líneas discretas. Los segmentos A, B y C corresponden a las ventanas consideradas en el análisis y la (D) no se utilizó porque sus datos fueron muy limitados. La escala vertical es igual para cada gráfica.

Los valores de Q_c obtenidos para cada método (Capítulo 2) fueron promediados de acuerdo a la expresión:

$$\langle Q_c \rangle = \frac{\sum (Q_{ci} / \sigma_i^2)}{\sum (1 / \sigma_i^2)} \quad (4.1)$$

siendo σ_i la desviación estándar en el cálculo de Q_c . Para la mayoría de los sismos se obtuvo el promedio de los registros de varias estaciones. Este promedio es más estable que la medida de una simple estación.

4.2 Resultados de Q_c por longitud y posición de la ventana:

4.2.1 Caso 1: Ventana de 6-16 seg. después del arribo de la onda S.

Esta primera ventana se tomó para analizar la coda cercana al arribo de la onda S y en un intervalo reducido. Dentro de este intervalo podemos medir Q_c para eventos pequeños que generan una corta serie de tiempo, permitiendo estudiar la parte superior de la corteza (Hellweg, 1995).

Como la importancia de este estudio es analizar la distribución espacial y temporal del factor Q_c y no la eficiencia de un método en particular, se consideró el promedio pesado de aquellos métodos que cumplieran los criterios antes mencionados, utilizando la ecuación 4.1.

Los resultados de Q_c para esta ventana en función de la frecuencia, obtenidos para las estaciones OXX y SCX aparecen en las Figuras 4.2 a 4.5. Se observa una

mayor consistencia para la estación SCX que en las otras estaciones para todo el rango de profundidad seleccionado. La distribución de los valores de Q_c en la profundidad de 0-20 km, estuvo principalmente en la parte oceánica. Por otra parte, para la profundidad de 60-80 km, su distribución principal fue en la parte continental.

Para la frecuencia de 12 Hz los resultados fueron muy limitados. En todas las gráficas el número indica el valor estimado de Q_c y la posición de este valor señala la localización epicentral de los eventos en esa celda. El número en paréntesis indica el número de valores de Q_c promediados para esa estación. Las celdas en que no aparecen datos carecen de eventos o sus errores de cálculo son mayores al límite permitido (25% de error). En general no fue posible determinar valores de Q_c para eventos localizados debajo de las estaciones debido a la saturación de los sismogramas.

Las Figuras 4.6 a 4.8 corresponden a los resultados promedios obtenidos por diferentes estaciones, para un mismo evento. Esto se hizo con la finalidad de lograr un resultado semi-regional (Singh y Herrmann, 1983).

El comportamiento espacial de Q_c , a diferentes profundidades, muestra una dependencia con la frecuencia, salvo algunas excepciones las cuales serán discutidas más adelante.

Profundidad 0-20 km

Coda: 6-16 seg

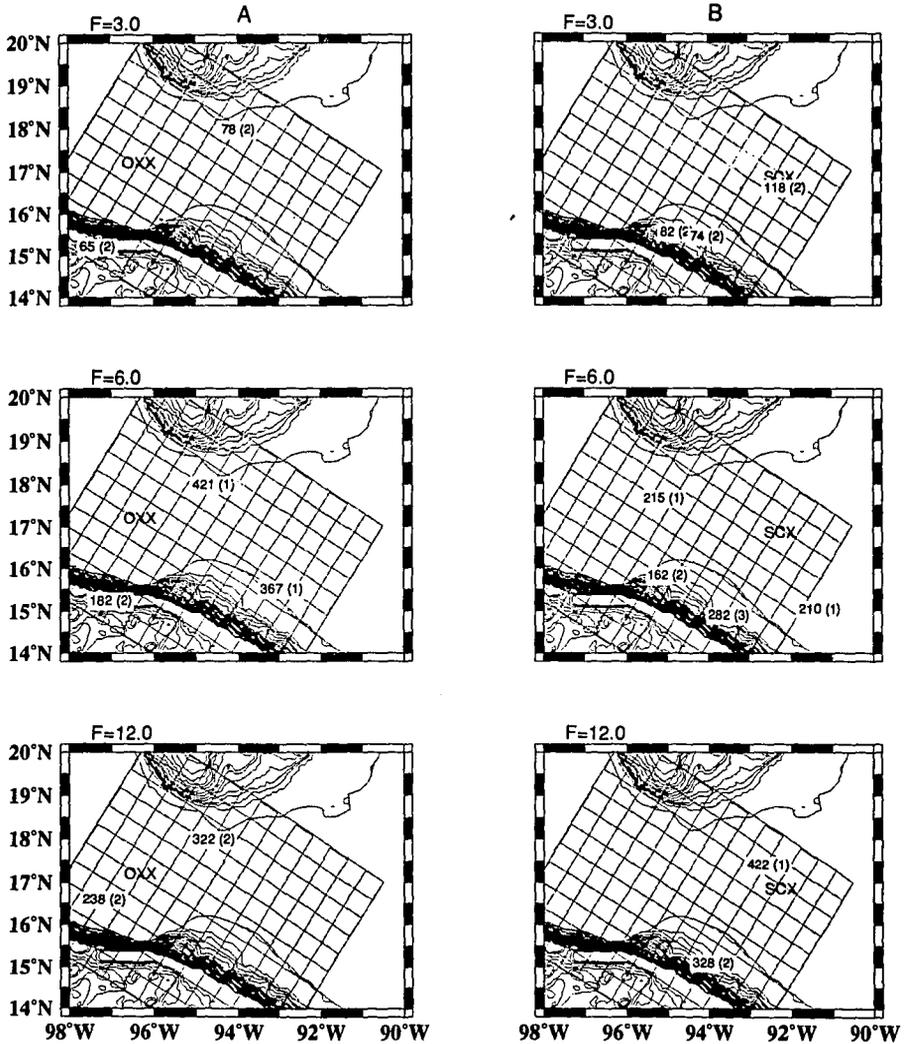


Fig. 4.2 Mapas del área del Istmo de Tehuantepec mostrando los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores Q_c observados a diferentes frecuencias desde las estaciones OXX (A) y SCX (B) para eventos localizados entre 0-20 km de profundidad y un intervalo de coda de 6-16 seg después del arribo de la onda S. La posición del valor de Q_c corresponde al epicentro del evento. Entre paréntesis se indica el número de veces que se midió el factor Q_c .

Profundidad 60-80 km

Coda: 6-16 seg

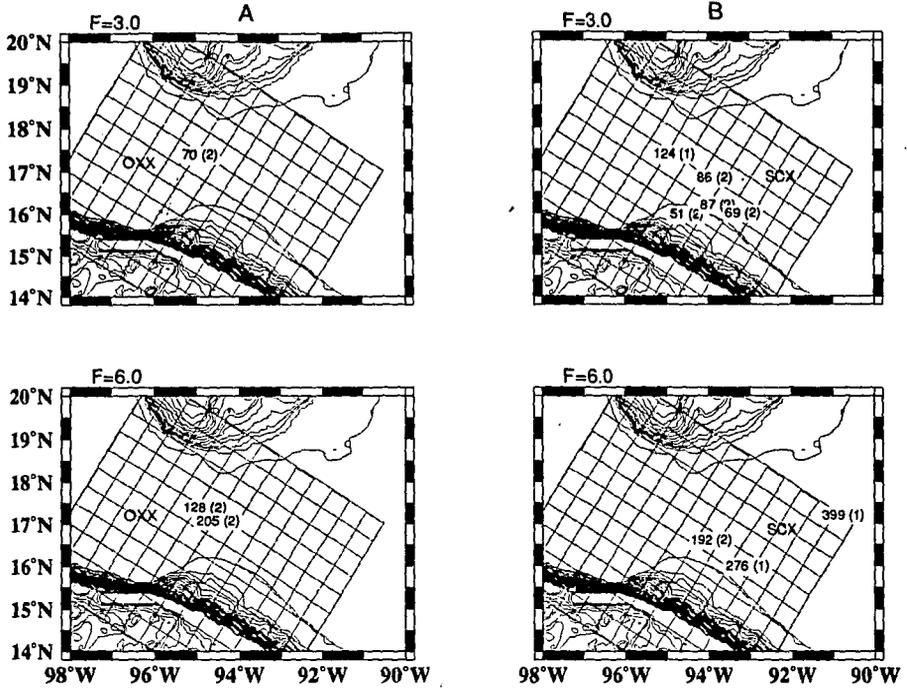


Fig. 4.3 Mapas del área del Istmo de Tehuantepec mostrando los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores Q_c obtenidos a diferentes frecuencias desde las estaciones OXX (A) y SCX (B) para eventos localizados entre 60-80 km de profundidad y un intervalo de coda de 6-16 seg después del arribo de S. La posición del valor de Q_c corresponde al epicentro del evento. Entre paréntesis se indica el número de veces que se midió el factor Q_c .

Profundidad 80-100 km

Coda: 6-16 seg

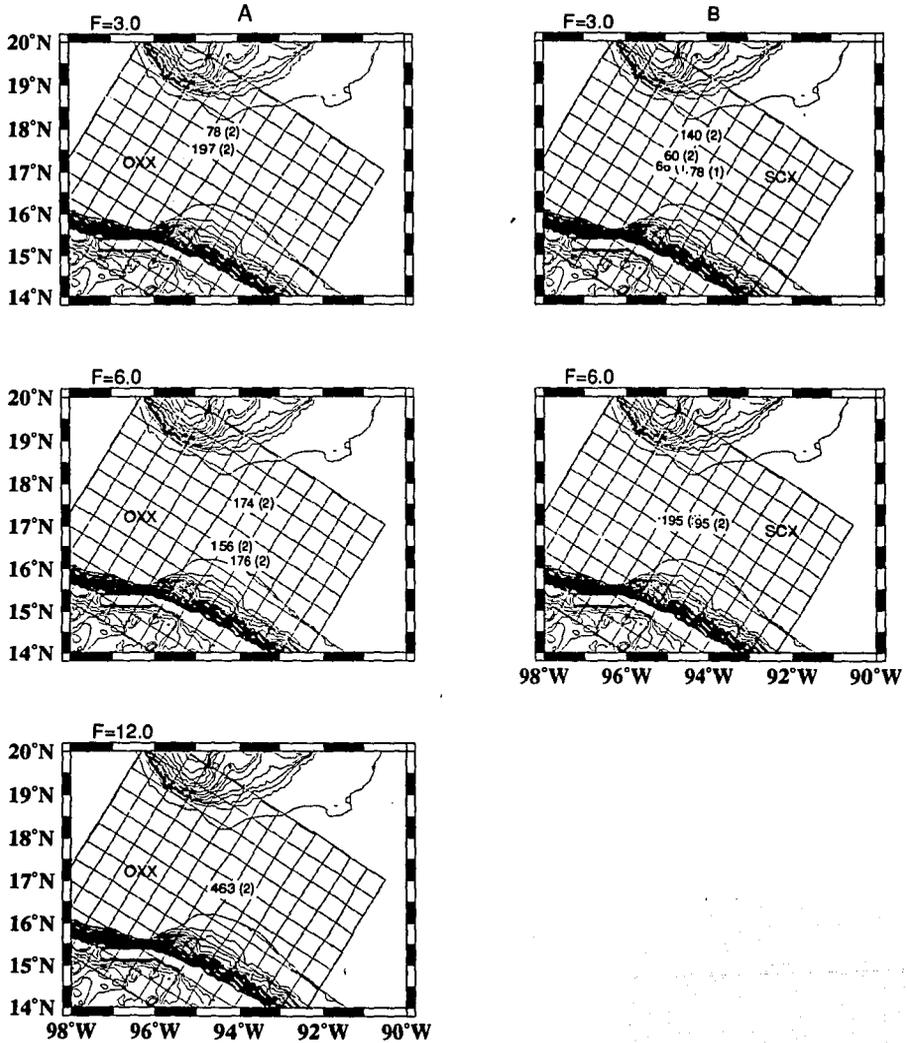


Fig. 4.4 Mapas del área del Istmo de Tehuantepec mostrando los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores Q_c obtenidos a diferentes frecuencias desde las estaciones OXX (A) y SCX (B) para eventos localizados entre 80-100 km de profundidad y un intervalo de coda de 6-16 seg después del arribo de S. La posición del valor de Q_c corresponde al epicentro del evento. Entre paréntesis se indica el número de veces que se midió el factor Q_c . Para la estación SCX a 12 Hz no se tienen datos.

Profundidad 100-120 km

Coda: 6-16 seg

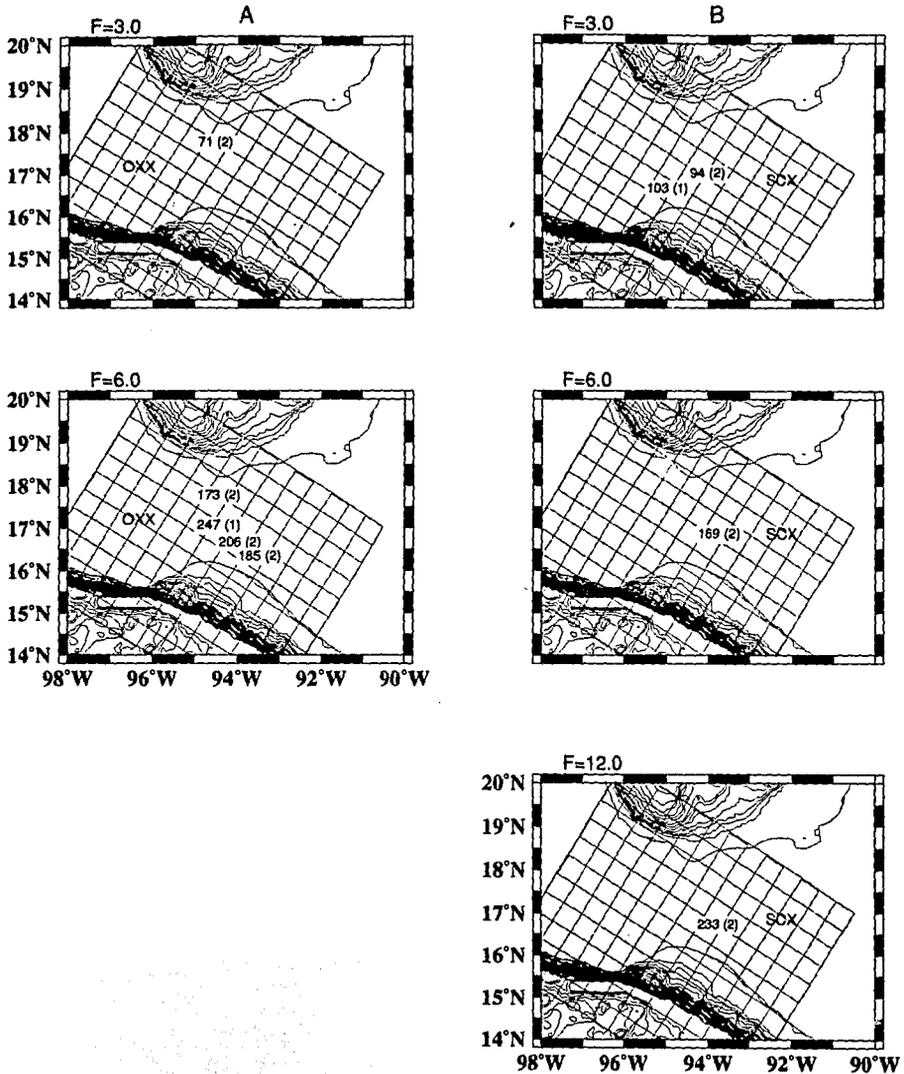


Fig. 4.5 Mapas del área del Istmo de Tehuantepec mostrando los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores Q_c obtenidos a diferentes frecuencias desde las estaciones OXX (A) y SCX (B) para eventos localizados entre 100-120 km de profundidad y un intervalo de coda de 6-16 seg después del arribo de S. La posición del valor de Q_c corresponde al epicentro del evento. Entre paréntesis se indica el número de veces que se midió el factor Q_c . Para la estación OXX a 12 Hz no se tienen datos.

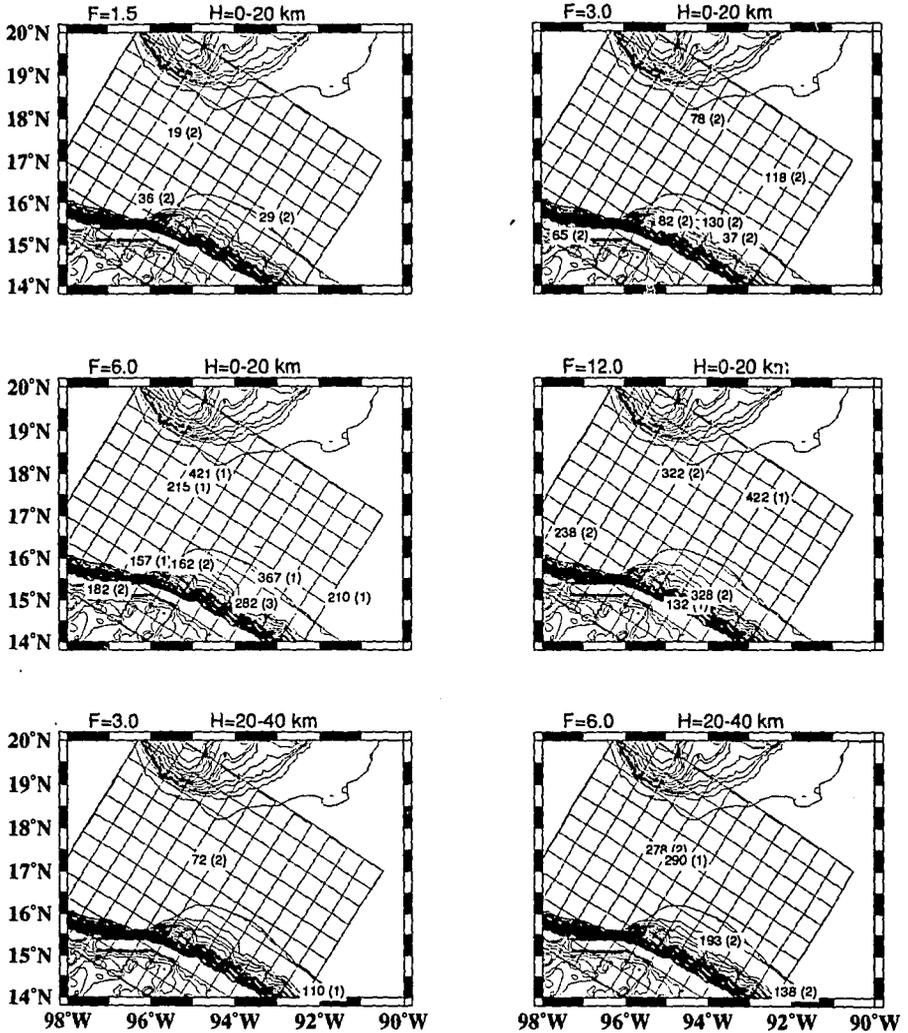


Fig. 4.6 Resultados promedio de Q_c utilizando OXX y SCX para eventos registrados en una o varias estaciones, a diferentes profundidades y para coda de 6-16 seg. después del arribo de S.

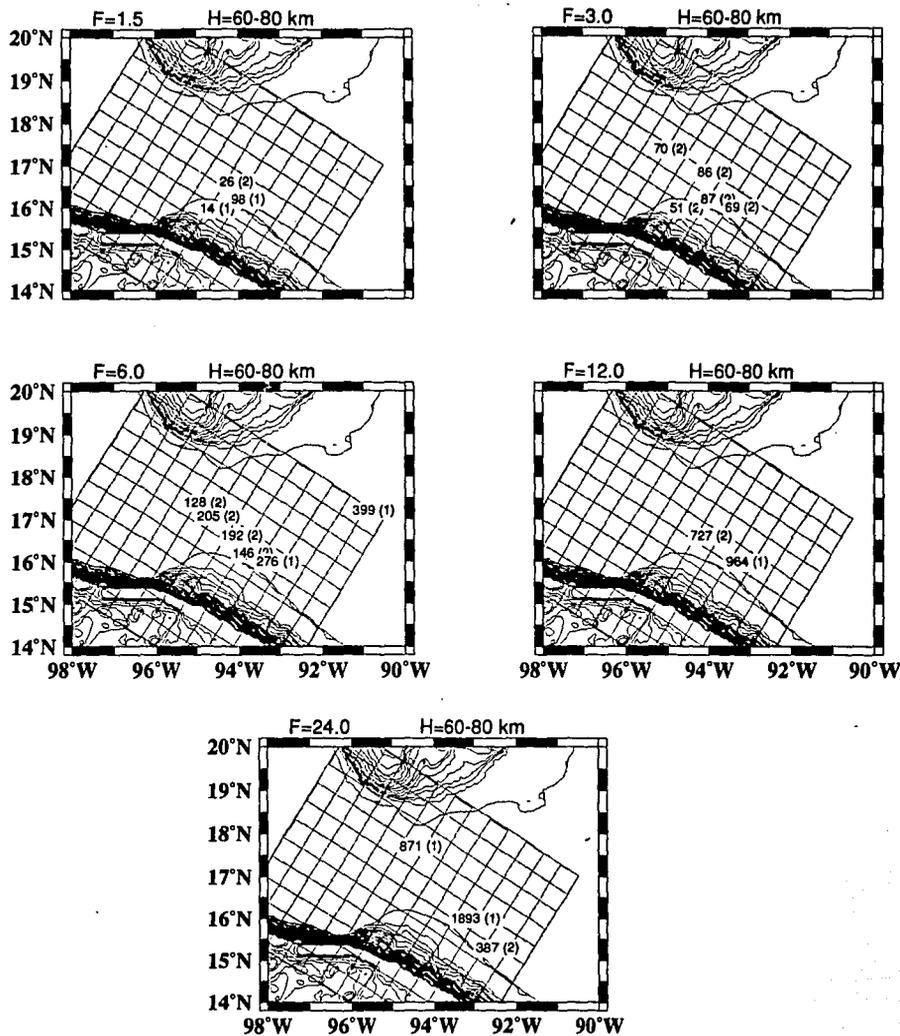


Fig. 4.7 Resultados promedio de Q_c utilizando OXX y SCX para eventos registrados en una o varias estaciones a profundidades de 60-80 km y para coda de 6-16 seg. después del arribo de S.

Coda 6-16 seg

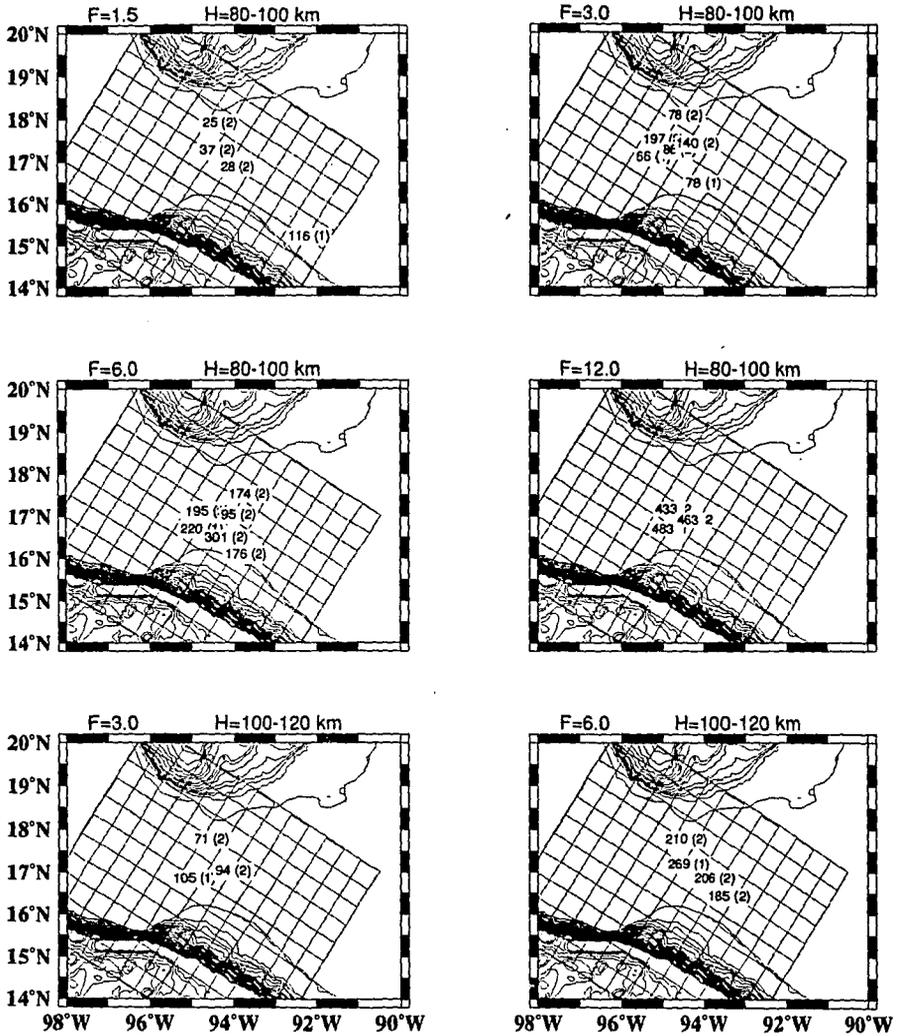


Fig. 4.8 Resultados promedio de Q_c utilizando OXX y SCX para eventos registrados en una o varias estaciones a diferentes profundidades y para coda de 6-16 seg. después del arribo de S.

Existen diversas formas de calcular un valor regional del factor Q_c , uno de los cuales consiste en utilizar una sola estación, para determinar un promedio de Q_c en un radio de varios kilómetros de la estación. Esto puede repetirse para todas las estaciones cubriéndose toda una región. Un segundo método de regionalización se fundamenta en que la ubicación de las heterogeneidades de primer orden forman una elipse cuyos focos son el epicentro y la estación, el valor de Q_c está ubicado en el área del epicentro (Fig.4.2-4.5). Otra forma consiste en utilizar trayectorias relativamente cortas con diferente azimut para todas las estaciones que hayan registrado ese evento (Fig.4.6-4.8), este método requiere que los cálculos sean hechos con la mejor exactitud posible.

4.2.2 Caso 2: Ventana de 5-25 seg. después del arribo de la onda S.

En este intervalo se consideró una ventana más amplia y 5 seg inmediatamente después de la onda S.

La cantidad de bloques, con resultados satisfactorios para Q_c , aumentó en un alto porcentaje. También se observó un incremento en el valor del factor de calidad, lo cual está de acuerdo con otros estudios realizados en diferentes partes del mundo (Pulli, 1984; Roecker y otros, 1982). Los resultados por estación aparecen en las Figuras 4.9 a 4.12. La dependencia de Q_c con la frecuencia es más evidente. Cuando se presentan los resultados en forma semi-regional (Fig. 4.13 y 4.14), inmediatamente se observa la influencia de las diferentes Zonas Geológicas en los valores de Q_c . Estas zonas son: a) zona del Istmo central; b) zona de la trinchera; c) zona noreste del Istmo de Tehuantepec, aunque esta última no tiene resultados en forma regular o densa.

Profundidad 0-20 km

Coda: 5-25 seg

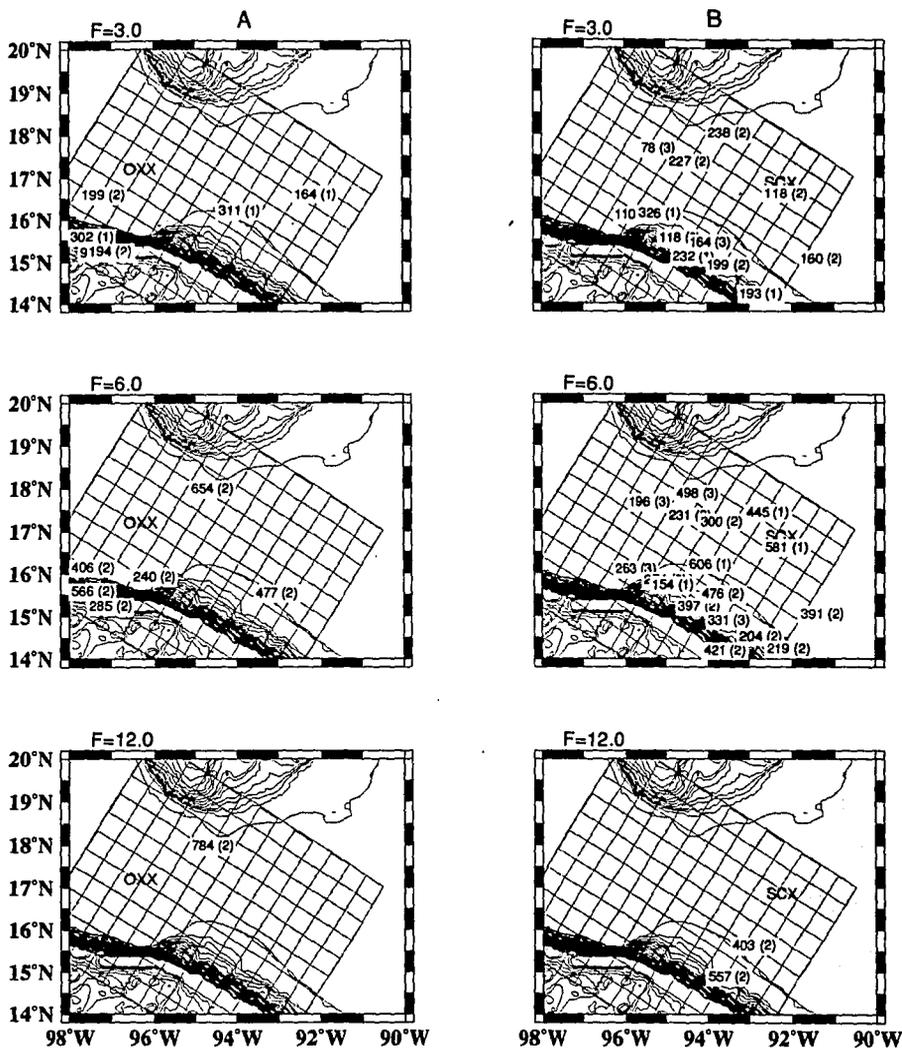


Fig. 4.9 Mapas del área del Istmo de Tehuantepec mostrando los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores Q_c obtenidos a diferentes frecuencias desde las estaciones OXX (A) y SCX (B) para eventos localizados entre 0-20 km de profundidad y un intervalo de coda de 5-25 seg después del arribo de S. La posición del valor de Q_c corresponde al epicentro del evento. Entre paréntesis se indica el número de veces que se midió el factor Q_c .

Profundidad 60-80 km

Coda: 5-25 seg

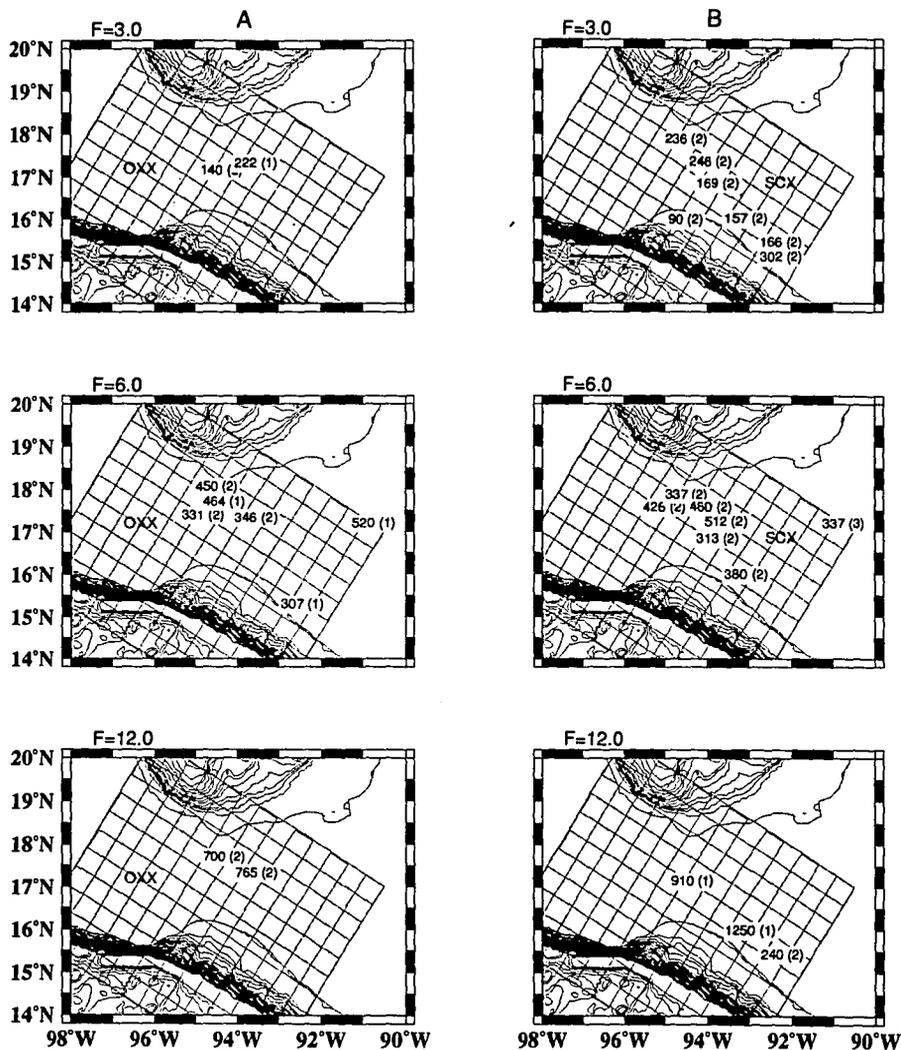


Fig. 4.10 Mapas del área del Istmo de Tehuantepec mostrando los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores Q_c obtenidos a diferentes frecuencias desde las estaciones OXX (A) y SCX (B) para eventos localizados entre 60-80 km de profundidad y un intervalo de coda de 5-25 seg después del arribo de S. La posición del valor de Q_c corresponde al epicentro del evento. Entre paréntesis se indica el número de veces que se midió el factor Q_c .

Profundidad 80-100 km

Coda: 5-25 seg

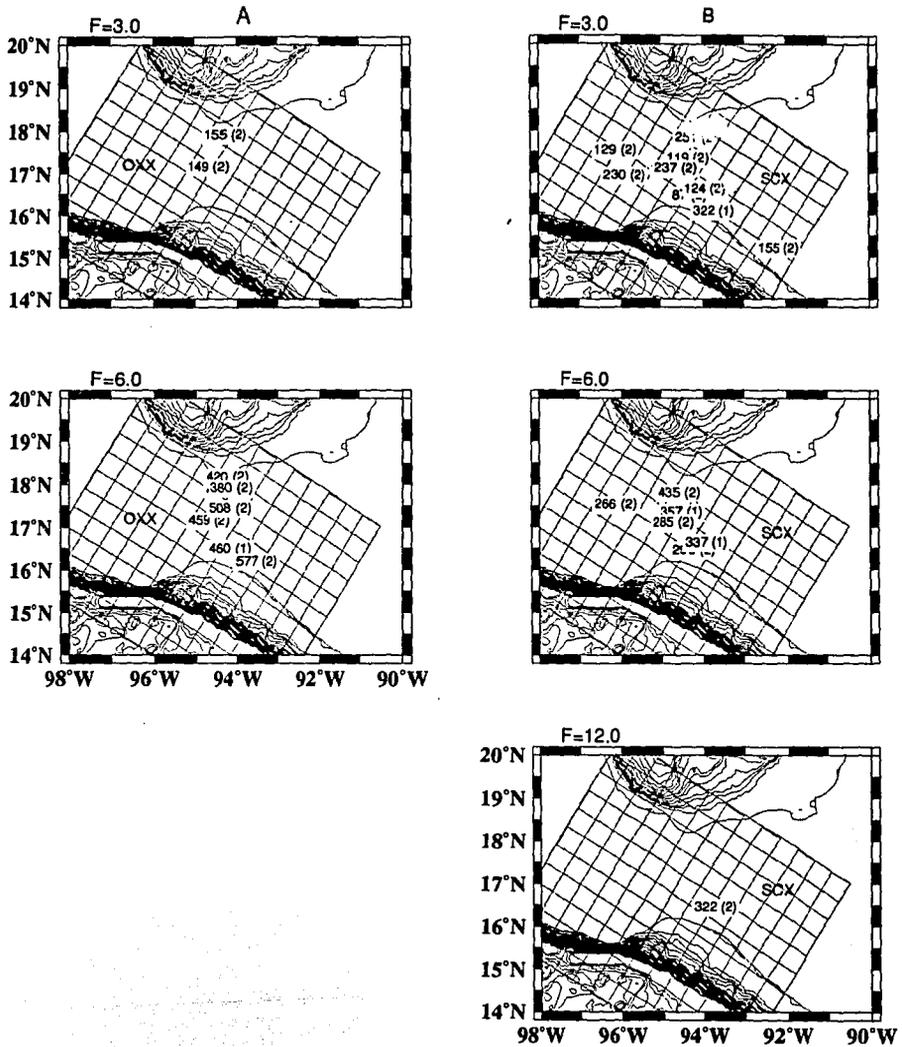


Fig. 4.11 Mapas del área del Istmo de Tehuantepec mostrando los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores Q_c obtenidos a diferentes frecuencias desde las estaciones OXX (A) y SCX (B). Para eventos localizados entre 80-100 km de profundidad y un intervalo de 5-25 seg después del arribo de S. La posición del valor de Q_c corresponde al epicentro del evento. Entre paréntesis se indica número de veces que se midió el factor Q_c . Para la estación OXX no se obtuvieron resultados a la frecuencia de 12 Hz.

Profundidad 100-120 km

Coda: 5-25 seg

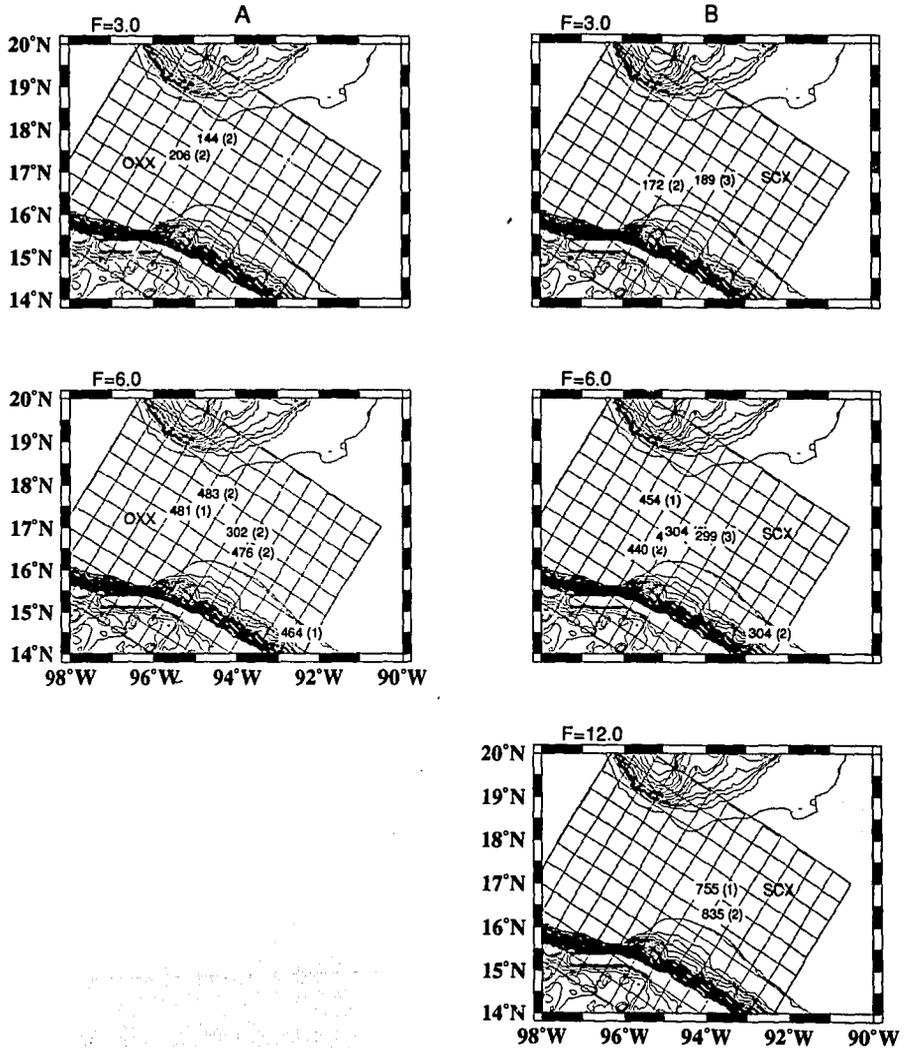


Fig. 4.12 Mapas del área del Istmo de Tehuantepec mostrando los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores Q_c obtenidos a diferentes frecuencias desde las estaciones OXX (A) y SCX (B). Para eventos localizados entre 100-120 km de profundidad y un intervalo de Q_c corresponde al epicentro del evento y un intervalo de 5-25 seg después del arribo de S. La posición del valor de Q_c corresponde al epicentro del evento. Entre paréntesis se indica el número de veces que se midió el factor Q_c . Para la estación OXX no se obtuvieron resultados a la frecuencia de 12 Hz.

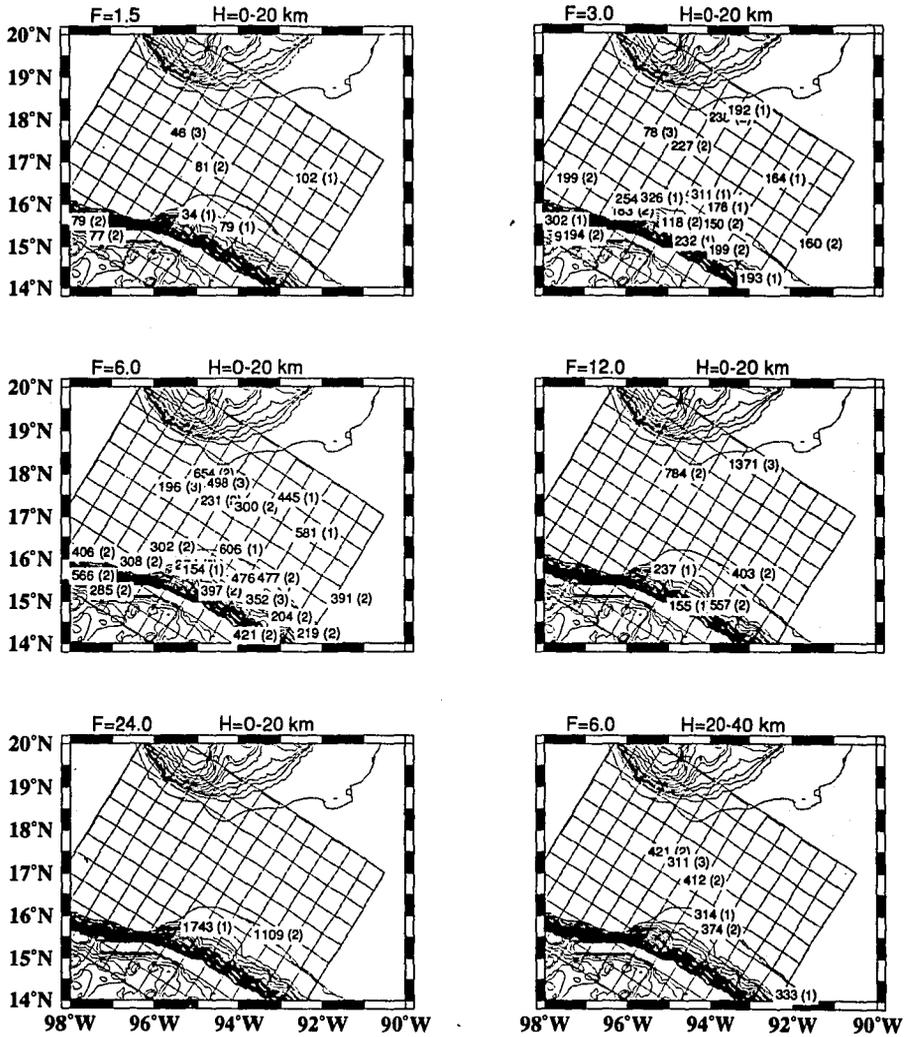


Fig. 4.13 Regionalización de valores promedio de Q_c para eventos registrados en una o varias estaciones a diferentes profundidades. Para coda de 5-25 seg después del arribo de S.

Coda 5-25 seg

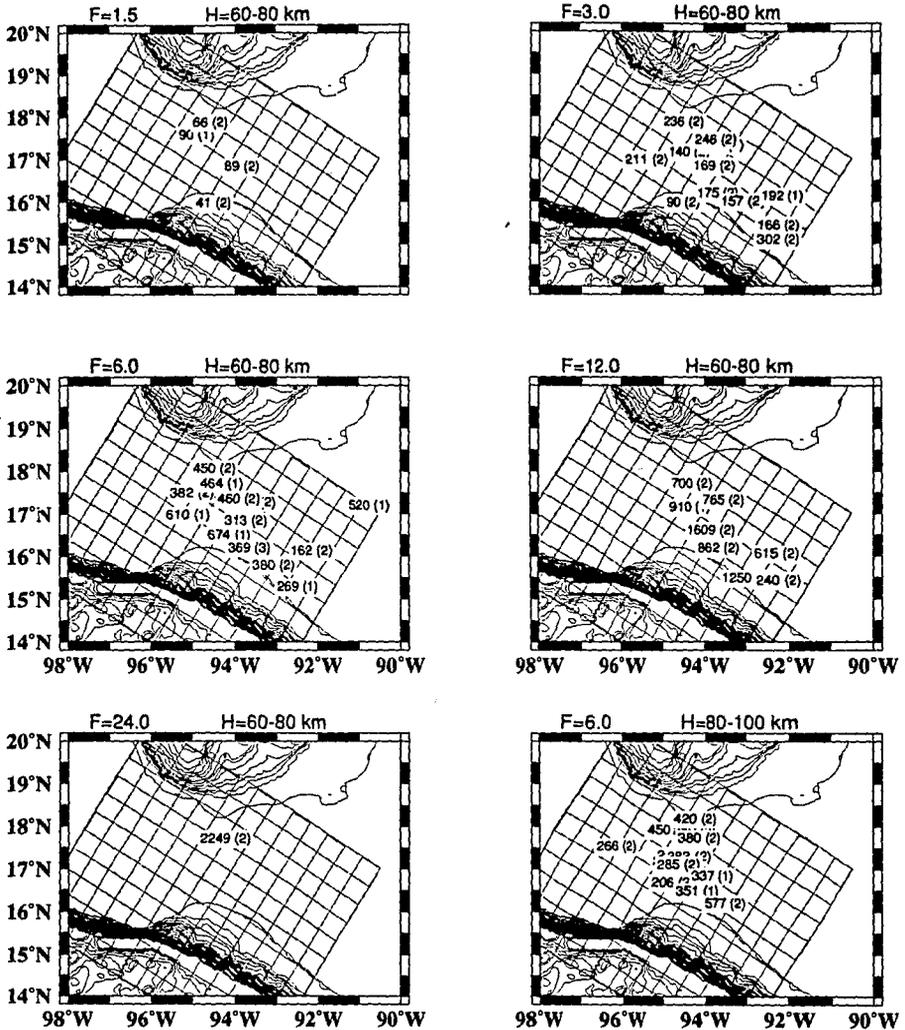


Fig. 4.14 Regionalización de valores promedio de Q_c para eventos registrados en una o varias estaciones a diferentes profundidades. Para coda de 5-25 seg después del arribo de S.

4.2.3 Caso 3: Ventana de 25-50 seg. después de la llegada de la onda S.

Este intervalo fue el más adecuado (Fig. 4.1, segmento "C") ya que de esta manera se determina Q_c de una forma más regional (Singh y Herrmann, 1983). También, con este intervalo se muestrea un volumen equivalente al estudiado en la sección anterior, sin embargo se evita en gran parte los efectos locales en la señal del sismograma, aunque posiblemente se esté trabajando en la zona de baja relación señal/ruido (Hellweg, 1995). Los resultados por estación aparecen en las Figuras 4.15 a 4.17 y la regionalización de los valores promedio se presentan en las Figuras 4.18 a 4.20.

Los resultados para Q_c vuelven a mostrar un incremento aproximado del 72%, respecto a la ventana anterior, y los valores son más uniformes y homogéneos a los obtenidos en los intervalos anteriores. La estación OXX presenta un mayor número y los mejores datos. Por el contrario la estación SCX redujo sus resultados para las profundidades entre 0-20 y 60-80 km, esto se debe principalmente a que en esta estación el sismograma presentaba una corta serie de tiempo y el efecto del ruido era significativo.

Finalmente se consideraron todos los eventos ocurridos en zonas con características geológicas semejantes, con el propósito de calcular un valor regional de Q_c . Los resultados obtenidos para las diferentes estaciones fueron promediados (ecuación 4.1). Para las profundidades consideradas se determinó la dependencia de la atenuación (Q_c^{-1}) con la frecuencia, se observa que los valores de Q_c^{-1} tienden a converger a altas frecuencias (≈ 24 Hz) y divergen a bajas frecuencias (≈ 1.5 Hz) (Fig.4.21). En todas las zonas los valores de atenuación tuvieron un alto decrecimiento para frecuencias menores de 6 Hz, para $f > 6$ Hz este gradiente fue menor.

Profundidad 0-20 km

Coda: 25-50 seg

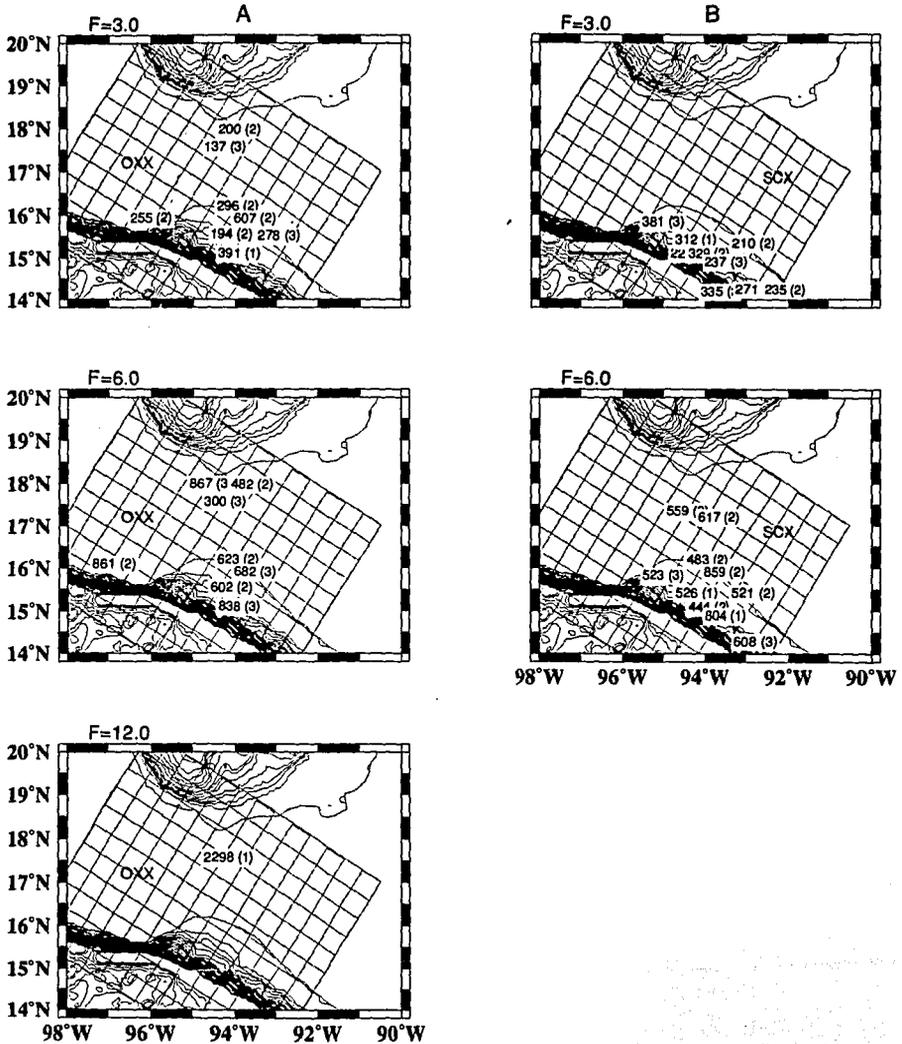


Fig. 4.15 Mapas del área del Istmo de Tehuantepec mostrando los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores Q_c obtenidos a diferentes frecuencias desde las estaciones OXX (A) y SCX (B) para eventos localizados entre 0-20 km de profundidad y un intervalo de coda de 25-50 seg después del arribo de S. La posición del valor de Q_c corresponde al epicentro del evento. Entre paréntesis se indica el número de veces que se midió el factor Q_c . Para la estación SCX no se obtuvieron resultados a la frecuencia de 12 Hz.

Profundidad 60-80 km

Coda: 25-50 seg

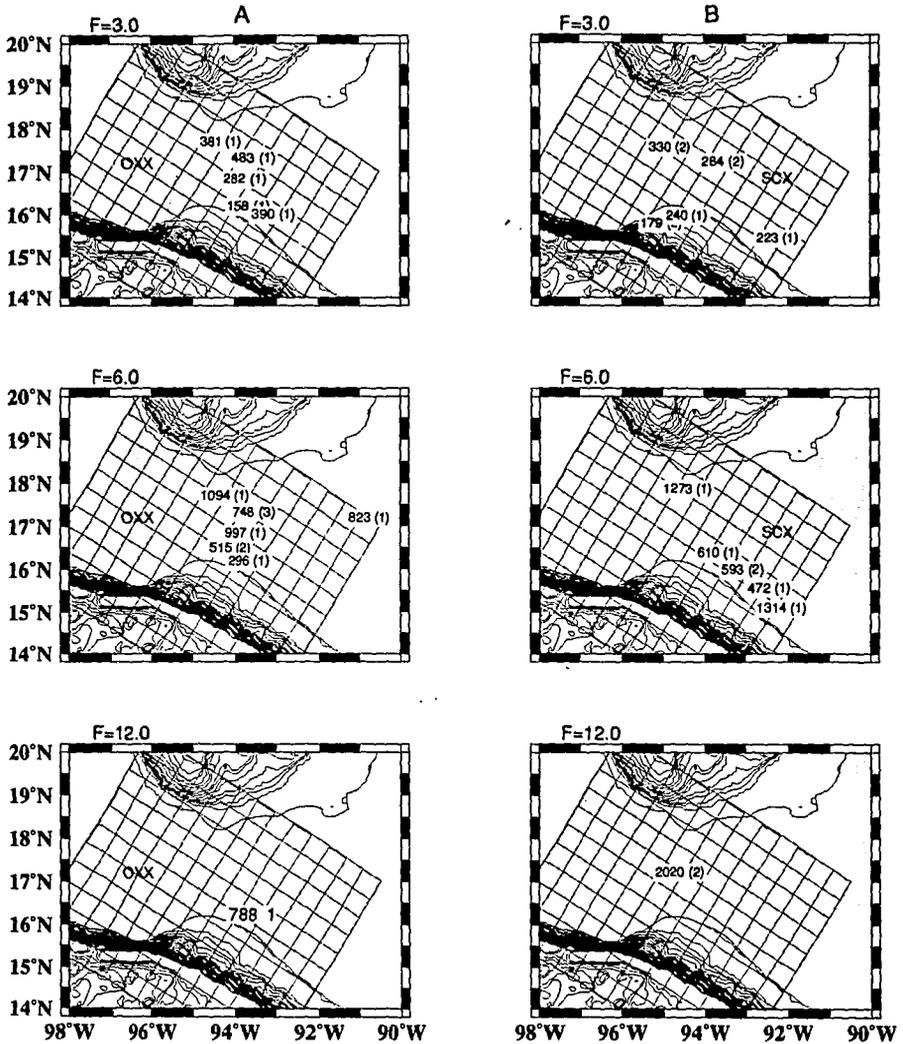


Fig. 4.16 Mapas del área del Istmo de Tehuantepec mostrando los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores Q_c obtenidos a diferentes frecuencias desde las estaciones OXX (A) y SCX (B) para eventos localizados entre 60-80 km de profundidad y un intervalo de coda de 25-50 seg después del arribo de S. La posición del valor de Q_c corresponde al epicentro del evento. Entre paréntesis se indica el número de veces que se midió el factor Q_c .

Profundidad 80-100 km

Coda: 25-50 seg

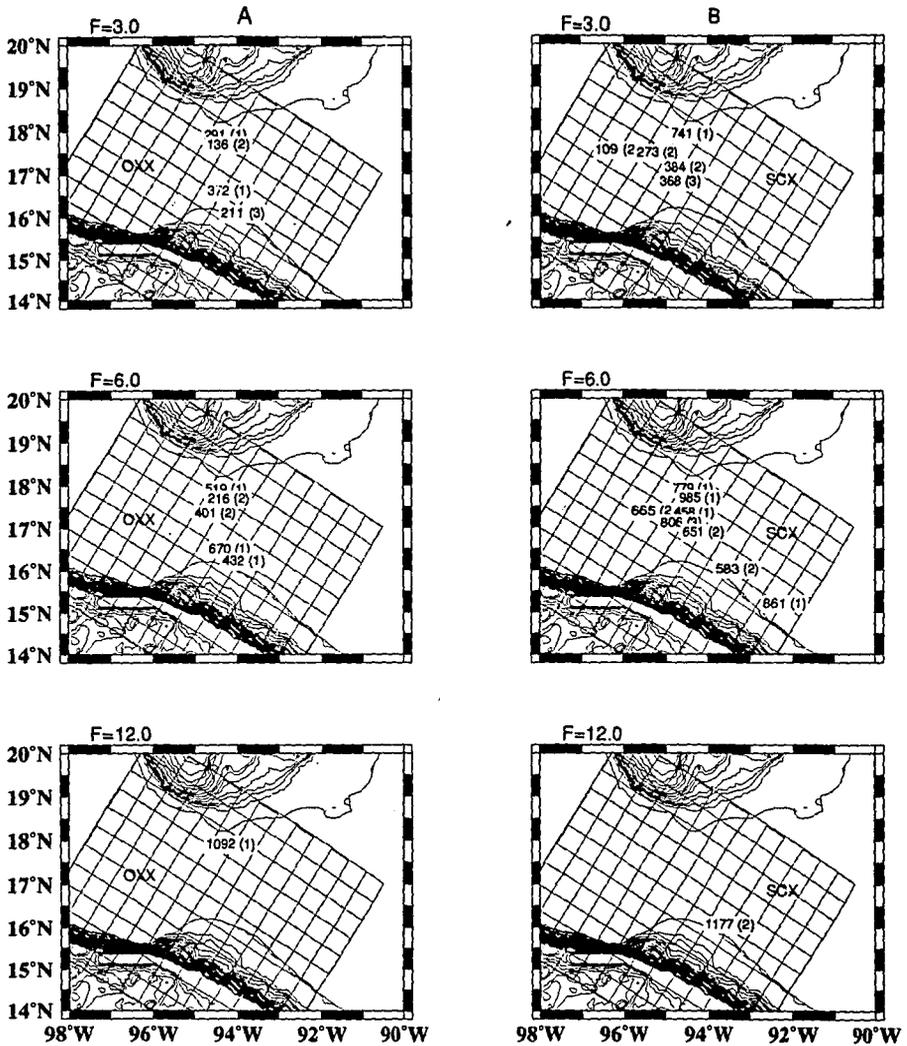


Fig. 4.17 Mapas del área del Istmo de Tehuantepec mostrando los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores Q_c obtenidos a diferentes frecuencias desde las estaciones OXX (A) y SCX (B) para eventos localizados entre 80-100 km de profundidad y un intervalo de coda de 25-50 seg después del arribo de S. La posición del valor de Q_c corresponde al epicentro del evento. Entre paréntesis se indica el número de veces que se midió el factor Q_c .

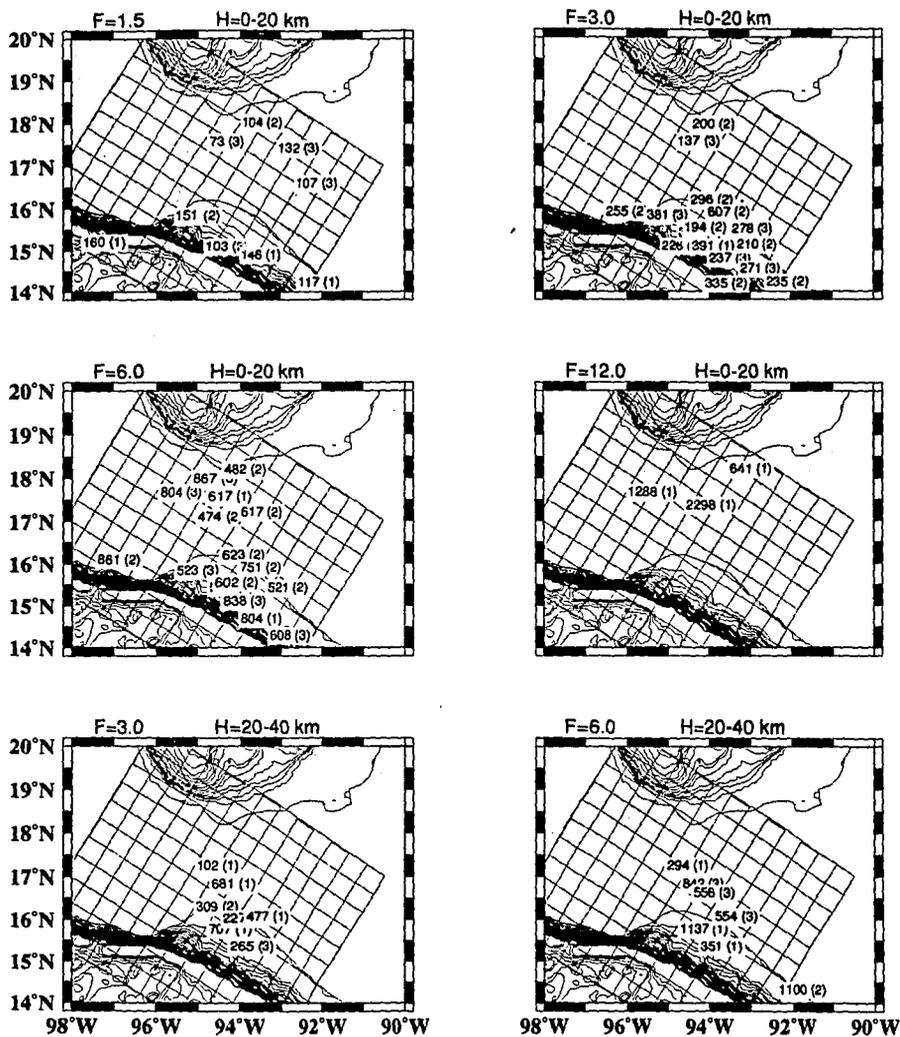


Fig. 4.18 Regionalización de valores promedio de Q_c para eventos registrados en una o varias estaciones a diferentes profundidades. Para coda de 25-50 seg después del arribo de S.

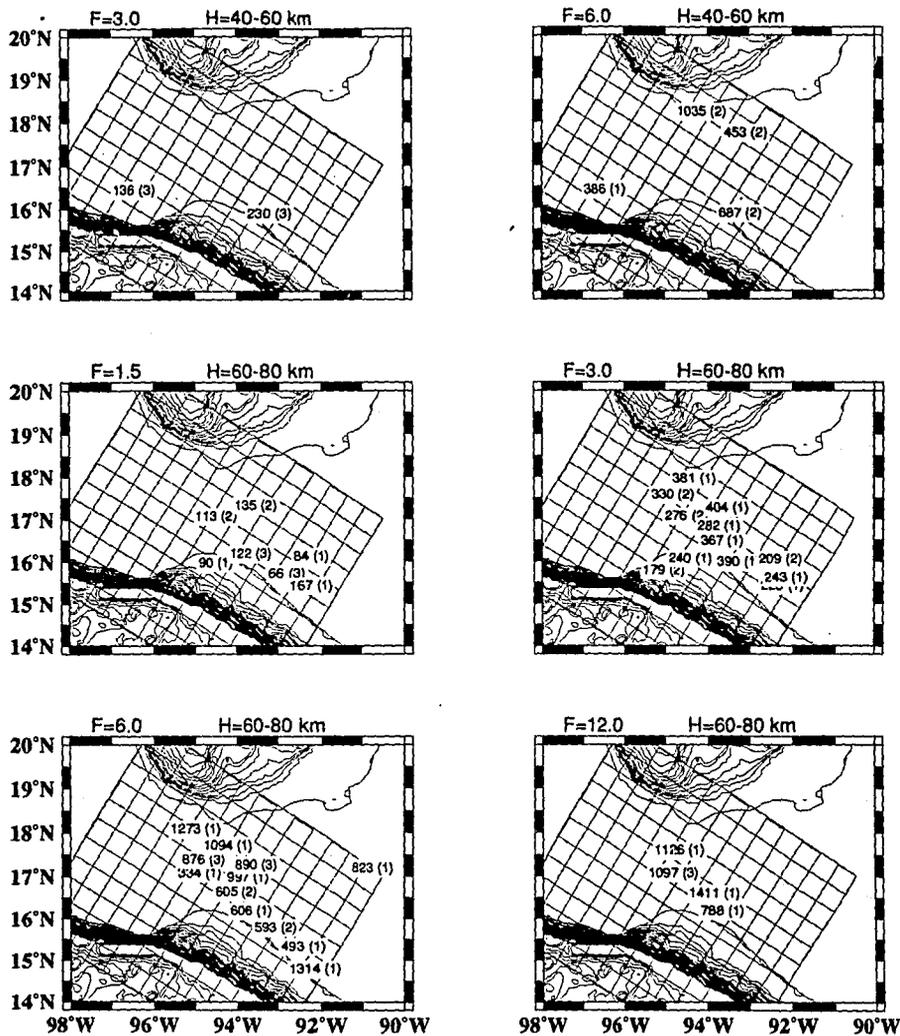


Fig. 4.19 Regionalización de valores promedio de Q_c para eventos registrados en una o varias estaciones a diferentes profundidades. Para coda de 25-50 seg después de S.

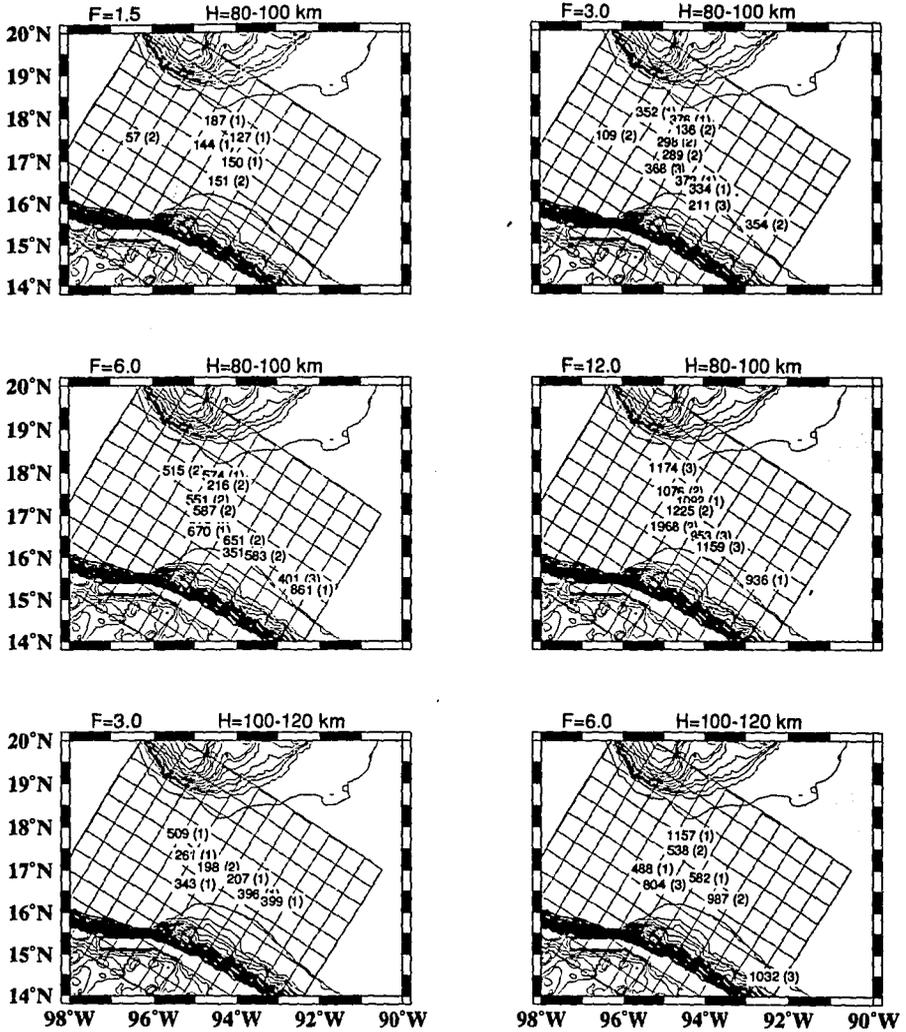


Fig. 4.20 Regionalización de valores promedio de Q_c para eventos registrados en una o varias estaciones a diferentes profundidades. Para coda de 25-50 seg después del arribo de S.

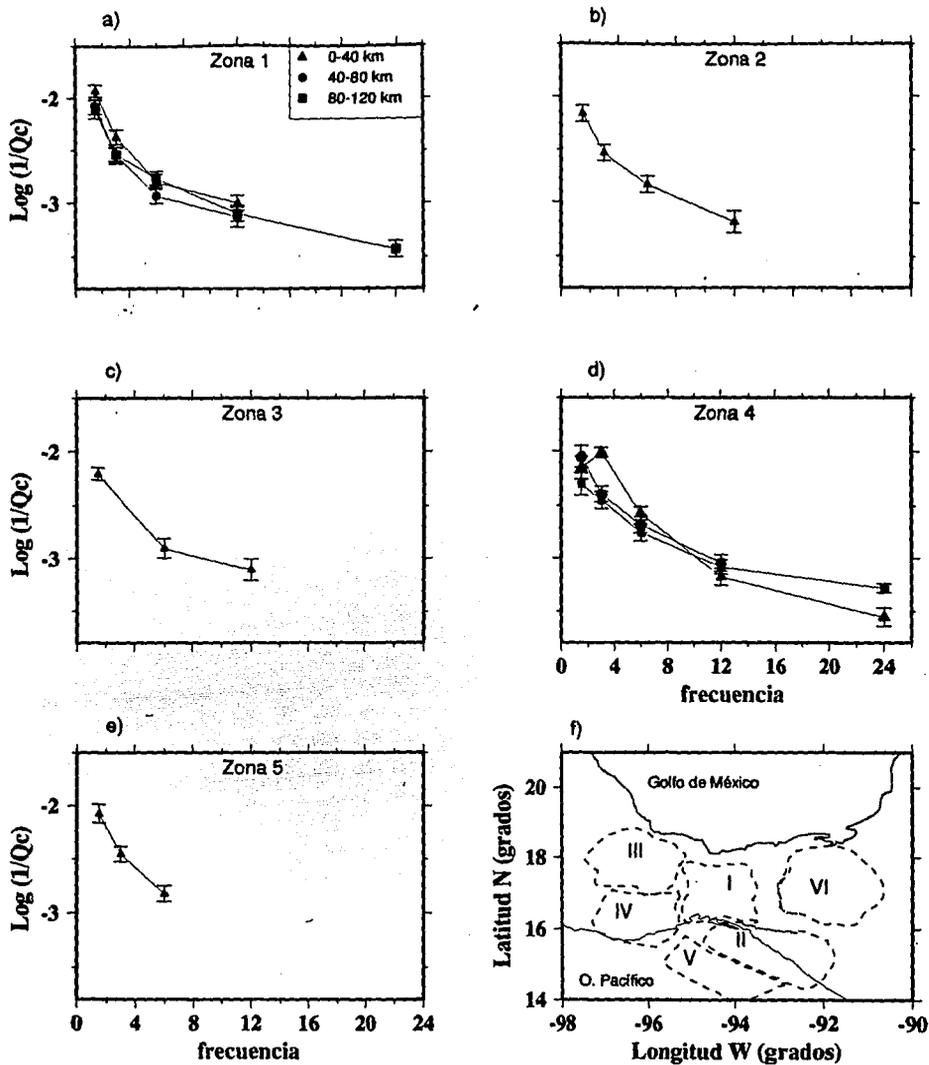


Fig.4.21 Relación de Q_c^{-1} con la frecuencia a diferentes profundidades en a) Zona 1: Istmo Central, b) Zona 2: Plataforma Continental de Tehuantepec, c) Zona 3: Norte de Oaxaca y d) Zona 4: Costa de Oaxaca, e) Zona 5: Parte Sur de la Trinchera Mesoamericana. Los datos fueron promediados considerando todos los eventos ocurridos en cada región. Las barras verticales indican el error estimado. En f) se presentan las diferentes zonas.

Para estudiar el comportamiento del factor de calidad, en función de la longitud de la ventana, se escogieron varios eventos. Los resultados muestran consistentemente un aumento del valor de Q_c con la longitud de la ventana, para un mismo evento (Tabla 4.1).

Tabla 4.1

Valores de Q_c y su error para ventanas de diferente longitud*

Evento	T.Orig. h s	STN	frec Hz	Q_c 5-10 seg	EQ_c &	Q_c 6-12 seg	EQ_c	Q_c 5-25 seg	EQ_c	Q_c 5-30 seg	EQ_c
890506	2337	SCX	6.0	105.6	18.6	162.5	23.7	254.4	28.4	507.9	66.1
890809	0228	OXX	3.0	90.5	18.6	84.3?	12.6	235.4	46.4	249.7	29.6
890809	0228	OXX	6.0	99.2	8.7	223.9	53.9	370.4	57.8	542.0	75.3
900807	0556	OXX	3.0	45.1	10.2	71.7	14.8	144.0	23.9	258.5	43.9
900905	2241	OXX	6.0	328.3	80.0	335.1	58.4	462.4	86.4	616.5	76.5
900912	0747	SCX	3.0	107.2	11.1	84.0?	19.2	89.0?	8.1	176.3	23.4
910222	0817	SCX	6.0	229.4	21.0	400.8	88.2	337.1?	53.1	551.8	103.6
910430	1519	SCX	3.0	96.3	19.7	118.6	28.2	118.1	10.0	186.1	23.4
911021	1617	LVV	6.0	90.1	17.5	162.0	32.4	209.3	14.8	285.9	19.1
920113	0534	SCX	3.0	58.5	14.2	74.4	17.6	164.3	30.4	202.7	26.6
920805	0135	SCX	6.0	230.9	51.4	276.7	50.1	380.1	86.0	427.8	61.5
940620	1013	SCX	6.0	49.5	3.6	127.2	17.1	306.5	73.1	482.8	74.7

* El tiempo del intervalo se mide a partir de la onda S.

& Error estimado de Q_c .

? Datos inconsistentes

4.3 Variación temporal del factor de calidad Q_c

Con el propósito de estudiar las variaciones temporales de Q_c antes de un sismo importante se analizaron los eventos localizados en un área circular de 130 km de radio centrada en el epicentro de los temblores de magnitud 7.3 y 6.5* ocurridos los días 10 y 30 de septiembre de 1993 frente a la costa de Chiapas (92.6°W y 14.7°N; Figura 4.22) y en el área de la Trinchera Mesoamericana (95°W y 14.8°N; Figura 4.23), respectivamente. El primer evento, de profundidad 34.1 km, presenta un mecanismo focal correspondiente a falla inversa, con los planos

* m_s tomado del reporte semanal PDE.

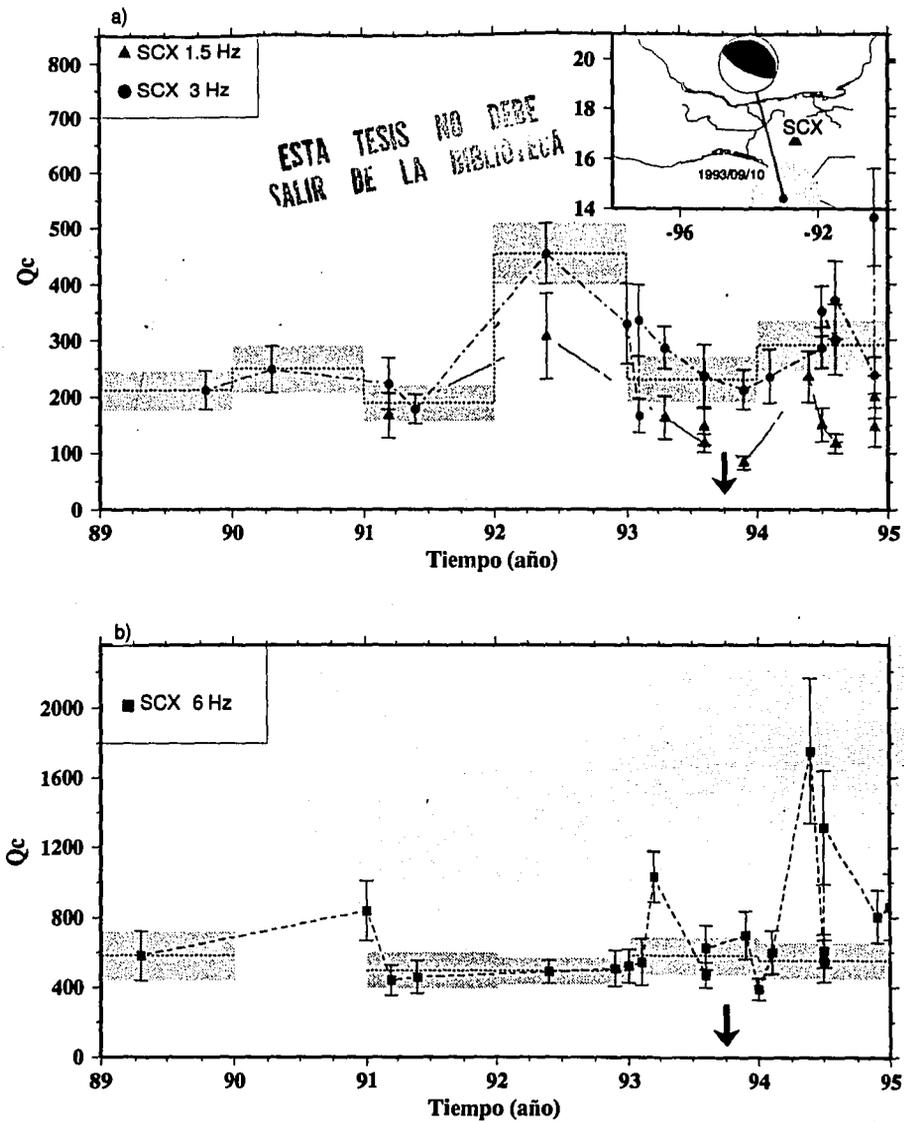


Fig.4.22 Representación de Q_c en función del tiempo. Se consideró un círculo de 130 km con centro en el epicentro del sismo de magnitud 7.3 ocurrido el 10 de septiembre de 1993 (recuadro superior derecho). a) resultados para 1.5 y 3 Hz; b) resultados para 6 Hz. Las barras verticales indican el error estimado. La franja sombreada indica el intervalo de errores y la línea de puntos señala el valor promedio de Q_c . La flecha señala el tiempo de origen del evento.

NP1: 118°(azimut), 68°(buzamiento) y 90°(deslizamiento); NP2: 298°(az.), 22°(buz.) y 90°(desl.). De igual forma, el segundo sismo presenta un mecanismo focal de falla inversa, con planos NP1: 110°(az.), 75°(buz.) y 90°(desl.); NP2: 290°(az.), 15°(buz.) y 90°(desl.).

La información de Q_c se obtuvo de los registros en las estaciones OXX y SCX, éstas tienen trayectorias diferentes en azimut y longitud, además poseen el mismo tipo de instrumento. Un total de 49 registros, en la zona donde ocurrió el primer evento, fueron analizados. En la Figura 4.22 se presentan los resultados de las variaciones temporales de Q_c medidas a partir de la estación SCX y en el recuadro superior aparece la localización epicentral y el tipo de mecanismo reportado por Harvard, el círculo sombreado representa el área de localización de los eventos utilizados. Para la frecuencia de 1.5 Hz el valor de Q_c osciló entre 83 y 307, teniendo valores altos en abril de 1992 y valor mínimo en septiembre/1993. Para la frecuencia de 3 Hz, los resultados muestran valores bajos de Q_c en mayo/1991 al igual que en septiembre/1993, y altos valores de Q_c en mayo /1992 y junio/1994; estos resultados indican una correlación para la atenuación de las ondas coda a las frecuencias de 1.5 y 3 Hz. Determinando el promedio de los valores obtenidos para la frecuencia de 3 Hz, se tiene un valor Q_c igual a 211 durante el 1989. Después este valor aumenta a 249 durante 1990, descendiendo a 189 el año siguiente, en 1992 mostró su máximo valor de 454 y en 1993 de nuevo descende hasta 230. Estos resultados aparecen trazados por una línea de puntos (Fig.4.22a) y la franja sombreada indica el intervalo de errores. Estos promedios fueron obtenidos considerando los errores de cada valor de Q_c .

Los valores de Q_c calculados desde la estación SCX para 6 Hz, tuvieron una fluctuación entre 391 y 1752. Los resultados tuvieron sus máximas variaciones

entre los años 1993 y 1995, para los años anteriores el valor se mantuvo casi constante; durante el año 1990 no se obtuvieron resultados en esta región. Considerando el valor promedio de Q_c antes y después del evento se obtuvieron 107 y 144 (1.5 Hz), 229 y 291 (3 Hz), 539 y 554 (6 Hz) (Tabla 4.2). Estos resultados podrían indicar que ocurrieron variaciones significativas antes y después del evento para las frecuencias de 1.5 y 3 Hz, además en todos los casos se observa un aumento de Q_c después del sismo. Para la Zona de Petatlán, Novelo-Casanova y otros (1985), observaron una variación temporal del factor de calidad Q_c (frecuencia a 6 Hz) de 135 y 175 antes y después del terremoto del 14 de marzo de 1979, respectivamente.

Para el temblor del 30 de septiembre de 1993 fueron analizados 87 registros. Para esta zona fue posible contar con registros adecuados de las estaciones OXX y SCX, debido a su localización epicentral (Figs.4.23a y 3.8, respectivamente). En la Figura 4.23a se observa que para la frecuencia inferior (1.5 Hz) el valor de Q_c osciló entre 70 y 238, teniendo valores altos a partir de septiembre/1990 hasta marzo/1991, para los años siguientes aparecen bajos valores de Q_c en esta frecuencia en ambas estaciones. Para la frecuencia de 3 Hz en la estación SCX aparecen variaciones importantes en la atenuación desde febrero/1991 hasta enero/1992. Se presenta un valor mínimo de Q_c (alto valor de atenuación) en agosto/1991 y una atenuación mínima en el mes de noviembre de 1994. En la estación OXX se observa un comportamiento prácticamente constante hasta marzo de 1991, a partir de esta fecha la tendencia se correlaciona positivamente con el resultado para SCX hasta julio/1992 (Fig.4.23a).

Considerando el promedio de los valores obtenidos en ambas estaciones para la frecuencia de 3 Hz, se tiene un valor Q_c igual a 310 durante el 1989. Después,

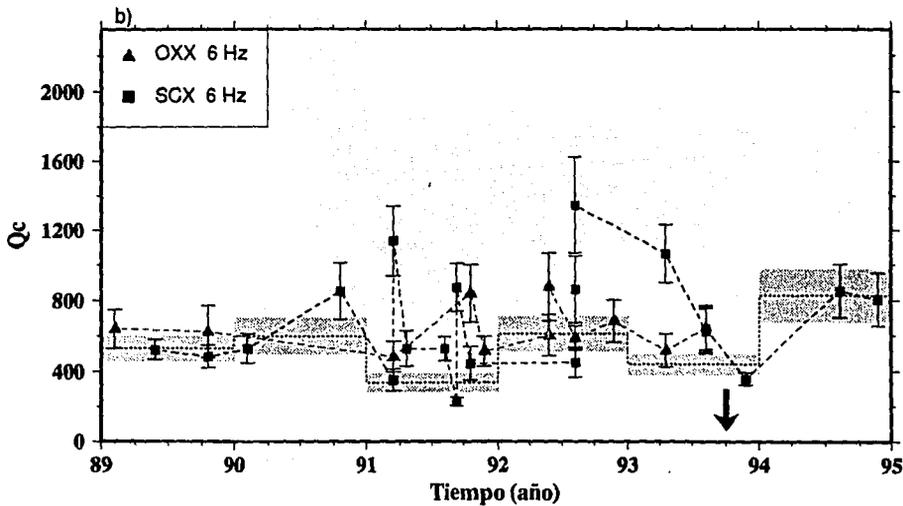
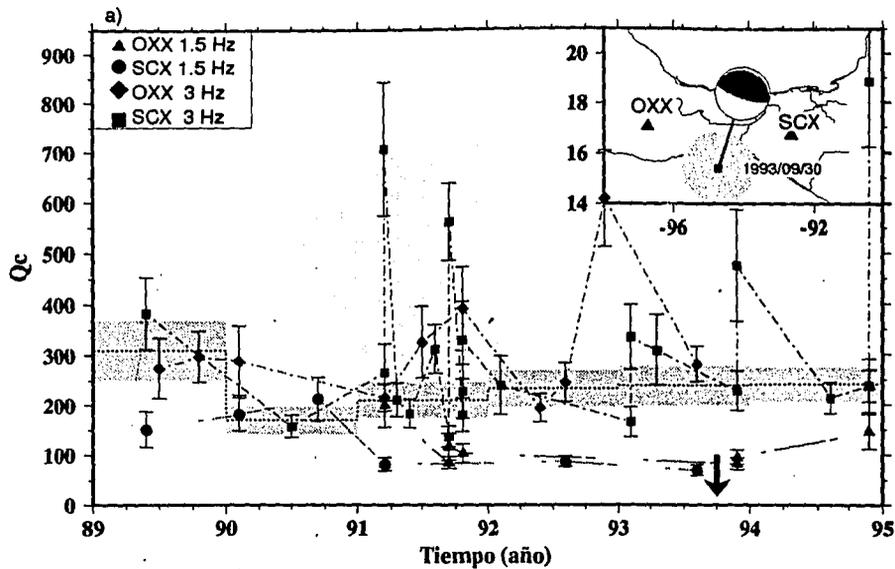


Fig.4.23 Representación de Q_c en función del tiempo. Se consideró un círculo de 130 km con centro en el epicentro del sismo de magnitud 6.5 ocurrido el 30 de septiembre de 1993 (recuadro superior derecho). a) resultados para 1.5 y 3 Hz; b) resultados para 6 Hz. Las barras verticales indican el error estimado. La franja sombreada indica el intervalo de errores y la línea de puntos señala el valor promedio de Q_c . La flecha señala el tiempo de origen del evento.

este valor desciende a 160 durante 1990 y luego se mantiene casi constante en los años subsiguientes. Estos resultados se indican por la línea de puntos (Fig.4.23a).

Los valores de Q_c calculados desde la estación SCX para 6 Hz, tuvieron una fluctuación entre 228 y 1344. De nuevo, se distinguen grandes variaciones alrededor de febrero/1990 hasta julio/1994. Los promedios calculados con los datos de ambas estaciones para cada año presenta variaciones significativas, con un valor mínimo en el año de 1991 y un valor máximo de Q_c durante 1994 (Fig.4.23b).

Se observan mayores variaciones de Q_c a las frecuencias de 3 y 6 Hz que a 1.5 Hz. Para la estación OXX a la frecuencia de 6 Hz no se obtuvieron suficientes estimaciones de Q_c .

Se pueden considerar dos mecanismos para explicar los cambios observados en el carácter de Q_c . Primero, un cambio en el espectro de la fuente respecto al tiempo. En este esquema, los sismos que ocurrieron de junio/1992 a noviembre/1994 (Fig.4.22) y de 1991 a 1992 y de junio/1992 a agosto/1994 (Fig.4.23) producen más altas frecuencias que en otros períodos. Esto significa que esos sismos deben tener una frecuencia de esquina mayor a los demás (Chouet, 1979). De esta manera, la parte posterior de la coda debe reflejar cambios en la atenuación y/o propiedades atenuantes de la corteza próxima a la costa de Chiapas y al área de la trinchera, donde ocurrieron estos sismos. Esto último podría indicar los efectos de variación de la atenuación intrínseca (Q_i) del material cortical.

En otras palabras, las diferentes magnitudes de Q_c derivadas de las bajas y altas frecuencias reflejan el efecto de un Q -estratificado sobre las ondas

dispersadas por varias partes de la corteza terrestre. En este modelo, la coda para frecuencias alrededor de 1.0 Hz consiste principalmente de dispersión de las ondas superficiales por heterogeneidades someras en capas superficiales de bajo-Q; por ejemplo sedimentos. Por el contrario, la coda de frecuencia intermedia (alrededor de 6 Hz) está compuesta esencialmente por dispersión de las ondas de cuerpo en la corteza profunda, con altos valores de Q_c , aunque es afectada marginalmente por dispersiones a frecuencias inferiores a 10 Hz.

En el promedio de Q_c para los resultados obtenidos en las estaciones antes y después del segundo evento, se observó un valor Q_c de 91 y 96 (1.5 Hz), 217 y 246 (3 Hz); 433 y 403 (6 Hz), los datos corresponden a antes y después del evento, respectivamente. Estos resultados podrían indicar que para este temblor no hay cambios significativos de Q_c antes y después del sismo. Los valores z para las estimaciones de Q_c se presentan en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2

Valores z para los cambios observados de Q_c antes y después de los sismos del 10 y 30 de septiembre de 1993.

	Frec.(Hz)	$Q_{c1} \pm \sigma$	$N1^{**}$	$Q_{c2} \pm \sigma$	$N2$	valor z
Evento 1	1.5	107±18	6	144±25	5	2.76
	3	229±37	11	291±44	7	3.09
	6	539±97	12	554±102	8	0.32***
Evento 2	1.5	91±14	10	96±15	4	0.6***
	3	217±36	28	246±38	5	1.58
	6	433±65	28	403±45	5	1.27

* Valor promedio de Q_{c1} antes del sismo y Q_{c2} después del sismo.

** N representa el número de mediciones realizadas y σ el error.

*** Los valores Q_{c1} y Q_{c2} no estadísticamente diferentes.

cual refleja rasgos inherentes al medio interior, obviando así los efectos locales (Figs. 4.18 a 4.20).

En las Figuras 5.1 y 5.2 se muestran los valores regionales de Q_c y su error para 6 zonas: 1) Istmo central, 2) Cuenca de Tehuantepec, 3) Región norte de Oaxaca, 4) Costa de Oaxaca, 5) Zona de la Trinchera (frente al Istmo) y 6) Cuenca Deltaica de Tabasco. Para esta regionalización los datos de las distintas celdas, para cada estación y profundidad fueron agrupados. La profundidad de los bloques se eligió de acuerdo a la distribución hipocentral de los datos utilizados (Fig.3.4) y a otros perfiles obtenidos por Novelo-Casanova (1980) y Pardo (1993). Sin embargo, existe la posibilidad de considerar otro rango de profundidad para analizar características más locales de la corteza (Mitchell, 1991) o regionales en el manto (Mikumo, 1968).

Para las zonas consideradas (Fig.5.1 y 5.2) se observa una dependencia de Q_c con la frecuencia, excepto en la zona #3 que presenta una disminución en su valor para la frecuencia de 3 Hz. Para el rango de profundidad de 0-40 km (Fig.5.1), las Zonas II y III presentaron valores de Q_c mayores que los de las Zonas I, IV y V a las frecuencias de 1.5, 3 y 6 Hz, mientras que las Zonas II y IV poseen un valor ligeramente superior que el de las otras zonas a la frecuencia de 12 Hz. A la frecuencia de 24 Hz sólo las Zonas I y IV presentan resultados bastantes limitados, esto impidió que se hiciera comparación con las demás zonas. Los resultados indican que las Zonas II y IV fueron menos atenuantes o poseen menos fracturamiento en comparación con las Zonas I, II y V (Tabla 5.1).

Por otra parte para la profundidad de 40-80 km no existe variación entre los resultados obtenidos en las Zonas I, II y IV a las frecuencias de 1.5 y 3 Hz; en

cambio para las frecuencias de 6 y 12 Hz el valor de Q_c en la Zona I fue mayor. De acuerdo a estas observaciones la Zona I resultó ser la menos atenuante para este rango de profundidad. El grado de confianza, para estas diferencias, se resumen en el Anexo 6.

En el rango de 80-120 km, sólo las Zonas I y IV tuvieron resultados, observándose una mayor atenuación en la Zona I a la frecuencia de 1.5 Hz, en cambio, para 3 Hz la Zona IV fue la más atenuante. A las frecuencias de 6 y 12 Hz no existe diferencia entre los resultados de ambas Zonas.

Tabla 5.1

Valores de Q_c y su error σ para las zonas consideradas por frecuencia y profundidad

Profundidad km	Zona	$Q_c \pm \sigma$				
		1.5 Hz	3 Hz	6 Hz	12 Hz	24 Hz
0 - 40	I	84 ± 11	235 ± 37	628 ± 101	997 ± 164	-
"	II	145 ± 26	341 ± 57	677 ± 122	1528 ± 360	-
"	III	160 ± 21	-	804 ± 172	1288 ± 300	-
"	IV	142 ± 33	102 ± 11	378 ± 54	1513 ± 274	3597 ± 598
"	V	118 ± 23	284 ± 47	667 ± 110	-	-
"	VI	-	-	-	-	-
40 - 80	I	127 ± 25	351 ± 62	853 ± 146	1350 ± 289	-
"	II	101 ± 18	273 ± 50	650 ± 113	788 ± 139	-
"	III	-	-	483 ± 83	1116 ± 197	-
"	IV	113 ± 26	247 ± 41	-	-	-
"	V	-	-	-	-	-
"	VI	-	-	823 ± 181	-	-
80 - 120	I	120 ± 19	344 ± 52	584 ± 87	1251 ± 205	2704 ± 213
"	II	-	-	-	-	-
"	III	-	-	-	-	-
"	IV	199 ± 46	282 ± 51	572 ± 105	1215 ± 188	-
"	V	-	-	-	-	-
"	VI	-	-	-	-	-

Resumiendo lo anterior vemos que la Zona III (1.5 y 6 Hz) y la Zona II (3 y 12 Hz) fueron menos atenuantes, mientras que la Zona I (1.5 y 12 Hz) y la Zona IV (3 y 6 Hz) presentaron mayor atenuación. Esto significa que la corteza correspondiente a las Provincias geológicas: Cuicateca y Zapoteca (Zona I), y el Batolito de

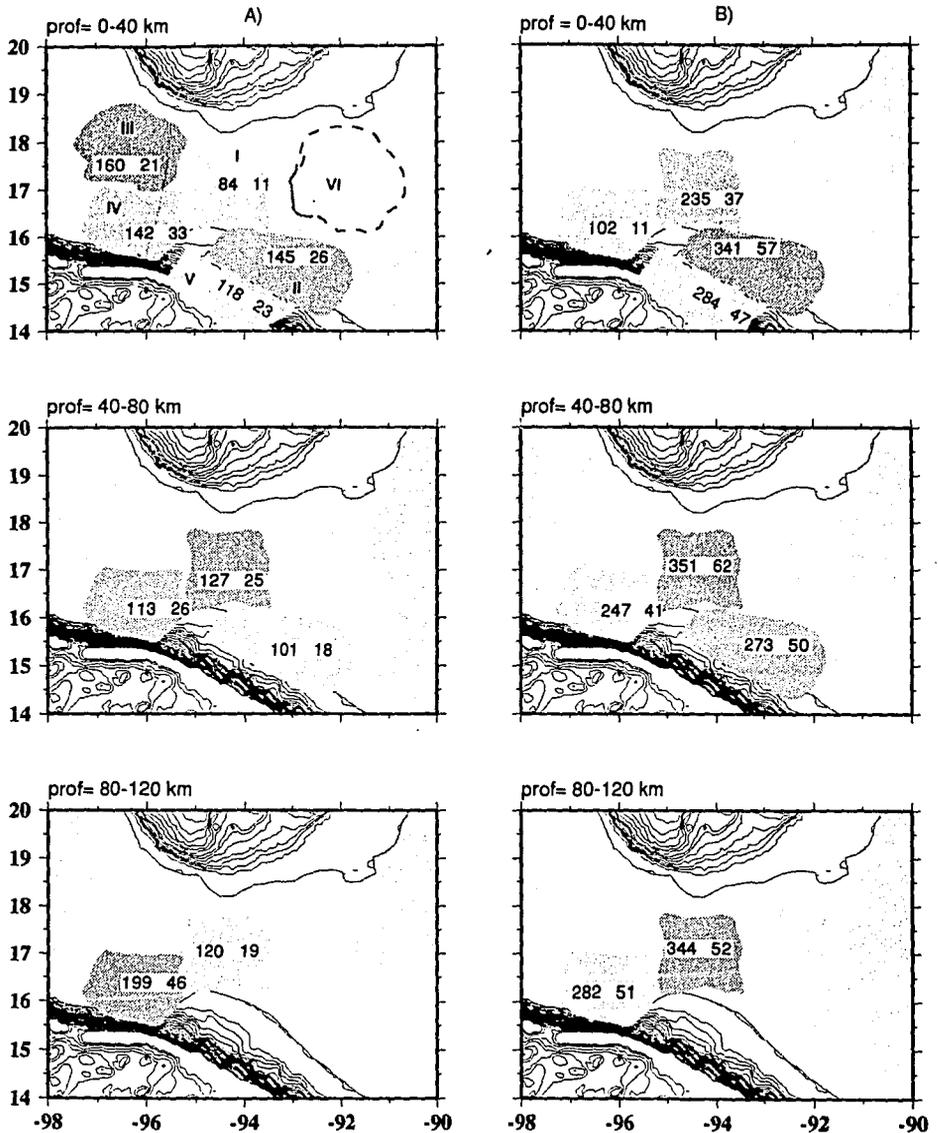


Fig. 5.1 Mapas del Istmo de Tehuantepec mostrando los valores promedio de Q_c y su error a diferentes profundidades para las diferentes zonas elegidas a las frecuencias: A) $f=1.5$ Hz, B) $f=3$ Hz. La Zona VI no presentó suficientes valores.

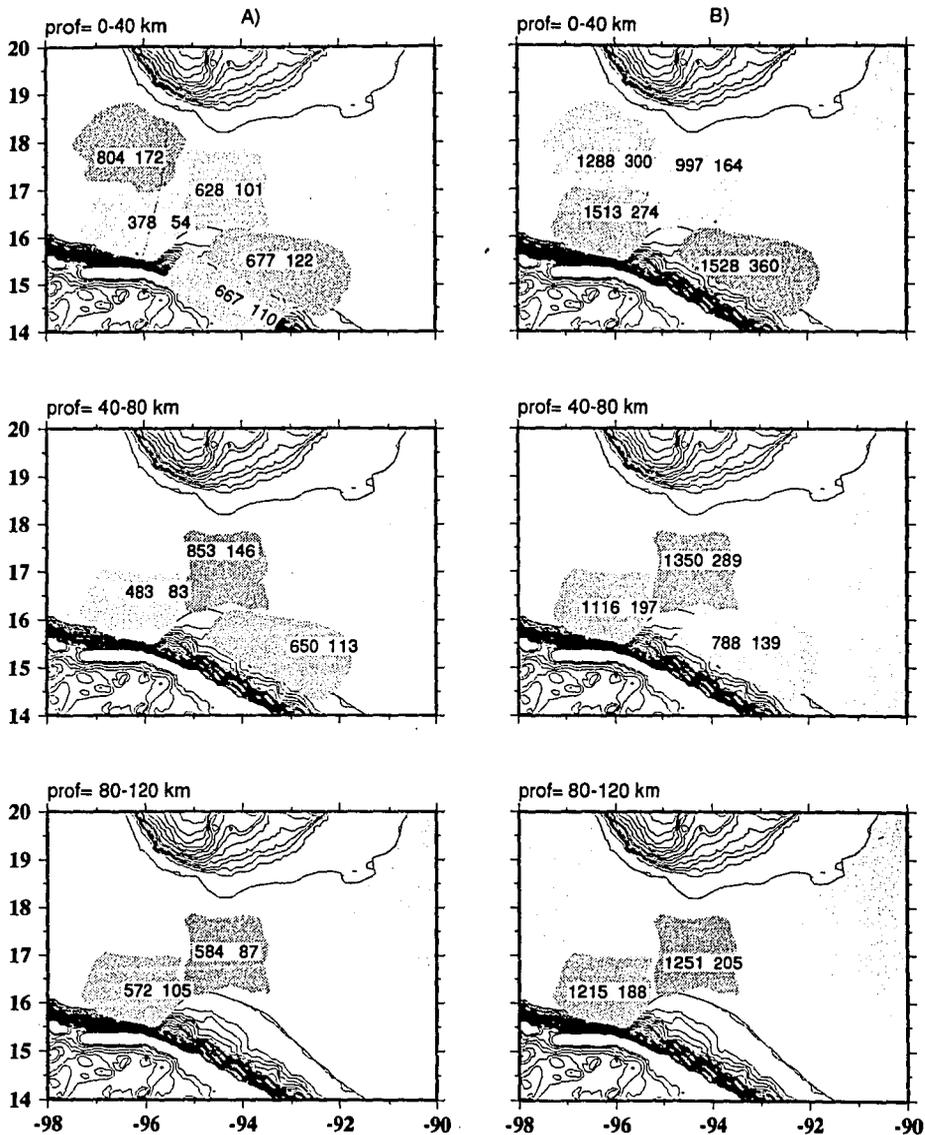


Fig. 5.2 Mapas del Istmo de Tehuantepec mostrando los valores promedio de Q_c y error a diferentes profundidades para las diferentes zonas elegidas a las frecuencias: A) $f=6$ Hz, B) $f=12$ Hz. Las zonas que no aparecen no tuvieron un número suficiente de valores de Q_c .

Chiapas y el norte de la Cuenca de Tehuantepec (Zona II) presentan un alto valor del factor Q_c . En cambio, la Cuenca Deltaica de Tabasco y la Cuenca Deltaica de Veracruz (Zona I) junto al extremo sur de la Provincia Zapoteca y la parte sur del terreno Xolapa (Zona IV) corresponden a una corteza con mayor heterogeneidad y fracturamiento, estos bloques corticales de diferente naturaleza limitados por fallas, se distinguen entre sí por diferencias en su estratigrafía, relaciones estructurales e historias tectónicas (Tolson y otros, 1993). Campa y Coney (1983) y Ortega-Gutiérrez y Corona-Esquivel (1986) han sugerido que el terreno Xolapa podría ser un terreno alóctono, compuesto por rocas metasedimentarias, metavolcánicas y plutónicas.

Para los siguientes rangos de profundidad debemos relacionarlo más bien con la convergencia entre las Placas de Cocos y Norteamericana. Para esto se representa gráficamente las variaciones de Q_c con la profundidad para las Zonas I a IV (Fig.5.3). En la Zona I se observa un incremento de Q_c en todas las frecuencias entre la profundidad de 40-80 km. El gradiente es mayor para las frecuencias de 6 y 12 Hz. Estas variaciones pueden estar correlacionadas con el cambio estructural determinado para esta zona a partir de los 40 km (Novelo-Casanova, 1980). En las Zonas II y III la variación de Q_c tiene un comportamiento opuesto al de la Zona I, aunque solamente se consideraron resultados hasta los 80 km de profundidad. En la zona IV los resultados para las frecuencias de 1.5 y 3 Hz mostraron comportamientos opuestos para la profundidad de 0-40 km. La falta de datos para las frecuencias de 6 y 12 Hz en la profundidad de 40-80 km, impide la definición del gradiente de Q_c , sin embargo, dicho gradiente parece tener un comportamiento uniforme y positivo para las tres primeras frecuencias. Si es así, entonces estaríamos observando una disminución de la atenuación (aumento de Q_c) con la profundidad en la Zona IV.

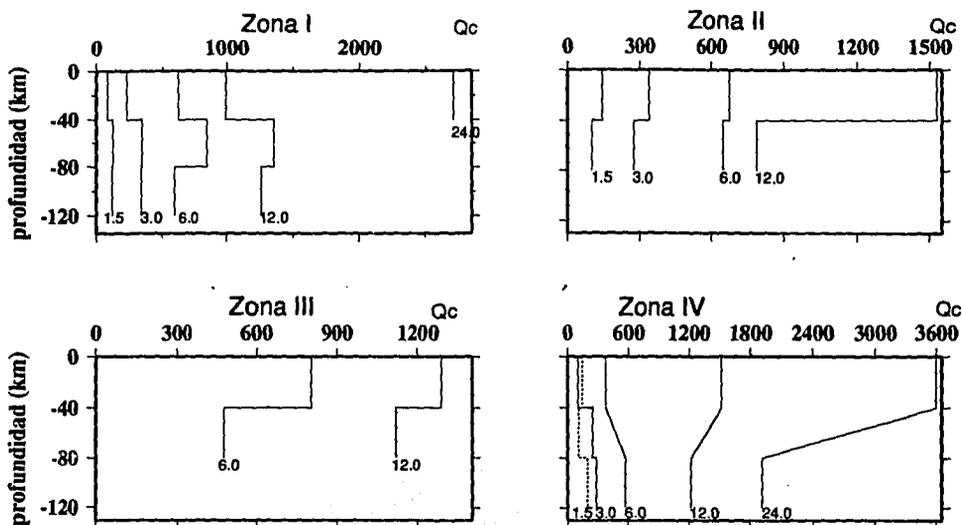


Fig. 5.3 Variaciones del factor de calidad Q_c con la profundidad para diferentes zonas descritas anteriormente. Para la Zona I se observa un aumento de Q_c para todas las frecuencias. En la zona 4 existe inconsistencia en los resultados de las frecuencias 1.5 y 3 Hz para una profundidad de 0-40 km.

Cuando se comparan las variaciones de Q_c , por profundidades, se observa que el grado de confianza es mayor al 80% en la Zona I al pasar del bloque 0-40 km al bloque 40-80 km, sólo para la frecuencia de 24 Hz el resultado fue inferior y por tanto estas cantidades no difieren en forma significativa. En la Zona II el grado de confianza fue superior al 80%, excepto para la frecuencia de 6 Hz. Para la Zona III se pudieron hacer dos comparaciones y éstas mostraron diferencias con un grado de confianza mayor al 85% (Tabla 5.2).

La diferencia, al pasar del bloque de 0-80 km al bloque 80-120 km, fue importante en las frecuencias de 6, 12 y 24 Hz, en los otros casos no fueron diferentes. Para las demás zonas no se pudo determinar el valor z por la carencia de datos.

Tabla 5.2

Valores z para las diferencias de Q_c determinadas cuando se compararon los bloques por profundidad.

zona	profundidad km	frecuencia (Hz)				
		1.5	3	6	12	24
I	0-40 y 40-80	5.86	5.08	4.90	4.11	-
I	40-80 y 80-120	0.75**	0.30	6.10	1.18	-
II	0-40 y 40-80	4.40	2.83	0.63	7.31	-
III	0-40 y 40-80	-	-	5.31	1.51	-
IV*	-	-	-	-	-	-

* No tuvieron suficientes datos para realizar el cálculo.

** Valores de $z < 1.28$ indican un grado de confianza inferior al 80% y por tanto, las cantidades no son estadísticamente diferentes.

Valdés y otros (1986) determinaron un espesor de 45 km para la corteza continental al oeste de la ciudad de Oaxaca. También determinaron que en el lado oceánico, el contacto de la litósfera-asténósfera (Turcotte, 1982) ocurre a una profundidad mínima de 35 km. Utilizando diferentes métodos de inversión, Pardo (1993) y Domínguez (1994), también encontraron características semejantes para esta zona de baja velocidad en la región del Estado de Guerrero. Pardo (1993) determinó la presencia de dos zonas sismogenéticas en la región de Oaxaca: la primera hasta los 50 km de profundidad y la segunda entre 80 y 150 km. Si además, consideramos una inclinación de 45° para la Placa de Cocos en el Istmo de Tehuantepec (Novelo-Casanova, 1980), entonces la segunda capa en la Zona I (Fig.5.3) representaría la zona asísmica de la placa subducida.

Utilizando los resultados obtenidos por celda se proyectaron los datos promediados de Q_c a la frecuencia de 6 Hz en el perfil AA' (Fig.3.2). En la Figura 5.4 se observa un valor casi constante, perpendicularmente a la Trinchera, de $Q_c \approx 600$ hasta los 20 km de profundidad, excepto para la distancia de 111.2 km desde la Trinchera, posición A (Fig.5.4), cuyo valor es de 751. Continuando a lo largo del perfil, se obtienen valores altos de Q_c indicando zonas de baja atenuación. A partir de los 80 km de profundidad se obtienen valores de $Q_c \approx 600$, el valor de $Q_c = 351$ está fuera de la media.

Varias teorías han sido vertidas para explicar las zonas de alta velocidad en un frente de arco en regiones de subducción, (1) la placa subducida es de mayor densidad (Turcotte, 1982), (2) zonas de alta velocidad ocurren en el frente de arco debido al emplazamiento de materiales de alta densidad a lo largo del contacto de falla (Abers, 1994), (3) alta densidad acumulada en la base de sistemas magmáticos antiguos (Abers, 1994). Estos efectos podrían explicar la presencia de zonas de baja atenuación (alto Q_c) en nuestros resultados de Q_c (Fig.5.3 y 5.4).

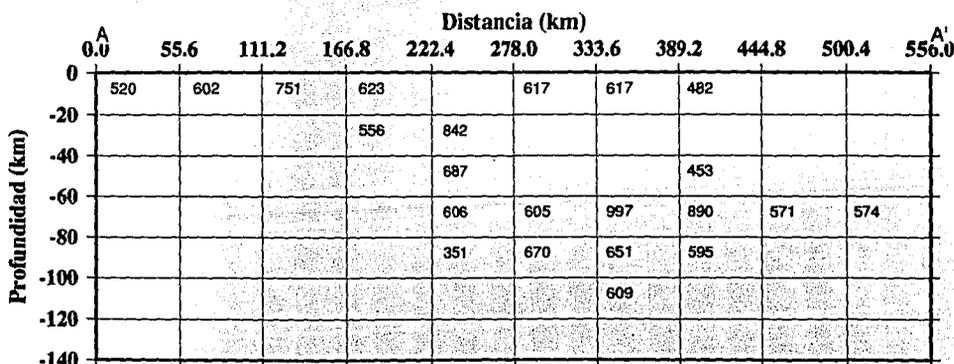


Fig.5.4 Distribución de Q_c con la profundidad para la frecuencia de 6 Hz y una ventana de 25-50 seg después del arribo de la onda S. El perfil AA' está señalado en la Figura 3.2 y los datos empleados corresponden a las Figuras 4.18-4.20. La distancia 0.0 (A) corresponde a la posición de la Trinchera.

5.2 Trayectoria Libre Media (TLM)

Estimamos la contribución relativa de la atenuación anelástica y la dispersión utilizando la ecuación (2.3). Tomando en cuenta que el coeficiente de turbidez (g) es igual al inverso de la trayectoria libre media (L); asumiendo una velocidad (v) de la onda S igual a 3.5 km/seg y considerando a Q_i como una constante igual a 1800, ya que el valor de Q_i permanece esencialmente igual entre 1-30 Hz; (Pulli, 1984), podemos determinar el valor de L de la ecuación:

$$1/Q_c(\omega) = 1/Q_i + 3.5/\omega L \quad (5.1)$$

La localización de las estaciones SCX y OXX nos permite comparar los valores de L para distintas trayectorias. Además, partiendo de los resultados de Q_c determinados en cada una de las estaciones podemos estimar la trayectoria libre media en diferentes direcciones. Fueron consideradas tres trayectorias distintas a partir de cada estación. De SCX se consideraron las distancias: 1) SCX-Trinchera; 2) SCX-Salina Cruz y 3) SCX-Matías Romero en la parte continental (Istmo Central). A partir de la estación OXX se consideraron las trayectorias: 1) OXX-Trinchera; 2) OXX-Villas Flores, Chis. y 3) OXX-Matías Romero (Istmo Central) (Fig.5.5).

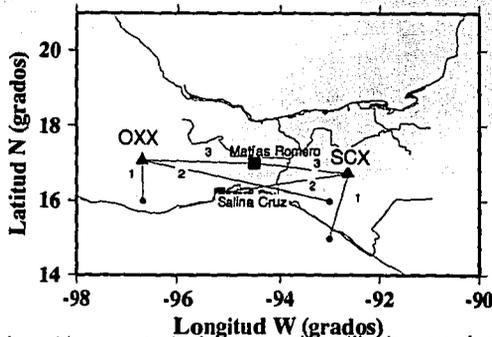


Fig. 5.5 a) Mapa de la región presentando las trayectorias utilizadas para determinar la TLM. Los triángulos indican las estaciones. Los cuadrados señalan las ciudades.

Los valores de la Trayectoria Libre Media (TLM) obtenidos para las diferentes trayectorias aparecen en la Tabla 5.3. Los cálculos se realizaron para un tiempo de 25-50 seg después de la onda S. El valor de la mínima trayectoria libre media (TLM2) se determinó asumiendo que Q_i es infinito. En este caso la dispersión es originada por el segundo término del lado derecho de la ecuación 2.3. Pulli (1984) obtuvo un valor de 71 km aplicando este método en New England, U.S.A.

Los resultados tienen algunas implicaciones interesantes. En primer lugar, a grandes profundidades dentro de la Tierra, la distancia promedio entre dispersores decrece con el tamaño de los dispersores. En el caso de TLM2 esto es evidente. Este resultado es consistente con la idea de que la Tierra es más homogénea con la profundidad. A profundidades someras la independencia de L con la frecuencia implica que dispersores de varios tamaños están presentes en la corteza. Por supuesto, que esta interpretación asume que el tamaño de los dispersores es proporcional a la longitud de onda de las ondas coda. En segundo lugar, los valores determinados indican una misma longitud de la TLM, en la dirección perpendicular a la zona de convergencia, de 66 y 73 km para 3 y 6 Hz, respectivamente y en realidad no difieren (Tabla 5.4). En cambio, la longitud L fue mayor en la estación OXX que en SCX, para trayectorias inclinadas respecto a dicha zona, el grado de confianza fue superior al 80%. Finalmente, para trayectorias paralelas a la dirección de la trinchera, la longitud (TLM) tuvo un comportamiento mayor en la estación SCX. Todo esto parece indicar que la distribución de heterogeneidades tiene direcciones preferenciales, por ejemplo, Millán (1989) encontró que las trayectorias paralelas a la zona de subducción eran ligeramente más atenuantes ($Q_0=113$) que para trayectorias perpendiculares en esta zona ($Q_0=142$). Estos resultados, para TLM1 y TLM2, mostraron una reducción mayor al 20%.

Tabla 5.3
Trayectorias Libre Media para diferentes direcciones y frecuencias medidas desde las estaciones SCX y OXX.

Estación	Punto límite	TLM 1 (km)		TLM 2 (km)	
		3 Hz	6 Hz	3 Hz	6 Hz
SCX	Trinchera	66 ± 17	75 ± 24	53 ± 15	54 ± 10
	Salina Cruz	60 ± 23	72 ± 36	49 ± 16	47 ± 19
	Matías Romero	70 ± 24	88 ± 23	56 ± 18	55 ± 10
OXX	Trinchera	66 ± 22	73 ± 26	54 ± 16	47 ± 19
	Villas Flores, Chis	82 ± 22	102 ± 30	65 ± 14	63 ± 11
	Matías Romero	66 ± 19	76 ± 23	52 ± 16	48 ± 15

TLM 1 = Trayectoria Libre Media considerando $Q_i = 1800$ en la ecuación (2.3)

TLM 2 = Trayectoria Libre Media considerando $Q_i = \text{infinito}$ en la ecuación (2.3)

Tabla 5.4
Valores z para los cambios observados en TLM para las diferentes trayectorias estudiadas.

Trayectorias	TLM1		TLM2	
	3 Hz	6 Hz	3 Hz	6Hz
OXX1-SCX1*	-	**	-	-
OXX2-SCX2	1.82	1.33	1.80	1.43
OXX-SCX	-	-1.44	-	-1.56

* Trayectoria según la Figura 5.5

** Las cantidades no difieren significativamente / o su grado de confianza fue menor de 80%.

Múltiples efectos son difíciles de estimar, sobre todo cuando la turbidez es grande ($> 0.01 \text{ km}^{-1}$) (Sato, 1978). Esto hace pensar que se debe realizar un estudio de dispersión múltiple para la zona. Las dimensiones calculadas para la trayectoria libre media (TLM) hace presumir que la liberación de energía, para los sismos de la zona, ocurre por más de una interacción de las ondas S (back-scattering).

5.3 Variaciones de Q_c con la profundidad, magnitud, distancia y el tiempo.

La variación promedio de Q_c (considerando todas las zonas estudiadas) con la profundidad para el área del Istmo de Tehuantepec es difusa hasta los 30 km (Fig.5.6a), sin embargo, a partir de esta profundidad tiene un crecimiento constante. Estudiando las réplicas del sismo de Oaxaca de 1978, Rebollar (1991) determinó una disminución de la atenuación con la profundidad a nivel de la corteza en esta zona. Este efecto ha sido estudiado por otros investigadores en otras regiones, entre ellos Roecker y otros (1982) estimaron la variación del factor de calidad con la profundidad para la región de Asia Central. Ellos determinaron que la inclusión de los efectos de superficie libre cambiaría la estimación de Q_c por un factor de 1.03 solamente; puesto que el factor obtenido en nuestro estudio ($\approx 1.5-2.8$) supera dicha estimación por superficie libre podemos considerar que los cambios observados pueden ser atribuidos a variaciones de Q_c con la profundidad. Raof y Nuttli (1984) encontraron que los valores de Q_c para sismos profundos no arrojaron resultados consistentes con los sismos superficiales.

Para medir la dependencia de Q_c con la magnitud, se utilizó la estación SCX (Fig.5.6b). No hay una clara dependencia de Q_c con la magnitud para los eventos con magnitud entre 4.3 y 5.2.

La dependencia de Q_c a 6 Hz con la distancia se realizó utilizando los datos de la estación SCX, para dos trayectorias distintas: 1) SCX-Trinchera en forma perpendicular, los resultados en esta dirección no responden a un patrón definido y las variaciones de Q_c con la distancia se pueden deber a efectos estructurales de la corteza al acercarse a la Trinchera Mesoamericana (Fig.5.6c); 2) SCX-Oaxaca, trayectoria paralela a la costa (Fig.5.6d), las variaciones de Q_c con la distancia, en esta dirección, indican dos zonas de alta atenuación, una hasta la distancia

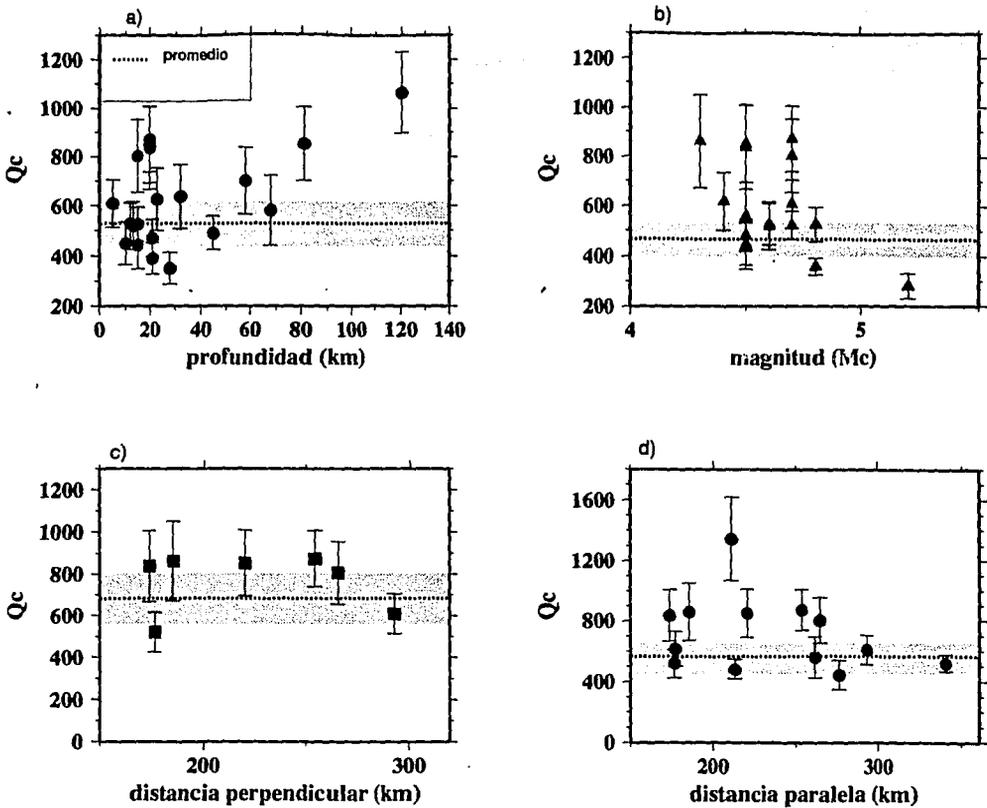


Fig.5.6 Dependencia de Q_c promedio con: a) la profundidad, b) la magnitud de los eventos, c) la distancia perpendicular a la Trinchera Mesoamericana (SCX-Trinchera), d) la distancia paralela a la Trinchera (SCX-Oaxaca). Los valores de Q_c se midieron con la estación SCX a la frecuencia de 6 Hz. La línea punteada indica el valor promedio obtenido considerando los errores en las estimaciones y la franja señala la incertidumbre de los datos.

dé 170 km y otra a partir de los 260 km. Estos resultados parecen tener una correspondencia directa con el sistema de fallas de desplazamiento lateral derecho entre Salina Cruz, Oaxaca y Macuspana, Tabasco (Fig.1.5). Analizando la dependencia de Q_c con la distancia en la Zona de Parkfield y utilizando diferentes frecuencias, Polanco (1995) determinó una mayor variación de Q_c para las frecuencias de 1.5 y 3 que las de 6 y 12 Hz.

Los resultados obtenidos, en las áreas donde ocurrieron los eventos del 10/09/1993 y 30/09/1993, sobre las variaciones de Q_c por un intervalo de un año con el tiempo, indican evidencias de cambios temporales del factor de calidad en la zona próxima a la trinchera en las frecuencias intermedias de 3 y 6 Hz (Fig.4.22). Chouet (1979) observó un decrecimiento monótono del factor Q_c para registros de magnitudes 0.9 a 3.3 ocurridos entre julio de 1973 y junio 1974 en la zona de Stone Canyon, California, siendo esta variaciones mayores a altas frecuencias. El decrecimiento de Q_c podría estar relacionado con el incremento de esfuerzo y el cierre de fracturas en el área de ruptura. Las variaciones temporales de Q_c han sido estudiadas para distintas regiones del mundo como una posible herramienta en la predicción sísmica (Gusev y Lemzikov, 1985).

5.4 Resultados de Q_0 y η .

Los valores de Q_0 y η fueron determinados para las diferentes zonas consideradas (Fig.5.7) utilizando los resultados de la Tabla 5.1. Q_0 es el valor de Q_c a la frecuencia de 1 Hz. Para el cálculo se utilizó la ecuación (2.38), estos valores aparecen en la Tabla 5.5. La región al sur de Chiapas, correspondiente a la zona II, presentó el valor más alto de $Q_0 = 173$ (prof. 40-80 km), mientras que la región al sur de Oaxaca tiene el valor inferior $Q_0 = 65$ (prof. 0-40 km).

Tabla 5.5

Valores de Q_0 y η para las Zonas Consideradas en este Estudio						
Zona	Prof. 0-40 km		Prof. 40-80 km		Prof. 80-120 km	
	Q_0	η	Q_0	η	Q_0	η
I	95	1.18	139	1.14	98	1.13
II	95	1.13	173	0.99	-	-
III*	-	-	-	-	-	-
IV	65	1.14	70	1.10	112	0.87
V	72	1.25	-	-	-	-
VI	-	-	-	-	-	-

* No se obtuvieron suficientes datos para esta zona.

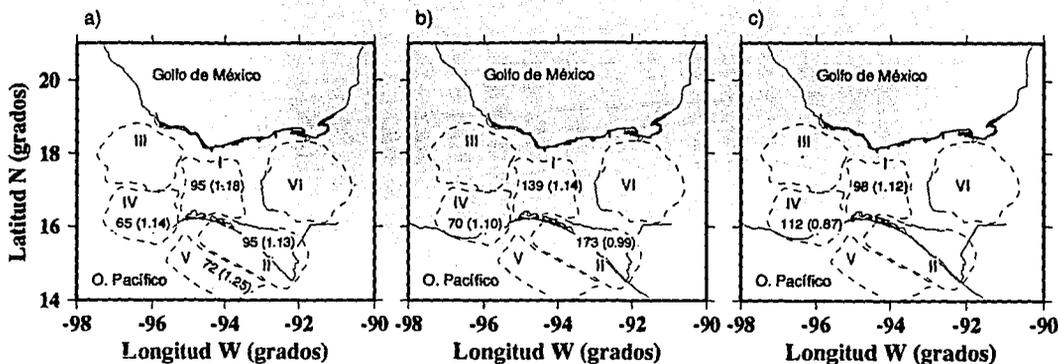


Fig.5.7 Distribución por zona del factor Q_0 para el Istmo de Tehuantepec a diferentes profundidades: a) 0-40, b) 40-80, c) 80-120 km. El valor entre paréntesis representa η (de la ecuación $Q_c = Q_0 \eta^1$). Los números romanos indican las zonas consideradas.

La Tabla 5.6 presenta los resultados de Q_0 y η para otras regiones del mundo (tomada de Steensma y Biswas, 1988; los últimos cuatro datos fueron agregados utilizando las referencias señaladas).

Tabla 5.6
Valores de η reportados en la literatura para diferentes regímenes tectónicos del mundo

Provincia Tectónica	η	Referencia
New England	0.4	Pulli (1984)
Central U.S.	0.20	Singh y Herrmann (1983)
Central California (Franciscan)	0.60	Phillips y otros (1987)
Central California (Salinian)	0.74	Phillips y otros (1987)
Sierra Nevada	1.16	Phillips y otros (1987)
Central Asia	0.5	Rautian y Khalturin (1978)
Central and eastern Kanto, Japan	0.6	Aki (1980)
Northeast Kanto, Japan	0.8	Aki (1980)
Adak Island area, Central Aleutian	1.05	Scherbaum y Kissinger (1985)
Friulli, Italy	1.1	Rovelli (1982)
Kamchatka	0.7-0.8	Abubakirov y Gusev (1990)
Petatlán, México	1.32-1.43	Novelo-Casanova y otros (1990)
Istmo de Tehuantepec, México	0.66-1.04	Chávez y otros (1993)
Istmo de Tehuantepec, México	0.87-1.25	Este estudio

Los valores de Q_0 y η obtenidos en este trabajo muestran una fuerte dependencia con la frecuencia de la forma Q_0^m (Tabla 5.3), también son consistentes con otros resultados determinados por varios investigadores para esta región $60 \leq Q_0 \leq 168$ y $0.66 \leq \eta \leq 1.04$ (Chávez y otros, 1993); $1.32 \leq \eta \leq 1.43$ (Novelo-Casanova y otros, 1990), $Q_0 = 130$ (Millán, 1989) y difieren ligeramente del resultado obtenido por Rodríguez y otros (1983).

Los valores de Q_0 y η son típicos de zonas de subducción geológicamente jóvenes. Los valores obtenidos pueden ser el fruto de una depresión del Istmo relacionada con el colapso de un bloque asumiendo una tendencia norte-sur para una falla normal durante el Pleistoceno (Barrier y otros, 1993) que debió limitar el Istmo hacia el oeste y cuya característica geomorfológica también corresponde al límite entre una placa con ángulo de buzamiento 26° al oeste y con otro ángulo mayor igual a 45° hacia el este. Estos resultados de Q_c para la zona pueden reflejar el estado de esfuerzos debido a la interacción de las placas tectónicas en la región. Castro y otros (1994) encontraron que la región de Oaxaca muestra una atenuación entre 3.7 y 5.0 veces mayor de lo esperado en relación con la región de Guerrero. Esto podría indicar el alto grado de fracturamiento de la Zona de Oaxaca en el momento que ellos realizaron el estudio.

La diferencia observada en el término η entre el valor reportado por Chávez y otros (1993) y nuestros resultados podría deberse a la posición y longitud de la ventana utilizada para determinar el factor Q_c .

CAPITULO 6

Conclusiones

En el presente estudio, la atenuación de las ondas coda en el Istmo de Tehuantepec fue determinada como una función de la frecuencia usando un filtro pasa-banda en los registros digitales de los sismos localizados en esta región entre enero/1989 y diciembre/1994. La aplicación de diferentes métodos en la determinación de la atenuación, favorece la obtención de un valor "real" de Q_c (Novelo-Casanova y Lee, 1991).

El análisis de los datos de Q_c para sismos localizados en el Istmo de Tehuantepec mostraron un incremento desde $Q_c=14$ (1.5Hz) hasta 7800 (24 Hz) y en este rango de frecuencia Q_c se puede expresar de la forma $Q_c = Q_0^\eta$ con valores en el intervalo $65 \leq Q_0 \leq 173$ y $0.87 \leq \eta \leq 1.25$.

La distribución espacial de Q_c varía con las características tectónicas de la región central del Istmo (Zona D). La variación de Q_c con la profundidad presenta una disminución (alta atenuación) al pasar del bloque II (40-80 km) al bloque III (80-120 km) para todas las frecuencias. Esta anomalía puede estar relacionada con la zona sismogénica, de alto gradiente térmico y gran anisotropía (Anderson, 1989), de profundidad intermedia, originada en el extremo de la placa subducida, debido al contacto entre las Placas de Cocos y Norteamericana, a la profundidad de 80-160 km. Otro comportamiento semejante del factor Q_c ha sido reportado por Mitchell (1991) en las Aleutianas. También, Mikumo y Kurita (1968), estudiando la distribución de Q para ondas P en el manto, observaron una zona de alta atenuación a esta profundidad. De tal modo que nuestros resultados confirman así la existencia de esta zona activa.

La estimación de Q_c , por simple dispersión, aumenta con el tiempo (t) desde el origen del sismo. Para esto se consideraron eventos de diferentes épocas y ventanas inferiores a los 30 segundos. Las evidencias, mostradas en nuestros resultados, pueden ser interpretadas como un real decrecimiento de la atenuación con la profundidad (Roecker y otros, 1982), excepto en la Zona Central a partir de los 80 km.

Si la atenuación anelástica y la dispersión se combinan, de acuerdo a la ecuación (2.3), obtenemos diferentes Trayectorias Libre Media (TLM) para el tiempo $t < 100$ seg. La dirección perpendicular a la trinchera, desde las estaciones OXX y SCX, favorece un valor uniforme de 66 y 74 km para TLM1 y TLM2, respectivamente. En la dirección diagonal a la Trinchera Mesoamericana, la trayectorias desde OXX tuvieron una longitud mayor que la estación SCX en un 30%. En cambio, para trayectorias aproximadamente paralelas a la Trinchera y en zona continental, en SCX, fue ligeramente mayor para ambos casos: $Q_i = 1800$ y $Q_i = \text{infinito}$.

Se observan evidencias de variaciones temporales del factor de calidad, determinado en la zona próxima a la trinchera, en las frecuencias intermedias de 3 y 6 Hz, para eventos que ocurrieron antes y después de los sismos del 10 y 30 de septiembre de 1993. En otras partes del mundo se ha conseguido determinar el tiempo de recurrencia de un sismo importante y las variaciones de la atenuación (Chouet, 1979; Gusev, 1985 y Sato, 1988).

Una dependencia del factor de calidad Q_c con la frecuencia se manifiesta en los resultados obtenidos en la estación SCX para eventos alrededor de ésta. Los resultados son más definidos a partir de los 40 km de profundidad. Las variaciones

observadas para Q_c con la distancia epicentral, en esta estación, parecen estar relacionadas con los sistemas de fallas de corrimiento lateral derecho en la zona central del Istmo de Tehuantepec (Fig.1.6 y 5.6d). Sin embargo, no existe una dependencia de Q_c con la magnitud para eventos de $M_c = 3.5-5.2$ (Fig.5.6b).

Se espera que los cambios observados en Q_c' , para esta región, inducirán a trabajar en la:

a) Relización de mediciones simultáneas de Q_c' , Q_s' y Q_p' , examinando la consistencia o inconsistencia entre sus cambios espaciales y temporales.

b) Observación de la coda mediante sismómetros de tres componentes, para esclarecer la partición de la energía en las diferentes componentes. Además, poder encontrar una correlación entre Q_c y el tipo de mecanismo focal, ya que para una misma zona se ha observado un cambio de estas características "mecanismo focal" con el tiempo (Dmowska y otros, 1988; Taylor, 1995). El desarrollo de las estaciones sismológicas de banda ancha permitirá avanzar en este tipo de investigaciones en la región del Istmo de Tehuantepec, México.

BIBLIOGRAFIA

- Abers, G., *Three-dimensional inversion of regional P and S arrival times in the east Aleutians and sources of subduction zone gravity highs*, J. Geophys. Res., v.99, 4395-4412, 1994.
- Abubakirov, I. y Gusev, A., *Estimation of scattering properties of lithosphere of Kamchatka based on Monte-Carlo simulation of record envelope of a near earthquake*, Phys. Earth Planet. Int., v. 64, 52-67, 1990.
- Aki, K., *Correlogram analyses of seismograms by means of a simple automatic computer*, J. Phys. Earth, v. 4, 71-79, 1956.
- Aki, K., *Analysis of the seismic coda of local earthquakes as scattered waves*, J. Geophys. Res., v. 71, 615-631, 1969.
- Aki, K. y Chouet, B., *Origin of coda waves: attenuation, and scattering effects*, J. Geophys. Res., v. 80, 3322-3342, 1975.
- Aki, K. y Richards, P. G., *Quantitative Seismology: Theory and Methods*, Cap. 5, W.H. Freeman and Co., 1980.
- Aki, K. y Tsujiura, M., *Correlation study of near earthquake waves*, Bull. Earthquake Res., v. 37, 207-232, 1959.
- Anderson, D., *Theory of the Earth*, cap. 1-3, Blackwell Scientific Publications, 1989.
- Barrier, E., Velasquillo, L., Chávez, M. y Gaulon, R., *Preliminary results of neotectonic field investigation in the Istmus of Tehuantepec (Mexico)*, Abs., Seism. Res. Lett., v. 64, N° 1, pp. 24, 1993.
- Bolt, B. A., *Estudio de los movimientos sísmicos fuertes del suelo en Física de la Tierra*, Cap. 1, 11-50, Ed. Univ. Complutense, Madrid, 1989.

- Burkart, B., *Neogene north America-Caribbean plate boundary across northern Central America -offset along the Polochic fault*, in Hilde, T.W.C. and Uyeda, S. eds., *Convergence and subduction: Tectonophysics*, v. 99, 251-270, 1983.
- Campa, M. y Coney, P., *Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico*, *Can. J. Earth Sci.*, v. 20, 1983.
- Carfantan, J., *Du système cordillerain nor-américain au domaine caraïbe*, Université de Savoie, Tesis de Doctorado de Estado, 1986.
- Castro, R., Munguía, L., Rebollar, C. y Acosta, J., *A comparative analysis of the quality factor Q for the regions of Guerrero and Oaxaca, México*, *Geof. Int.*, v. 33, 373-383, 1994.
- Chávez, M., Gaulon, R. y Padilla, G., *Coda Q in the Isthmus of Tehuantepec region Mexico*, *Abs., Seism. Soc. Am.*, pp. 24, 1993.
- Couet, B., *Temporal variation in the attenuation of earthquake coda near Stone Canyon, California*, *Geophys. Res. Lett.*, v. 6, 143-146, 1979.
- Cong, L. y Mitchell, B., *Frequency dependence of Crustal Q_B in stable and tectonically active regions*, *PAGEOPH*, v. 127, 581-605, 1988.
- Cook, K. L., Algermissen, S.T. and Costain, J. L., *The status of P_s converted waves in crustal studies*, *J. Geophys. Res.*, v. 67, 4769-4778, 1962.
- Couch, R. y S. Woodcock, *Gravity and structural of the continental margin of south west of México and northwestern Guatemala*, *J. Geophys. Res.*, v. 86, 1829-1840, 1981.
- Dainty, A., *A scattering model to explain seismic Q observations in the lithosphere between 1 and 30 Hz*, *Geophys. Res. Lett.*, v. 8, 1126-1128, 1981.
- Dainty, A. y Toksöz, M., *Seismic codas on the Earth and the Moon: a comparison*, *Phys. Earth Planet. Int.*, v.26, 250-260, 1981.

- De Cserna, Z., *Carta Geológica de México*, Instituto de Geología, U.N.A.M., 1992.
- Delgado-Argote, L. y Carballido-Sánchez, E., *Análisis tectónico del sistema transpresivo neogénico entre Macuspana, Tabasco y Puerto Angel, Oaxaca*, Revista Instituto de Geología, v. 9, 21-32, 1990.
- Del Pezzo, E., Allota, R. y Patané, D., *Dependence of Q_c (coda Q) on coda duration time interval: model or depth effect?*, Bull. Seism. Soc. Am., v. 80, 1028-1033, 1990.
- Dewey, J. W. y Suárez, G., *Seismotectonics of Middle America*, Geol. Soc. Am., *Decade Map*, v. 1, 308-321, 1991.
- Dmowska, R., Rice, J., Lovison, L. y Josell, D., *Stress transfer and seismic phenomena in coupled subduction zones during the earthquake cycle*, J. Geophys. Res., v. 93, 7869-7884, 1988.
- Domínguez, J., *Determinación de la estructura de velocidades en la costa de Guerrero utilizando sismicidad local*, Tesis de Maestría, Instituto de Geofísica, U.N.A.M., 1994.
- Figueroa, J., *Sismicidad en la República Mexicana*, Revista del Instituto de Ingeniería, N° 272, U.N.A.M., 1970.
- Figueroa, J., *Sismicidad en Chiapas*, Revista del Instituto de Ingeniería, N° 316, U.N.A.M., 1973.
- Fujita, K. y Kanamori, H., *Double seismic zones and stresses of intermediate depth earthquakes*, Geophys. J. Royal Astron. Soc., v. 66, 131-156, 1981.
- Gao, L., *Coda wave analysis for distinguishing attenuation due to isotropic scattering from attenuation due to absorption*, PAGEOPH, v. 122, 1-9, 1984.
- Gusev, A. y Lemzikov, V., *Properties of scattered elastic waves in the lithosphere of Kamchatka: parameters and temporal variations*, Tectonophysics, v.112, 137-153, 1985.

- Gutenberg, B. y Richter, C., *Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration*, Bull. Seism. Soc. Am., v. 46, 105-145, 1956.
- Guzmán-Speziale, M., Pennington, W. y Matumoto, T., *The triple junction of the North America, Cocos, and Caribbean plates: seismicity and tectonics*, Tectonics, v. 8, 981-997, 1989.
- Harvard, *Base de datos de mecanismos focales: CMT-Harvard, 1977 - 1995*.
- Hellweg, M., Spudich, P., Fletcher, J. B. y Baker, L. M., *Stability of coda Q in the region of Parkfield, California: view from the U.S. Geological Survey Parkfield dense seismograph array*, J. Geophys. Res., v. 100, 2089-2102, 1995.
- Herraiz, M. y Espinosa, A., *Coda waves: A review*, PAGEOPH, v. 125, 499-577, 1987.
- Isacks, B. y Molnar, P., *Distribution of stress in the descending lithosphere from a global survey of local-mechanism solutions of mantle earthquakes*, Rev. Geophys. Space Phys. v. 9, 103-174, 1971.
- Klitgord, K. D. y Mammerickx, J., *Northern east Pacific rise: magnetic anomaly and bathymetric framework*, J. Geophys. Res., v. 87, 6725-6750, 1982.
- Kostoglodov, V. y Bandy, W., *Seismotectonic constraints on the convergence rate between the Rivera and North American plates*, J. Geophys. Res., en revisión, septiembre 1995.
- Lee, W. y Valdés, C., *HYP071PC: A Personal computer version of the HYP071 earthquakes location program*, U.S. Geol. Surv. Open-File Report, 85-749, 1985.
- Lefevre, L. y MacNally, K., *Stress distribution and subduction of aseismic ridges in the Middle America subduction zone*, J. Geophys. Res., v. 90, 4495-4510, 1985.

- López-Ramos, E., *Geología de México*, Tres tomos, Ediciones México, 1979.
- Mammerickx, J., Naar, D.F., Tyce, R.L., *The Mathematician paleoplate*, J. Geophys. Res., v. 93, 3025-3040, 1988.
- Menard, H., *Marine Geology of the Pacific*, Editorial MacGraw-Hill, pp.271, New York, 1964.
- Menard, H., *Fracture zones and offsets of the east Pacific Rise*, J. Geophys. Res., v. 71, 682-685, 1966.
- Mikumo, T. y Kurita, T., *Q distribution for long-period P waves in the Mantle*, J. Phys. Earth, v. 16, 11-29, 1968.
- Mitchell, B., *Frequency dependene of QLg and its relation to crustal anelasticity in the Basin and Range Province*, Geophys. Res. Lett., v. 18, 621-624, 1991.
- Molnar, P. y Sykes, L., *Tectonics of the Caribbean and Middle America region from local mechanism and seismicity*, Geol. Soc. Am. Bull., v. 80, 1639-1684, 1969.
- Molnar, P., Freedman, D. y Slich, S., *Lengths of intermediate and deep seismic zones and temperatures in downgoing slabs of lithosphere*, Geophys. J. Res. Astron. Soc., v. 56, 41-54, 1979.
- Morán-Zenteno, D., *Geología de la República Mexicana*, Edición: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, y Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., 1985
- Morán-Zenteno, D., Köhler, H., Von Drach, V. y Schaaf, P., *The geological evolution of Xolapa Terrane, southern México, as inferred from Rb-Sr and Sm-Nd isotopic data*, Institut für Allgemeine und Angewandte Geologie, Germany, pp.40, 1990.
- Novelo-Casanova, D., *Sismicidad profunda en el Sur de México*, Tesis de Ingeniería, U.N.A.M., pp. 76, 1980.

- Novelo-Casanova, D. y Butler, R., *High-frequency seismic and scattering in the Northwestern Pacific*, Bull. Seism. Soc. Am., v. 76, 617-626, 1986.
- Novelo-Casanova, D., Berg, E. y Helsley, C., *S wave coda Q from 3 to 20 Hz. and P wave Q for foreshocks and aftershocks of the Petatlán Earthquake*, J. Geophys. Res., v. 95, 4787-4795, 1990.
- Novelo-Casanova, D. y Lee, W. H. K., *Comparison of techniques that use the single scattering model to compute the quality factor Q from coda waves*, PAGEOPH, v. 135, 77-89, 1991.
- Novelo-Casanova, D. y Monfret, T., *CODAQ program*, Comunicaciones Técnicas, Instituto de Geofísica, U.N.A.M., 1995.
- Núñez-Cornú, F., *Análisis digital de datos de sísmica de gran ángulo. Aplicación a zonas de convergencia océano-continente*, Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, pp. 179, 1987.
- Orozco y Berra, J., *Efemérides sísmicas Mexicanas*, Memorias de la Soc. Cient. "Antonio Alzate", 1887.
- Ortega-Gutiérrez, F., *Metamorphic belts of southern Mexico and their tectonic significance*, Geof. Int., v. 20, 203-217, 1981.
- Ortega-Gutiérrez, F. y Corona-Esquivel, R., *La Falla de Chacalapa: sutura crítica entre los terrenos Zapotecos y Chatino*, abs. Geos, pp. 11, 1986.
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gómez, J., Morán-Zenteno, D., Alaniz-Alvarez, S. y Nieto-Samaniego, A., *Carta geológica de México escala 1:2 000 000*, Edición: Instituto de Geología-U.N.A.M. y Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, 1992.
- Pacheco, J., Sykes, L. y Scholtz, C., *The nature of seismic coupling along plate boundaries of the subduction type*, J. Geophys. Res., v. 98, 14133-14159, 1993.

- Pardo, M., *Características sismotectónicas de la subducción de las placas de Rivera y Cocos en el sur de Mexico*, Tesis Doctoral en Geofísica, Instituto de Geofísica, U.N.A.M., pp. 129, 1993.
- Phillips, W. S. y Aki, K., *Site amplification of coda waves from local earthquakes in central California*, Bull. Seism. Soc. Am., v. 76, 627-647, 1986. .
- Polanco, E., *Análisis de la variación espacial de coda Q en el área de Parkfield, California*, Tesis de Maestría en Geofísica, Instituto de Geofísica, U.N.A.M., pp. 109, 1995.
- Ponce, L. y Suárez, G., *Regional seismicity and earthquake catalogues*, Report to the Laguna Verde Project, Instituto de Geofísica-U.N.A.M. y Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.), v. 2.1, 1986c
- Ponce, L., Goulon, R., Suárez, G., y Lomas, E., *Geometry and state of stress of the downgoing Cocos plate in the Isthmus of Tehuantepec, México*, Geophys. Res. Lett., v. 19, 773-776, 1992.
- Pulli, J., *Attenuation of coda waves in New England*, Bull. Seism. Soc. Am., v. 74, 1149-1166, 1984.
- Quintanar, L., *Variaciones espacio-temporales de la sismicidad en la región costera de Oaxaca de 1950-1982 ($m_b \geq 4.3$)*, Tesis de Maestría en Geofísica, U.N.A.M., 1985.
- Raouf, M., Nuttli, O., *Attenuation of high frequency earthquake waves in south America*, PAGEOPH, v. 122, 629-639, 1984/1985.
- Rautian, T. y Kalturín, V., *The use of the coda for determination of the earthquake source spectrum*, Bull. Seism. Soc. Am., v. 68, 923-948, 1978.
- Rebollar, C., *Estimates of shallow attenuation and apparent stress from aftershocks of the Oaxaca earthquake of 1978*, Bull. Seism. Soc. Am., v. 81, 99-108, 1991.

- Rodríguez, M., Havskov, J. y Singh, S. K., *Q from coda waves near Petatlán, Guerrero, Mexico*, Bull. Seism. Soc. Am., v. 73, 321-326, 1983.
- Roecker, S., Tucker, B., King, J. y Hatzfeld, D., *Estimate of Q in central Asia as a function of frequency and depth using the coda of locally recorded earthquakes*, Bull. Seism. Soc. Am., v. 72, 129-149, 1982.
- Sato, H., *Energy propagation including scattering effects single isotropic scattering approximation*, J. Phys. Earth, v. 25, 27-41, 1977.
- Sato, H., *Temporal change in scattering and attenuation associated with the earthquake occurrence-A review of recent studies on coda waves*, PAGEOPH, v.126, 465-497, 1988.
- Scheiner, J. y Landers, T., *Short-period coda of a local event at Lasa, seismic discrimination*, Semiannu. Tech. Sum., v. 42, 1974.
- Scherbaum, F. y Johnson, J., *Programmable interactive toolbox for seismological analysis (PITSA)*, Institut für allgemeine und angewandte Geophysik der Ludwvig Maximilians Universität, München, pp. 223, 1992.
- Singh, S. y Herrmann, R., *Regionalization of crustal coda Q in the continental United States*, J. Geophys. Res., v. 88, 527-538, 1983.
- Singh, S. K., Yamamoto, J., Havskov, J., Guzmán, M., Novelo, D. y Castro, R., *Seismic gap of Michoacán, México*, Geophys. Res. Lett., v. 7, 69-72, 1980.
- Singh, S. K., Astiz, L. y Havskov, J., *Seismic gaps and recurrence periods of large earthquakes along the Mexican subduction zone; a reexamination*, Bull. Seism. Soc. Am., v. 71, 827-843, 1981.
- Singh, S. K., Rodríguez, M. y Espíndola, J.M., *A catalog of shallow earthquakes of México from 1900 to 1981*, Bull. Seism. Soc. Am., v. 74, 269-279, 1984.
- Singh, S. K. y Pacheco, J., *Magnitude determination of Mexican earthquakes*, Geof. Int., v. 33, 189-198, 1994.

- Soloviev, S., *Seismicity of Sakhalin*, Bull. Earthquake Res., v. 43, 95-102, 1965.
- Spiegel, M., *Probabilidad y Estadística*, Cap. 6 y 7, McGraw Hill Book Co., 1975.
- Spudich, P. y Bostwick, T., *Studies of the seismic coda using an earthquake cluster as a deeply buried seismograph array*, J. Geophys. Res., v. 92, 1987.
- Steensma, G. y Biswas, N., *Frequency dependent characteristics of coda wave quality factor in central and southcentral Alaska*, PAGEOPH, v. 128, 295-307, 1988.
- Suárez, G. y Ponce, L., *Intraplate seismicity and crustal deformation in central México (abs)*, EOS, Transactions Am. Geophys. Union, v. 67, 1114, 1986.
- Suárez, G., Ponce, L., Mooser, F., Brogan, G. y Rietman, J., *Evaluation of seismotectonics and earthquake potencial*, Trabajo para la Comisión Federal de Electricidad-CFE, v. 2.0, 1-42, 1986.
- Suárez, G. y Monfret, T., *Geometry of subducted and depth of the seismogenic zone in the Guerrero Gap, México*, Nature, v. 345, 336-338, 1990.
- Taylor, J., *Statistical techniques for data analysis*, Cap. 5, Lewis Publishers, Inc., 1990.
- Taylor, M., Zheng, G., Rice, J., Stuart, W. y Dmowska, R., *Cyclic stressing and seismicity at strongly coupled subduction zones*, J. Geophys. Res., en revisión, octubre 1995.
- Tichelaar, B. y Ruff, L., *Depth of coupling along subduction zones*, J. Geophys. Res., v. 98, 2017-2037, 1993.
- Tolson, G., Solís-Pichardo, G., Morán, D., Victoria-Morales, A. y Hernández-Treviño, J., *Naturaleza petrográfica estructural de las rocas cristalinas en la zona de contacto entre los terrenos Xolapa y Oaxaca, región de Santa María Huatulco, Oaxaca*, Contribuciones a la tectónica del occidente de México, Monografía N° 1, Unión Geofísica Mexicana, 327-349, 1993.

- Tsumura, K., *Determination of earthquake magnitude from total duration of oscillation*, Bull. Earthquake Res., v. 45, 7-18, 1967.
- Turcotte, D. y Schubert, G., *Geodynamics: applications of continuum physics to geological problems*, John Wiley and Sons, Inc., pp. 449, 1982.
- Valdés, C., Mooney, W., Singh, S. K., Meyer, R., Lomnitz, C., Luetgert, C., Helsley, C., Lewis, B., y Mena, M., *Crustal structure of Oaxaca, México, from seismic refraction measurements*, Bull. Seism. Soc. Am., v.76, 547-563, 1986.
- Yi, T. y Novelo-Casanova, D., *Manual de operación y procesamiento de señales del sistema automático de detección sísmica*, Comunicaciones Técnicas, Instituto de Geofísica, U.N.A.M., 1982.
- Yi, T., *Control de una estación digital y diseño de un sistema de detección automática de la señal sísmica*, Tesis de Maestría, División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., 1989.

ANEXO 1

PARAMETROS SISMICOS DE LOS EVENTOS ANALIZADOS EN ESTE ESTUDIO.

Parámetros Sísmicos de los Eventos Analizados en este Estudio

Nº	Fecha	T. ORIG. ¹			LAT °N	LONG °W	PROF km	MAG ²	RMS seg
		h	m	s					
1	890109	0438	57.4	15.82	93.94	56	4.9	0.33	
2	890116	1802	51.3	17.04	94.30	50	4.2	0.73	
3	890123	0317	44.4	15.90	93.76	20	4.4	0.42	
4	890129	2044	36.6	18.04	93.55	13	4.2	0.58	
5	890202	0525	57.8	15.23	96.49	0	4.5	1.09	
6	890203	0025	10.4	17.12	94.18	6	4.4	0.51	
7	890301	0505	24.8	17.77	94.66	119	4.4	0.82	
8	890310	0408	49.3	15.98	93.06	120	4.4	1.50	
9	890320	0008	40.1	17.73	94.15	20	4.2	1.05	
10	890326	0442	36.3	15.73	97.02	77	4.7	0.78	
11	890328	0116	25.7	17.65	94.92	70	4.2	0.90	
12	890330	0307	25.6	16.20	93.35	124	4.9	0.64	
13	890406	1621	26.0	15.10	93.30	45	4.2	1.09	
14	890409	0250	5.1	16.69	96.69	50	4.0	0.95	
15	890425	1337	35.4	17.15	94.69	24	4.1	0.39	
16	890506	1432	51.3	15.35	95.47	13	4.8	1.16	
17	890506	1535	8.1	15.18	92.36	191	4.1	0.10	
18	890506	2337	46.7	15.80	95.51	9	4.7	1.02	
19	890508	1701	15.3	17.76	95.01	70	4.4	0.50	
20	890512	0730	5.6	16.62	94.12	120	4.5	0.62	
21	890514	0855	38.9	15.86	92.67	150	4.5	1.91	
22	890529	1808	41.8	19.04	96.78	100	4.2	1.08	
23	890529	1931	57.2	17.56	94.81	70	4.3	0.61	
24	890628	0347	8.0	17.25	95.05	90	4.4	1.08	
25	890629	1119	10.0	16.98	94.98	160	4.2	0.71	
26	890702	0919	2.4	17.46	94.75	4	4.4	0.52	
27	890705	1121	33.2	17.31	93.12	0	4.7	0.88	
28	890708	0024	33.6	17.52	94.62	60	4.1	1.07	
29	890717	1733	0.6	17.03	94.36	100	4.2	0.83	
30	890723	1911	14.2	15.18	93.03	75	5.0	0.70	
31	890803	1811	16.1	15.67	96.70	20	4.4	0.72	
32	890804	1643	34.8	18.36	94.41	23	4.5	0.49	
33	890809	0228	55.4	15.87	96.90	12	4.4	1.50	
34	890813	0009	32.9	15.93	97.97	0	4.2	1.73	
35	890815	0916	59.1	16.11	96.06	16	4.2	0.73	
36	890818	0237	36.0	17.89	95.10	10	4.4	0.30	
37	890822	1953	48.7	16.16	96.67	0	4.5	0.62	
38	890826	1420	34.3	17.25	94.93	10	4.5	0.25	
39	890903	1127	50.7	17.15	94.06	70	4.4	0.86	
40	890907	0519	46.7	15.91	95.91	10	4.7	0.78	

(continuación)

Parámetros Sísmicos de los Eventos Analizados en este Estudio

N°	Fecha	T. ORIG.			LAT °N	LONG °W	PROF km	MAG	RMS seg
		h	m	s					
41	890908	0502	6.4	17.15	95.05	32	4.4	1.08	
42	890914	0631	23.3	15.80	96.53	5	4.6	1.01	
43	890918	1132	12.6	17.89	94.38	10	4.5	0.55	
44	890920	1132	57.3	17.91	94.00	0	4.6	0.54	
45	890930	0041	38.1	15.22	93.41	15	4.4	0.75	
46	891002	0309	27.3	16.78	93.70	100	4.4	1.32	
47	891004	1650	21.4	16.13	94.43	15	4.5	1.26	
48	891007	0947	58.9	17.27	95.64	120	4.3	1.38	
49	891015	2125	56.1	15.04	93.65	10	4.5	1.34	
50	891104	0651	50.4	16.34	96.99	45	4.5	0.68	
51	891112	0835	24.8	17.08	95.12	59	4.5	1.21	
52	891123	0505	33.8	17.28	95.32	80	4.4	0.95	
53	891127	0923	29.5	16.33	96.41	85	4.5	0.88	
54	891203	1140	55.5	15.15	93.27	60	4.2	0.74	
55	891225	1504	27.7	16.57	96.84	47	4.6	0.41	
56	891230	0139	16.8	15.14	93.07	120	4.0	0.59	
57	891230	0855	40.4	15.65	92.45	133	4.1	0.94	
58	900131	2100	50.7	15.91	92.85	153	4.4	0.29	
59	900217	1738	7.5	15.14	97.71	5	4.5	0.39	
60	900319	2355	52.0	15.10	92.35	127	4.8	0.51	
61	900321	1847	23.0	15.42	94.91	20	4.7	0.98	
62	900323	1545	32.9	16.89	94.88	85	3.9	1.25	
63	900327	0003	39.1	15.85	94.33	115	4.3	1.52	
64	900331	2059	20.4	16.18	94.00	97	4.2	0.39	
65	900411	0902	6.9	15.26	93.51	34	3.9	0.87	
66	900413	1051	43.7	17.71	93.93	19	4.4	0.74	
67	900413	2105	38.6	15.82	97.95	15	4.6	1.37	
68	900416	2344	41.3	16.36	94.23	99	4.9	0.72	
69	900502	0413	51.1	17.27	94.85	104	4.4	0.77	
70	900504	0214	56.2	17.12	94.96	87	4.4	0.60	
71	900517	1951	21.4	16.13	95.35	40	4.6	0.90	
72	900625	1735	5.5	17.26	94.67	93	4.1	1.03	
73	900626	1948	30.7	16.71	94.66	87	4.0	0.79	
74	900627	1217	20.0	16.95	94.97	122	4.4	0.56	
75	900711	1037	43.9	17.21	95.18	89	4.4	1.05	
76	900717	1123	40.6	15.85	93.61	60	4.8	0.67	
77	900720	1828	37.4	16.06	92.72	80	4.9	0.53	
78	900731	0730	9.7	18.14	94.74	52	4.7	0.58	
79	900804	0406	26.5	17.06	95.20	84	4.0	0.48	
80	900806	1709	46.8	16.60	95.29	98	4.2	0.69	

(continuación)

Parámetros Sísmicos de los Eventos Analizados en este Estudio

Nº	Fecha	T.ORIG.			LAT °N	LONG °W	PROF km	MAG	RMS seg
		h	m	s					
81	900807	0556	12.0	17.68	94.95	102	4.4	0.81	
82	890809	0228	55.4	15.87	96.90	12	4.4	1.50	
83	900610	1123	33.5	15.68	94.24	25	4.9	0.60	
84	900621	1006	14.7	18.10	95.90	47	4.3	0.86	
85	900823	0040	50.5	16.29	94.32	90	4.1	0.54	
86	900828	1134	26.2	15.35	93.02	88	4.3	0.16	
87	900830	1114	20.1	17.05	95.03	102	4.3	0.41	
88	900901	0643	35.9	16.98	95.42	79	4.4	0.61	
89	900902	0320	57.8	16.66	94.17	120	4.3	1.15	
90	900902	0650	41.2	15.20	94.82	25	4.4	0.97	
91	900903	0341	48.6	16.96	95.02	67	4.4	0.52	
92	900905	2241	47.5	15.82	97.27	14	4.2	0.82	
93	900912	0747	39.5	15.34	94.02	20	4.5	0.43	
94	900915	1223	9.2	16.98	93.81	150	4.9	1.78	
95	900923	0354	22.6	15.04	93.62	17	4.1	0.46	
96	901005	2211	10.0	16.10	94.19	74	4.7	0.67	
97	901010	1845	7.7	17.65	94.75	133	4.5	0.44	
98	901013	0744	40.8	15.57	93.63	34	4.8	0.05	
99	901013	1623	32.2	15.06	97.99	20	4.9	0.47	
100	901020	0052	10.7	17.41	95.52	30	4.0	0.18	
101	901028	0749	3.7	17.02	93.87	142	4.4	0.40	
102	901122	1711	43.8	17.03	94.12	167	4.3	0.39	
103	901123	2017	31.4	17.83	95.38	82	4.2	0.37	
104	901207	0528	8.8	15.30	93.26	20	4.5	0.53	
105	901212	0019	37.5	16.01	97.52	13	4.5	1.37	
106	910102	0732	28.0	16.22	91.13	99	4.3	0.35	
107	910105	0823	23.4	15.83	97.88	3	4.6	0.47	
108	910108	1315	22.0	17.60	94.70	82	4.6	0.63	
109	910125	0227	47.8	15.35	95.88	5	4.0	0.19	
110	910125	0909	41.0	16.00	94.48	33	4.2	0.32	
111	910126	1432	21.5	17.56	94.82	98	3.9	0.33	
112	910127	2330	0.8	15.29	94.22	13	4.8	0.25	
113	910206	0725	53.2	16.58	94.80	48	4.5	0.91	
114	910218	0556	2.3	15.34	92.74	74	5.0	0.29	
115	910222	0817	3.7	17.10	91.28	71	4.6	0.16	
116	910225	2122	18.9	16.61	94.63	133	4.2	0.32	
117	910228	0557	22.0	19.19	95.38	20	4.2	0.30	
118	910228	0652	24.9	15.67	94.74	21	4.5	0.39	
119	910302	0804	31.5	16.62	95.13	132	4.1	0.34	
120	910304	2231	16.8	15.86	94.11	34	4.5	0.39	

(continuación)

Parámetros Sísmicos de los Eventos Analizados en este Estudio

Nº	Fecha	T.ORIG.			LAT °N	LONG °W	PROF km	MAG	RMS seg
		h	m	s					
121	910312	1216	30	3	17.42	94 96	114	4.4	0.79
122	910314	1158	3	5	16.68	94 24	120	4.1	0.51
123	910325	1139	39	5	16.50	97 70	5	4.2	0.81
124	910326	2032	28	9	17.32	95 29	84	4.3	0.42
125	910401	0853	38	5	15.50	93 84	5	4.3	0.60
126	910401	1443	21	1	16.54	94 35	112	4.8	0.40
127	910403	0700	53	1	15.47	93 70	13	4.5	0.34
128	910405	0735	55	6	16.00	95 68	0	4.3	0.43
129	910407	0939	36	2	16.01	97 62	58	5.0	0.36
130	910408	1713	15	2	15.37	94 64	15	4.6	0.50
131	910409	0907	58	8	15.72	92 14	175	4.9	2.04
132	910413	0405	31	1	16.80	94 34	121	4.2	0.73
133	910413	1236	7	8	16.77	95 25	15	4.3	0.54
134	910415	0719	24	1	17.79	94 88	96	4.5	0.72
135	910424	0051	9	2	16.73	95 03	110	4.3	0.57
136	910430	1519	31	1	16.50	92 64	5	4.3	0.57
137	910507	0915	20	2	16.03	92 67	70	4.0	0.19
138	910510	1651	33	2	17.73	94 94	93	4.6	0.63
139	910515	2253	38	9	16.42	94 68	90	4.2	0.93
140	910525	1523	54	7	16.31	94 35	83	4.0	0.93
141	910531	0654	19	4	17.06	93 93	165	4.1	0.59
142	910611	1639	53	2	15.64	94 58	30	4.4	0.31
143	910628	1011	7	3	15.28	94 79	20	4.5	0.56
144	910709	1146	21	4	15.33	94 74	20	4.8	0.92
145	910719	0038	21	5	18.16	95 66	82	4.3	0.54
146	910723	1825	32	8	16.95	94 15	20	4.3	0.30
147	910725	1525	31	9	17.83	95 08	14	5.2	0.52
148	910728	0535	17	4	16.20	95 03	61	4.9	0.53
149	910728	2156	35	3	16.38	94 32	68	4.6	0.95
150	910730	2032	59	6	16.27	94 20	32	4.6	0.86
151	910731	1240	29	9	16.03	97 41	14	4.2	0.68
152	910802	0535	24	7	17.12	95 13	90	4.2	0.46
153	910808	1712	12	2	15.11	94 21	26	4.7	0.42
154	910814	1216	24	9	17.58	94 29	80	4.3	0.58
155	910814	1506	12	5	16.95	94 82	128	4.0	0.19
156	910814	1634	16	2	17.63	93 61	60	4.2	0.13
157	910818	1550	49	8	15.81	97 85	20	4.7	0.67
158	910822	0153	52	3	17.13	95 21	56	4.8	0.47
159	910823	1532	18	6	15.16	92 52	142	4.5	0.61
160	910905	1831	21	2	15.02	94 40	15	4.5	0.46

(continuación)

Parámetros Sísmicos de los Eventos Analizados en este Estudio

N°	Fecha	T. ORIG.			LAT °N	LONG °W	PROF km	MAG	RMS seg
		h	m	s					
161	910910	1854	30.3	15.70	95.57	70	5.1	0.43	
162	910926	0846	43.1	16.38	97.97	81	4.7	0.24	
163	911004	2013	51.5	16.05	97.95	3	4.1	0.53	
164	911013	1255	13.1	17.57	95.59	8	4.5	0.78	
165	911021	1617	49.6	16.03	98.00	20	4.3	0.54	
166	911023	1653	25.2	17.93	97.66	60	4.2	0.66	
167	911026	1527	56.3	15.53	96.24	0	4.4	0.25	
168	911028	0410	39.9	15.98	94.38	32	4.2	0.50	
169	911126	0627	51.8	17.45	96.66	81	4.9	1.09	
170	911204	1738	40.5	16.03	95.69	5	4.5	0.59	
171	911214	1136	1.6	16.49	94.46	73	4.1	0.35	
172	911215	0638	12.3	17.70	93.64	132	4.5	0.33	
173	911217	0309	2.2	15.49	97.96	13	4.1	0.52	
174	911227	0214	28.7	16.99	94.33	104	4.4	0.16	
175	911229	2125	55.1	15.59	95.38	5	4.4	0.68	
176	920108	1804	42.1	15.29	95.38	7	4.9	0.28	
177	920113	0534	19.2	15.34	94.43	15	4.3	0.21	
178	920113	1056	26.7	16.36	94.73	91	4.4	0.41	
179	920115	0011	28.9	15.88	94.93	75	4.3	0.25	
180	920122	0404	53.7	16.54	94.62	70	4.1	0.74	
181	920125	0107	27.6	16.44	95.49	80	4.5	0.61	
182	920128	1553	5.0	16.59	94.26	110	4.9	0.57	
183	920129	1349	4.7	15.93	97.32	20	4.8	0.68	
184	920201	1828	50.5	18.09	94.71	79	4.1	0.27	
185	920205	0002	7.6	16.77	94.74	105	4.3	0.36	
186	920209	0400	19.8	15.99	96.26	20	4.7	0.31	
187	920219	0640	44.4	15.99	93.87	24	4.6	0.20	
188	920302	2140	31.2	16.00	96.86	37	4.1	0.32	
189	920314	1728	38.8	17.36	94.86	131	4.1	0.35	
190	920322	1907	52.6	16.81	94.06	142	4.5	0.24	
191	920328	0824	25.7	15.29	92.33	152	4.9	0.12	
192	920329	1233	32.2	15.44	92.46	169	4.2	0.40	
193	920414	2317	7.2	17.84	94.77	85	4.0	0.33	
194	920415	0745	47.7	15.45	94.60	15	4.2	0.84	
195	920423	1250	39.4	15.73	93.91	52	4.2	0.41	
196	920429	2001	10.9	15.35	93.13	28	4.6	0.24	
197	920517	1632	43.7	15.27	93.36	24	4.0	0.88	
198	920607	2154	49.6	17.46	95.08	71	4.3	0.54	
199	920616	0333	19.5	15.44	92.41	171	4.4	0.18	
200	920630	0913	9.6	16.87	94.45	87	4.6	0.46	

(continuación)

Parámetros Sísmicos de los Eventos Analizados en este Estudio

Nº	Fecha	T. ORIG.			LAT °N	LONG °W	PROF km	MAG	RMS seg
		h	m	s					
201	920706	0518	58.4	17.09	94.99	129	3.9	0.57	
202	920713	0757	34.4	15.83	94.03	13	4.3	0.23	
203	920714	0620	23.8	15.43	94.76	10	4.5	1.39	
204	920805	0135	2.4	15.89	93.57	80	4.3	0.40	
205	920811	1327	53.7	17.71	96.70	29	4.1	0.57	
206	920817	1201	48.1	17.73	94.67	99	4.6	0.46	
207	920916	0746	25.7	17.56	94.98	70	4.3	0.68	
208	920922	1918	34.1	17.22	94.06	80	4.3	0.13	
209	921026	2228	46.7	15.56	93.40	7	4.7	0.13	
210	921101	1556	6.5	15.18	92.96	77	4.7	0.19	
211	921112	1100	33.6	15.82	94.03	20	4.1	0.63	
212	921119	0650	59.6	15.32	93.40	17	4.6	0.12	
213	921216	0248	32.4	15.20	93.28	19	4.7	0.16	
214	930106	0342	40.8	14.09	94.09	15	4.8	0.34	
215	930107	0756	31.0	14.24	92.84	41	4.5	0.07	
216	930107	1408	11.9	14.11	94.03	8	4.8	0.01	
217	930107	2345	34.6	17.05	95.37	61	4.5	0.83	
218	930120	2239	38.0	15.99	94.16	79	4.9	0.49	
219	930218	1154	36.3	14.95	91.81	19	4.9	0.35	
220	930319	1237	6.4	15.89	93.73	183	4.3	0.02	
221	930320	1113	27.5	16.85	94.70	90	4.7	0.47	
222	930327	1749	2.8	13.93	92.27	80	4.8	1.02	
223	930406	0540	3.7	17.47	95.34	60	4.3	0.48	
224	930430	1148	59.0	19.35	96.22	23	4.1	0.50	
225	930519	1149	30.3	17.02	95.25	95	4.3	0.63	
226	930601	1743	26.7	17.22	94.51	60	4.0	0.19	
227	930619	1101	48.2	14.75	93.96	35	4.5	0.56	
228	930623	0103	36.9	17.45	94.13	100	4.2	0.38	
229	930623	0652	31.1	15.32	95.58	21	4.5	0.15	
230	930630	2224	40.6	15.54	93.99	89	4.3	1.12	
231	930706	0909	47.4	15.29	96.05	30	4.9	0.33	
232	930712	0434	56.8	14.71	93.18	0	4.6	0.64	
233	930712	1320	1.9	14.09	92.65	11	4.5	0.18	
234	930724	0117	24.4	17.44	94.28	133	4.5	0.58	
235	930727	1205	55.3	16.99	95.41	102	4.4	0.42	
236	930802	0801	30.2	16.77	94.62	88	4.8	0.59	
237	930803	0100	28.7	16.74	94.67	26	4.3	0.47	
238	930820	1812	31.3	17.25	95.22	107	4.5	0.73	
239	930904	0953	47.6	16.16	93.90	33	4.1	0.09	
240	930906	1909	18.5	17.50	94.18	59	4.3	0.76	

(continuación)

Parámetros Sísmicos de los Eventos Analizados en este Estudio

N°	Fecha	T. ORIG.			LAT °N	LONG °W	PROF km	MAG	RMS seg
		h	m	s					
241	930908	1139	37.6	15.74	93.84	71	4.3	0.24	
242	930912	1537	32.8	20.14	96.59	7	4.0	0.47	
243	930917	2307	43.7	16.92	96.40	95	4.4	1.13	
244	931002	0020	31.2	14.72	95.22	34	4.5	0.38	
245	931005	0312	46.7	15.48	95.17	15	4.7	0.53	
246	931014	0941	10.1	14.89	94.83	15	4.6	0.58	
247	931024	0345	13.4	16.06	96.62	57	4.5	0.57	
248	931106	1822	58.0	14.93	93.84	20	4.8	0.52	
249	931107	0836	49.7	14.73	93.17	25	4.6	0.14	
250	931117	1254	5.2	14.80	93.18	12	4.6	0.09	
251	931205	1417	54.9	15.42	93.45	14	4.2	0.35	
252	931217	1643	57.0	17.10	95.09	99	4.8	0.51	
253	931223	1544	28.9	16.74	94.27	69	4.2	0.16	
254	931226	0946	49.6	16.02	96.50	22	4.5	0.27	
255	940108	0305	31.8	14.12	93.24	15	4.7	0.39	
256	940121	1256	6.6	14.05	92.43	27	4.6	0.25	
257	940204	1834	0.7	17.02	95.15	80	4.6	0.64	
258	940222	2120	19.2	16.36	95.37	15	4.7	0.56	
259	940304	0201	2.5	17.57	94.57	99	4.1	0.56	
260	940324	0652	14.6	19.77	96.12	5	4.2	0.93	
261	940406	1514	7.3	15.63	93.23	76	4.5	0.42	
262	940411	0524	0.1	14.41	92.31	23	4.6	0.28	
263	940418	1223	31.1	15.79	93.73	60	4.0	0.28	
264	940503	1730	8.5	16.57	95.51	115	4.4	0.61	
265	940515	1106	33.0	14.19	93.30	5	4.7	0.58	
266	940516	0648	16.4	14.25	92.93	84	4.4	0.17	
267	940517	0714	5.3	16.05	96.45	15	4.5	0.50	
268	940524	1106	49.3	16.94	95.50	104	4.7	0.99	
269	940526	0351	59.9	15.19	92.75	71	4.2	0.32	
270	940603	0342	47.9	16.63	93.48	162	4.0	0.57	
271	940620	1013	3.1	14.71	94.69	81	4.9	0.54	
272	940624	0609	39.8	13.86	92.62	29	4.6	0.30	
273	940629	1422	23.4	13.84	91.95	22	4.8	0.56	
274	940810	0546	20.8	15.92	93.81	90	4.5	0.27	
275	940827	0541	4.9	17.24	95.19	116	4.5	0.81	
276	940829	0916	40.2	17.25	94.42	70	4.0	0.26	
277	941004	1658	24.3	15.39	93.76	32	4.8	0.25	
278	941019	0606	14.1	16.15	93.19	145	4.0	0.43	
279	941023	0239	18.5	17.39	94.36	144	4.3	0.66	
280	941028	1257	28.5	14.80	94.01	15	4.7	0.49	

(continuación)

Parámetros Sísmicos de los Eventos Analizados en este Estudio

N°	Fecha	T. ORIG.			LAT °N	LONG °W	PROF km	MAG	RMS seg
		h	m	s					
281	941028	2323	26.0	14.18	92.71	72	4.4	0.38	
282	941103	2031	29.3	14.50	94.21	10	4.5	0.43	
283	941123	1455	15.1	15.11	92.70	87	4.5	0.14	

¹ T. ORIG. = tiempo de GMT.

² MAG = magnitud calculada por M_c de acuerdo a: $M_c = -0.87 + 2\log(T) + 0.0035D$, donde T es la duración de la señal (seg), D es la distancia epicentral (km).

ANEXO 2

**EJEMPLOS DE ARCHIVOS DE ENTRADA Y SALIDA DEL PROGRAMA
PRINCIPAL CODAQ.**

Ejemplos de archivos de entrada y salida del Programa Principal Codaq

A) ARCHIVO "LISTA DE EVENTOS"

File(s) [Seismogram(s)] to be processed

91100120.SCX
 91100420.ACX
 91100420.III
 91100420.IIS
 91100420.IIT
 91100420.LVV
 91100420.OXX
 91101312.IIS
 91101312.LVV
 91101312.SCX
 91101312.TPX

B) Archivo "Tarjeta de Identificación"

CARDI: Event identification.

TS: S-wave travel time.

IY Number of heading lines at the beginning of the data

JY =0: indicates 16 bits binary data;=1: 32 bits;= 2:Ascii

NOTE: These parameters must be provided for each earthquake to be analysed

CARDI	TS	IY	JY
911004 201351.58 16.04 -97.95 ACX	5.34	1	2
911004 201351.58 16.04 -97.95 III	24.34	1	2
911004 201351.58 16.04 -97.95 LVV	51.58	1	2
911004 201351.58 16.04 -97.95 OXX	6.16	1	2
911013 125513.70 17.57 -95.61 IIS	45.60	1	2
911013 125513.70 17.57 -95.61 LVV	48.10	1	2
911013 125513.70 17.57 -95.61 SCX	66.60	1	2
911014 014240.15 17.71 -94.42 IIS	41.20	1	2
911014 014240.15 17.71 -94.42 OXX	24.13	1	2

ANEXO 2 (continuación)

C) Archivo "Salida #1" del Programa codaq

911004 201351.58 16.04 -97.95 OXX

S-TRAVEL TIME: 6.16 S RMS WINDOW: 2.00 S RMS INCREMENT: 1.00 S
 FFT WINDOW: 3.84 S FFT INCREMENT: 1.92 S N: 10000

F	Q	SIGQ	ATTQ	SIGAQ	I/C	SIGC	B	SIGB
1.5 L1:	576.4	205.2	.001735	.000618	.15672	.12248	.00710	.00253
L2:	389.9	95.4	.002565	.000628	.15215	.12945	.01050	.00257
S1:	679.3	229.0	.001472	.000496	-3.79858	.08653	.00603	.00203
S2:	327.0	43.7	.003058	.000409	-1.69871	.07438	.01252	.00167
AC:	319.5	41.6	.003129	.000408	.23463	.04178	.00640	.00083
3.0 L1:	858.0	143.6	.001165	.000195	.15214	.07731	.00955	.00160
L2:	641.0	66.4	.001560	.000162	.14803	.06668	.01278	.00132
S1:	552.4	52.1	.001810	.000171	-1.10535	.05960	.01483	.00140
S2:	529.7	54.8	.001888	.000195	-1.06876	.07104	.01546	.00160
AC:	519.9	53.1	.001924	.000196	.24377	.04021	.00787	.00080
6.0 L1:	954.9	92.5	.001047	.000101	.17301	.08045	.01715	.00166
L2:	954.3	108.4	.001048	.000119	.17299	.09817	.01716	.00195
S1:	935.8	67.3	.001069	.000077	-.83555	.05360	.01750	.00126
S2:	973.4	76.8	.001027	.000081	-.86088	.05900	.01683	.00133
AC:	956.7	75.3	.001045	.000082	.29457	.03372	.00856	.00067
12.0 L1:	1890.4	275.7	.000529	.000077	.23411	.12237	.01733	.00253
L2:	1901.9	312.5	.000526	.000086	.23451	.14250	.01722	.00283
S1:	877.0	590.3	.001140	.000767	-3.79361	.24311	.03735	.02514
S2:	458.4	336.6	.002182	.001602	-1.52316	.62220	.07147	.05249
AC:	442.6	314.5	.002259	.001606	.29343	.47038	.03699	.02629
24.0 L1:	12502.6	5585.6	.000080	.000036	.33145	.11333	.00524	.00234
L2:	10291.6	4350.1	.000097	.000041	.32463	.13550	.00637	.00269
S1:	QC IS NEGATIVE							
S2:	NOT ENOUGH DATA							
AC:	NOT ENOUGH DATA							

ANEXO 2 (continuación)

D) Archivo de "Salida #2"

911004	201351.58	16.04	-97.95	OXX	L1	1.5	576.4	205.2	.001735	.000618	.15672	.12248	.00710	.00253
911004	201351.58	16.04	-97.95	OXX	L2	1.5	389.9	95.4	.002565	.000628	.15215	.12945	.01050	.00257
911004	201351.58	16.04	-97.95	OXX	S1	1.5	679.3	229.0	.001472	.000496	-3.79858	.08653	.00603	.00203
911004	201351.58	16.04	-97.95	OXX	S2	1.5	327.0	43.7	.003058	.000409	-1.69871	.07438	.01252	.00167
911004	201351.58	16.04	-97.95	OXX	AC	1.5	319.5	41.6	.003129	.000408	.23463	.04178	.00640	.00083
911004	201351.58	16.04	-97.95	OXX	L1	3.0	858.0	143.6	.001165	.000195	.15214	.07731	.00955	.00160
911004	201351.58	16.04	-97.95	OXX	L2	3.0	641.0	66.4	.001560	.000162	.14803	.06668	.01278	.00132
911004	201351.58	16.04	-97.95	OXX	S1	3.0	552.4	52.1	.001810	.000171	-1.10535	.05960	.01483	.00140
911004	201351.58	16.04	-97.95	OXX	S2	3.0	529.7	54.8	.001888	.000195	-1.06873	.07104	.01546	.00160
911004	201351.58	16.04	-97.95	OXX	AC	3.0	519.9	53.1	.001924	.000196	.24377	.04021	.00787	.00080
911004	201351.58	16.04	-97.95	OXX	L1	6.0	954.9	92.5	.001047	.000101	.17301	.08045	.01715	.00166
911004	201351.58	16.04	-97.95	OXX	L2	6.0	954.3	108.4	.001048	.000119	.17299	.09817	.01716	.00195
911004	201351.58	16.04	-97.95	OXX	S1	6.0	935.8	67.3	.001069	.000077	-.83555	.05360	.01750	.00126
911004	201351.58	16.04	-97.95	OXX	S2	6.0	973.4	76.8	.001027	.000081	-.86088	.05900	.01683	.00133
911004	201351.58	16.04	-97.95	OXX	AC	6.0	956.7	75.3	.001045	.000082	.29457	.03372	.00856	.00067
911004	201351.58	16.04	-97.95	OXX	L1	12.0	1890.4	275.7	.000529	.000077	.23411	.12237	.01733	.00253
911004	201351.58	16.04	-97.95	OXX	L2	12.0	1901.9	312.5	.000526	.000086	.23451	.14250	.01722	.00283
911004	201351.58	16.04	-97.95	OXX	S1	12.0	877.0	590.3	.001140	.000767	-3.79361	.24311	.03735	.02514
911004	201351.58	16.04	-97.95	OXX	S2	12.0	458.4	336.6	.002182	.001602	-1.52316	.62220	.07147	.05249
911004	201351.58	16.04	-97.95	OXX	AC	12.0	442.6	314.5	.002259	.001606	.29343	.47038	.03699	.02629
911004	201351.58	16.04	-97.95	OXX	L1	24.0	12502.6	5585.6	.000080	.000036	.33145	.11333	.00524	.00234
911004	201351.58	16.04	-97.95	OXX	L2	24.0	10291.6	4350.1	.000097	.000041	.32463	.13550	.00637	.00269

E) Archivo de "Salida #1", considerando un intervalo de 8.1 seg.

911013 125513.70 17.57 -95.61 SCX

S-TRAVEL TIME: 66.60 S RMS WINDOW: 1.00 S RMS INCREMENT: .50 S

FFT WINDOW: 2.56 S FFT INCREMENT: 1.28 S N: 7500

CODA MEASURED FROM THE INTERVAL: 4.0 TO 12.1 S AFTER THE S-WAVE ARRIVAL

F Q SIGQ ATTQ SIGAQ I/C SIGC B SIGB

1.5 LF: NOT ENOUGH DATA

SF: 14.9 3.7 .067041 .016606 -1.21836 .56187 .27453 .06800

AF: 14.3 3.4 .070148 .016641 .07426 2.54096 .14357 .03406

3.0 LF: NOT ENOUGH DATA

SF: 42.7 10.0 .023416 .005495 1.63516 .37187 .19177 .04501

AF: 40.1 8.8 .024965 .005508 .09196 1.68210 .10219 .02255

6.0 LF: NOT ENOUGH DATA

SF: 74.8 12.0 .013376 .002140 -1.39643 .28965 .21910 .03506

AF: 70.7 10.6 .014151 .002120 .08564 1.29482 .11585 .01736

12.0 LF: NOT ENOUGH DATA

SF: QC IS NEGATIVE

AF: 3372.4 7455.9 .000297 .000656 .36290 .80081 .00485 .01073

24.0 LF: NOT ENOUGH DATA

SF: QC IS NEGATIVE

AF: 10632.9 20612.1 .000094 .000182 .33558 4.4539 .00308 .00597

ANEXO 3

**VALORES DE Q_c Y SU ERROR DETERMINADOS PARA UNA
VENTANA DE 25-50 SEGUNDOS.**

Valores de Q_c y su error (σ) determinados para la ventana de 25-50 seg.

Fecha	T.orig. h m	Lat °N	Long °W	STN	Frec Hz	Q_c	σ
890330	0307	16.16	93.42	OXX	1.5	95.8	14.6
890409	0250	16.70	96.70	OXX	1.5	86.4	12.0
890506	2337	15.74	95.52	OXX	1.5	151.5	35.4
890514	0855	15.80	92.82	SCX	1.5	103.3	18.2
890628	0347	17.25	95.05	SCX	1.5	144.2	35.1
890702	0919	17.47	94.76	OXX	1.5	73.0	8.1
890705	1121	17.33	93.08	TPX	1.5	132.1	24.6
890717	1733	17.05	94.36	LVV	1.5	150.1	24.7
890822	1953	16.06	96.68	OXX	1.5	332.3	72.4
890908	0502	17.16	95.05	OXX	1.5	142.3	33.5
890920	1132	17.93	93.98	SCX	1.5	104.1	21.0
891112	0835	17.08	95.12	EVV	1.5	88.7	19.9
891112	0835	17.08	95.12	LVV	1.5	37.8	6.4
891221	1045	15.37	94.65	OXX	1.5	181.9	33.5
891230	0855	15.62	92.58	TPX	1.5	45.9	6.9
900217	1738	15.11	97.73	OXX	1.5	160.5	21.9
900319	2355	15.10	92.27	TPX	1.5	107.5	18.7
900413	1051	17.71	93.91	OXX	1.5	36.7	2.9
900413	2105	15.82	97.94	OXX	1.5	169.7	42.0
900810	1123	15.69	94.24	OXX	1.5	212.3	43.8
900830	1114	17.10	95.03	LVV	1.5	137.8	32.1
900903	0341	16.97	95.02	EVV	1.5	113.2	26.2
900915	1223	17.00	93.80	OXX	1.5	232.7	52.4
901005	2211	16.09	94.18	OXX	1.5	122.8	23.0
910125	0227	15.36	95.89	OXX	1.5	81.6	13.2
910127	2330	15.27	94.22	SCX	1.5	199.7	44.0
910218	0556	15.34	92.76	SCX	1.5	167.0	39.7
910430	1519	16.50	92.64	TPX	1.5	107.1	24.4
910507	0915	16.03	92.67	TPX	1.5	84.6	9.0
910515	2253	16.41	94.69	OXX	1.5	151.3	33.5
910531	0654	17.05	93.94	OXX	1.5	164.3	33.1
910723	1825	16.95	94.15	OXX	1.5	67.4	7.6
910728	0535	16.19	95.05	SCX	1.5	85.0	11.6
910808	1712	15.10	94.22	SCX	1.5	116.3	26.3
911001	2050	15.01	94.85	SCX	1.5	103.8	18.7
911126	0627	17.44	96.66	SCX	1.5	57.9	8.0
920115	0011	15.88	94.93	TPX	1.5	90.3	9.9
920128	1553	16.64	94.28	SCX	1.5	74.1	10.8
920205	0002	16.77	94.74	LVV	1.5	121.2	26.1
920414	2317	17.82	94.78	OXX	1.5	187.0	26.5
920429	2001	15.32	93.16	SCX	1.5	306.9	76.3
920719	1125	15.86	94.31	OXX	1.5	87.3	10.8
920811	1327	17.70	96.71	OXX	1.5	213.2	50.1
920922	1918	17.23	94.06	OXX	1.5	135.3	30.0
930327	1749	14.01	92.27	SCX	1.5	162.9	38.0
930516	1836	17.75	93.80	OXX	1.5	84.3	14.0
930623	0103	17.42	94.16	OXX	1.5	127.9	27.7
930630	2224	15.56	94.01	OXX	1.5	69.9	10.6
930630	2224	15.56	94.01	TPX	1.5	54.8	8.0
930712	0434	14.46	93.39	SCX	1.5	146.3	32.3

(continuación)

Valores de Q_c y su error (σ) determinados para la ventana de 25-50 seg.

Fecha	T.orig. h m	Lat °N	Long °W	STN	Frec Hz	Q_c	σ
930712	1320	14.14	92.60	SCX	1.5	117.4	16.5
930724	0117	17.44	94.27	TPX	1.5	65.8	12.9
930803	0100	16.74	94.67	OXX	1.5	95.4	18.0
930904	0953	16.64	93.81	OXX	1.5	92.5	15.4
930904	0953	16.64	93.81	TPX	1.5	114.5	19.9
931014	0941	14.90	94.81	SCX	1.5	96.1	14.0
931106	1822	14.96	93.83	SCX	1.5	83.0	11.5
940304	0201	17.57	94.57	OXX	1.5	227.7	48.0
940324	0652	19.77	96.12	OXX	1.5	84.2	12.9
940406	1514	15.63	93.23	OXX	1.5	66.8	10.8
940406	1514	15.63	93.23	SCX	1.5	110.2	26.8
940411	0524	14.41	92.31	SCX	1.5	235.2	45.0
940418	1223	15.79	93.73	OXX	1.5	96.8	15.4
940503	1730	16.57	95.51	SCX	1.5	309.7	71.4
940516	0648	14.25	92.93	SCX	1.5	149.9	29.5
940603	0342	16.63	93.48	OXX	1.5	100.6	15.5
940624	0609	13.86	92.62	SCX	1.5	117.5	16.9
941023	0239	17.39	94.36	TPX	1.5	47.3	5.8
941028	1257	14.80	94.01	SCX	1.5	146.3	34.2
941028	2323	14.18	92.71	SCX	1.5	199.2	37.7
941103	2031	14.50	94.21	SCX	1.5	237.9	53.1
890109	0438	15.81	93.97	EVV	3.0	428.3	96.9
890330	0307	16.16	93.42	OXX	3.0	399.8	70.6
890330	0307	16.16	93.42	TPX	3.0	265.9	49.5
890506	2337	15.74	95.52	SCX	3.0	381.7	70.3
890512	0730	16.60	94.12	SCX	3.0	290.9	70.6
890514	0855	15.80	92.82	SCX	3.0	807.8	161.6
890529	1931	17.54	94.83	LVV	3.0	211.1	30.3
890604	0407	15.38	95.53	OXX	3.0	273.8	60.0
890628	0347	17.25	95.05	SCX	3.0	384.8	54.6
890702	0919	17.47	94.76	OXX	3.0	137.3	15.1
890815	0916	16.14	96.03	OXX	3.0	360.0	51.2
890822	1953	16.06	96.68	OXX	3.0	358.3	44.7
890903	1127	17.14	94.06	SCX	3.0	284.3	58.6
890908	0502	17.16	95.05	EVV	3.0	103.7	11.3
890914	0631	15.83	96.51	OXX	3.0	255.7	41.9
890918	1132	17.88	94.40	OXX	3.0	200.3	31.1
890930	0041	15.24	93.34	SCX	3.0	210.9	34.3
891004	1650	16.11	94.44	OXX	3.0	296.8	51.0
891104	0651	16.34	96.97	OXX	3.0	136.3	23.3
891112	0835	17.08	95.12	EVV	3.0	212.6	43.5
891112	0835	17.08	95.12	OXX	3.0	364.1	72.6
891221	1045	15.37	94.65	OXX	3.0	288.6	69.0
900106	0511	15.24	91.86	TPX	3.0	131.4	9.4
900313	0457	15.55	92.54	TPX	3.0	318.9	69.8
900319	2355	15.10	92.27	SCX	3.0	248.5	41.4
900319	2355	15.10	92.27	TPX	3.0	78.6	6.9
900413	1051	17.71	93.91	OXX	3.0	75.1	5.9
900504	0214	17.10	94.97	EVV	3.0	205.5	32.2
900517	1951	16.13	95.35	SCX	3.0	157.6	22.0

(continuación)

Valores de Q_c y su error (σ) determinados para la ventana de 25-50 seg.

Fecha	T. orig. h m	Lat °N	Long °W	STN	Frec Hz	Q_c	σ
900627	1217	16.96	94.96	EVV	3.0	198.9	33.3
900711	1037	17.22	95.20	EVV	3.0	357.4	74.7
900717	1123	15.80	93.68	OXX	3.0	390.5	54.8
900720	1828	15.97	92.80	TPX	3.0	209.0	39.1
900828	1134	15.36	93.00	PSM	3.0	354.1	84.8
900903	0341	16.97	95.02	EVV	3.0	276.8	45.2
900915	1223	17.00	93.80	EVV	3.0	280.7	66.1
900915	1223	17.00	93.80	TPX	3.0	300.7	70.7
901005	2211	16.09	94.18	EVV	3.0	367.7	81.1
901005	2211	16.09	94.18	OXX	3.0	158.5	17.3
901005	2211	16.09	94.18	TPX	3.0	205.6	48.3
901013	0744	15.55	93.70	SCX	3.0	287.8	53.4
901028	0749	17.01	93.87	OXX	3.0	188.5	27.0
901123	2017	17.83	95.38	LVV	3.0	352.0	60.4
910105	0823	15.81	97.88	OXX	3.0	149.4	13.0
910108	1315	17.59	94.71	OXX	3.0	136.6	21.3
910125	0909	16.01	94.48	OXX	3.0	215.1	27.0
910126	1432	17.61	94.83	OXX	3.0	381.1	92.3
910127	2330	15.27	94.22	SCX	3.0	265.6	56.9
910206	0725	16.57	94.80	TPX	3.0	279.0	69.1
910218	0556	15.34	92.76	SCX	3.0	223.1	45.8
910228	0557	19.19	95.37	OXX	3.0	189.7	29.9
910228	0652	15.67	94.74	SCX	3.0	707.9	133.9
910304	2231	15.86	94.11	SCX	3.0	211.1	33.9
910314	1158	16.77	94.25	OXX	3.0	236.2	26.5
910408	1713	15.38	94.63	SCX	3.0	183.2	28.6
910409	0907	15.68	92.19	SCX	3.0	229.3	50.4
910415	0719	17.82	94.88	SCX	3.0	741.9	153.7
910507	0915	16.03	92.67	TPX	3.0	243.8	33.1
910510	1217	15.55	92.81	SCX	3.0	177.8	25.9
910515	2253	16.41	94.69	OXX	3.0	372.4	80.7
910525	1523	16.33	94.36	OXX	3.0	211.8	35.3
910531	0654	17.05	93.94	OXX	3.0	271.7	31.7
910611	1639	15.64	94.65	OXX	3.0	325.7	70.8
910709	1146	15.33	94.72	SCX	3.0	312.3	48.2
910723	1825	16.95	94.15	OXX	3.0	168.5	23.1
910725	1525	17.81	95.09	SCX	3.0	138.3	23.7
910728	0535	16.19	95.05	SCX	3.0	136.5	20.7
910728	2156	16.37	94.33	LVV	3.0	133.1	26.3
910730	2032	16.29	94.22	SCX	3.0	689.3	146.8
910808	1712	15.10	94.22	SCX	3.0	561.9	76.3
910814	1216	17.58	94.29	OXX	3.0	404.9	64.1
910905	1831	15.01	94.41	OXX	3.0	391.2	81.6
910905	1831	15.01	94.41	SCX	3.0	329.0	76.5
910910	1854	15.70	95.56	SCX	3.0	179.9	33.3
911001	2050	15.01	94.85	SCX	3.0	226.9	54.2
911126	0627	17.44	96.66	SCX	3.0	109.9	10.1
911227	0214	17.01	94.34	LVV	3.0	334.4	78.8
920115	0011	15.88	94.93	SCX	3.0	240.2	58.8
920128	1553	16.64	94.28	SCX	3.0	172.5	21.2

(continuación)

Valores de Q_c y su error (σ) determinados para la ventana de 25-50 seg.

Fecha	T. orig. h m	Lat °N	Long °W	STN	Frec Hz	Q_c	σ
920219	0640	15.98	93.87	OXX	3.0	478.4	101.6
920314	1728	17.37	94.86	OXX	3.0	186.2	30.2
920414	2317	17.82	94.78	OXX	3.0	291.1	29.7
920415	0745	15.45	94.60	OXX	3.0	194.6	27.7
920429	2001	15.32	93.16	SCX	3.0	454.0	54.5
920607	2154	17.41	95.10	LVV	3.0	265.6	55.4
920719	1125	15.86	94.31	OXX	3.0	246.0	38.9
920719	1125	15.86	94.31	TPX	3.0	408.5	100.1
920805	0135	15.90	93.59	OXX	3.0	390.4	75.7
920916	0746	17.40	95.02	OXX	3.0	480.8	106.1
920922	1918	17.23	94.06	OXX	3.0	483.2	80.6
921112	1100	15.81	94.03	OXX	3.0	607.3	95.5
921216	0248	15.20	93.27	SCX	3.0	328.7	71.3
930106	0342	14.10	94.10	SCX	3.0	335.7	63.6
930107	1408	14.17	94.04	SCX	3.0	166.5	29.8
930313	0518	16.21	95.06	SCX	3.0	309.6	69.2
930327	1749	14.01	92.27	SCX	3.0	286.9	37.9
930328	1229	15.80	96.87	OXX	3.0	351.1	80.4
930406	0540	17.48	95.34	SCX	3.0	330.7	56.5
930430	1148	19.35	96.22	OXX	3.0	220.5	30.4
930516	1836	17.75	93.80	OXX	3.0	418.0	40.4
930623	0103	17.42	94.16	OXX	3.0	1015.5	217.7
930630	2224	15.56	94.01	OXX	3.0	282.2	35.2
930712	1320	14.14	92.60	SCX	3.0	236.8	55.1
930803	0100	16.74	94.67	OXX	3.0	681.4	157.8
930820	1812	17.28	95.21	SCX	3.0	273.4	56.3
930904	0953	16.64	93.81	OXX	3.0	430.2	58.2
931010	2108	14.80	95.11	SCX	3.0	476.0	109.4
931014	0941	14.90	94.81	SCX	3.0	228.7	39.9
931107	0836	14.69	93.10	SCX	3.0	213.0	34.6
931205	1417	15.42	93.45	OXX	3.0	278.5	58.2
931217	1643	17.07	95.08	LVV	3.0	231.9	49.1
931223	1544	16.74	94.26	OXX	3.0	282.7	37.9
940108	0305	14.12	93.24	SCX	3.0	235.9	47.1
940204	1834	17.02	95.15	SCX	3.0	369.8	54.1
940304	0201	17.57	94.57	OXX	3.0	584.0	95.9
940324	0652	19.77	96.12	OXX	3.0	258.9	44.9
940418	1223	15.79	93.73	OXX	3.0	230.3	34.3
940503	1730	16.57	95.51	LVV	3.0	344.3	69.1
940503	1730	16.57	95.51	SCX	3.0	502.3	83.7
940515	1106	14.19	93.30	SCX	3.0	286.1	36.0
940516	0648	14.25	92.93	SCX	3.0	351.3	44.6
940524	1106	16.94	95.50	LVV	3.0	261.7	60.7
940524	1106	16.94	95.50	SCX	3.0	349.6	76.5
940603	0342	16.63	93.48	OXX	3.0	297.3	51.9
940620	1013	14.71	94.69	SCX	3.0	213.5	30.8
940624	0609	13.86	92.62	SCX	3.0	371.5	69.9
940629	1422	13.84	91.95	SCX	3.0	301.1	62.0
940827	0541	17.24	95.19	SCX	3.0	509.3	69.0
941023	0239	17.39	94.36	TPX	3.0	147.5	19.3

(continuación)

Valores de Q_c y su error (σ) determinados para la ventana de 25-50 seg.

Fecha	T.orig. h m	Lat °N	Long °W	STN	Frec Hz	Q_c	σ
941028	1257	14.80	94.01	SCX	3.0	237.8	32.1
941028	2323	14.18	92.71	SCX	3.0	519.7	86.6
941103	2031	14.50	94.21	SCX	3.0	841.5	131.4
890109	0438	15.81	93.97	EVV	6.0	513.2	103.2
890109	0438	15.81	93.97	OXX	6.0	639.4	108.2
890203	0025	17.11	94.18	SCX	6.0	617.9	115.1
890320	0008	17.74	94.14	OXX	6.0	315.6	56.7
890406	1621	15.10	93.28	SCX	6.0	581.3	141.6
890409	0250	16.70	96.70	OXX	6.0	376.0	48.6
890506	1432	15.26	95.51	LVV	6.0	860.1	178.5
890506	2337	15.74	95.52	SCX	6.0	523.0	55.8
890508	1701	17.77	95.01	SCX	6.0	1273.4	202.5
890512	0730	16.60	94.12	SCX	6.0	1014.8	136.4
890514	0855	15.80	92.82	SCX	6.0	463.4	71.3
890529	1931	17.54	94.83	LVV	6.0	776.0	136.5
890628	0347	17.25	95.05	LVV	6.0	473.5	81.7
890628	0347	17.25	95.05	OXX	6.0	401.2	62.2
890628	0347	17.25	95.05	SCX	6.0	458.7	59.1
890702	0919	17.47	94.76	LVV	6.0	617.3	140.0
890702	0919	17.47	94.76	OXX	6.0	300.6	23.7
890723	1911	15.19	93.05	EVV	6.0	527.8	95.9
890803	1811	15.58	96.65	OXX	6.0	299.8	58.6
890813	0009	15.87	97.97	OXX	6.0	265.2	36.3
890815	0916	16.14	96.03	OXX	6.0	1107.9	191.2
890818	0237	17.89	95.10	OXX	6.0	867.2	126.7
890822	1953	16.06	96.68	OXX	6.0	1178.3	242.7
890826	1420	17.25	94.93	LVV	6.0	474.8	70.6
890826	1420	17.25	94.93	SCX	6.0	559.8	134.8
890903	1127	17.14	94.06	LVV	6.0	1039.8	192.3
890908	0502	17.16	95.05	EVV	6.0	294.8	41.6
890908	0502	17.16	95.05	LVV	6.0	1284.7	307.1
890918	1132	17.88	94.40	OXX	6.0	482.0	68.7
891004	1650	16.11	94.44	OXX	6.0	623.7	146.3
891004	1650	16.11	94.44	SCX	6.0	483.7	64.6
891104	0651	16.34	96.97	OXX	6.0	386.4	53.3
891112	0835	17.08	95.12	LVV	6.0	554.7	93.5
891112	0835	17.08	95.12	OXX	6.0	901.7	168.3
891123	0505	17.29	95.33	LVV	6.0	876.7	177.5
891221	1045	15.37	94.65	SCX	6.0	528.1	82.8
891225	1504	16.57	96.73	OXX	6.0	638.2	116.3
900131	2100	16.00	92.74	SCX	6.0	594.8	141.9
900411	0902	15.26	93.50	PSM	6.0	752.5	109.3
900413	1051	17.71	93.91	LVV	6.0	813.2	187.8
900413	1051	17.71	93.91	OXX	6.0	264.2	25.0
900502	0413	17.25	94.85	OXX	6.0	554.1	88.3
900504	0214	17.10	94.97	EVV	6.0	702.7	122.2
900504	0214	17.10	94.97	PSM	6.0	752.7	160.4
900711	1037	17.22	95.20	EVV	6.0	664.0	140.6
900717	1123	15.80	93.68	OXX	6.0	757.7	144.4
900731	0730	18.13	94.74	LVV	6.0	1035.0	220.8

(continuación)

Valores de Q_c y su error (σ) determinados para la ventana de 25-50 seg.

Fecha	T. orig. h m	Lat °N	Long °W	STN	Frec Hz	Q_c	σ
900804	0406	17.06	95.20	LVV	6.0	749.9	178.4
900821	1006	18.10	95.90	LVV	6.0	1415.0	270.7
900821	1006	18.10	95.90	PSM	6.0	913.8	217.7
900823	0040	16.32	94.32	PSM	6.0	298.2	39.0
900828	1134	15.36	93.00	PSM	6.0	401.6	51.1
900830	1114	17.10	95.03	LVV	6.0	520.3	91.0
900901	0643	16.98	95.42	LVV	6.0	334.8	61.7
900912	0747	15.34	94.03	SCX	6.0	851.5	158.6
900915	1223	17.00	93.80	EVV	6.0	528.5	99.3
900915	1223	17.00	93.80	SCX	6.0	1079.4	239.5
901005	2211	16.09	94.18	EVV	6.0	606.1	83.2
901005	2211	16.09	94.18	OXX	6.0	296.5	40.1
901005	2211	16.09	94.18	SCX	6.0	610.9	121.9
901123	2017	17.83	95.38	EVV	6.0	515.7	98.6
901123	2017	17.83	95.38	LVV	6.0	493.3	74.5
901207	0528	15.31	93.26	SCX	6.0	837.7	169.7
910108	1315	17.59	94.71	OXX	6.0	216.2	23.5
910108	1315	17.59	94.71	SCX	6.0	985.2	207.6
910125	0909	16.01	94.48	OXX	6.0	482.9	87.2
910126	1432	17.61	94.83	OXX	6.0	1094.7	238.4
910127	2330	15.27	94.22	SCX	6.0	351.0	62.1
910206	0725	16.57	94.80	LVV	6.0	321.7	66.1
910218	0556	15.34	92.76	SCX	6.0	440.7	85.8
910222	0817	17.10	91.28	OXX	6.0	823.1	181.5
910228	0557	19.19	95.37	OXX	6.0	661.9	140.7
910228	0652	15.67	94.74	SCX	6.0	1137.8	201.4
910304	2231	15.86	94.11	SCX	6.0	528.5	99.6
910314	1158	16.77	94.25	OXX	6.0	510.5	79.5
910326	2032	17.28	95.31	LVV	6.0	341.9	44.2
910401	1443	16.53	94.35	SCX	6.0	957.1	224.0
910415	0719	17.82	94.88	SCX	6.0	779.8	127.6
910510	1217	15.55	92.81	SCX	6.0	460.1	93.7
910510	1651	17.71	94.95	SCX	6.0	1157.6	173.0
910515	2253	16.41	94.69	OXX	6.0	670.4	167.4
910525	1523	16.33	94.36	OXX	6.0	432.9	69.8
910526	0047	17.33	95.05	OXX	6.0	899.0	195.4
910531	0654	17.05	93.94	OXX	6.0	553.3	68.0
910709	1146	15.33	94.72	SCX	6.0	526.5	68.0
910719	0038	18.14	95.64	OXX	6.0	574.7	114.0
910723	1825	16.95	94.15	LVV	6.0	732.0	171.2
910723	1825	16.95	94.15	OXX	6.0	366.8	37.6
910725	1525	17.81	95.09	SCX	6.0	281.8	50.1
910728	0535	16.19	95.05	SCX	6.0	228.3	23.9
910728	2156	16.37	94.33	LVV	6.0	204.6	32.7
910731	1240	16.00	97.39	OXX	6.0	861.5	188.5
910808	1712	15.10	94.22	SCX	6.0	873.0	133.7
910814	1216	17.58	94.29	OXX	6.0	867.1	163.0
910814	1506	17.09	94.81	OXX	6.0	737.6	169.6
910814	1634	17.66	93.60	OXX	6.0	453.6	64.7
910905	1831	15.01	94.41	OXX	6.0	838.6	162.6

(continuación)

Valores de Q_c y su error (σ) determinados para la ventana de 25-50 seg.

Fecha	T. orig. h m	Lat °N	Long °W	STN	Frec Hz	Q_c	σ
910905	1831	15.01	94.41	SCX	6.0	444.5	95.4
911013	1255	17.57	95.61	LVV	6.0	804.4	172.0
911028	0410	15.98	94.38	OXX	6.0	512.7	84.3
911214	1136	16.51	94.46	LVV	6.0	812.4	190.1
920122	0404	16.59	94.62	OXX	6.0	515.9	80.7
920128	1553	16.64	94.28	SCX	6.0	468.2	87.6
920205	0002	16.77	94.74	LVV	6.0	545.1	84.9
920219	0640	15.98	93.87	OXX	6.0	554.6	90.9
920314	1728	17.37	94.86	OXX	6.0	609.5	110.4
920414	2317	17.82	94.78	OXX	6.0	519.6	44.4
920415	0745	15.45	94.60	OXX	6.0	603.4	115.6
920423	1250	15.73	93.92	OXX	6.0	875.9	190.9
920429	2001	15.32	93.16	SCX	6.0	490.5	66.5
920607	2154	17.41	95.10	LVV	6.0	729.0	163.2
920630	0913	16.93	94.44	SCX	6.0	648.9	158.7
920713	0757	15.83	94.03	SCX	6.0	860.9	189.1
920714	0620	15.39	94.77	SCX	6.0	449.7	84.1
920719	1125	15.86	94.31	OXX	6.0	586.9	67.5
920719	1125	15.86	94.31	SCX	6.0	1344.0	276.8
920805	0135	15.90	93.59	SCX	6.0	593.8	120.3
920922	1918	17.23	94.06	OXX	6.0	748.9	135.6
921101	1556	15.20	92.97	SCX	6.0	509.8	103.4
921112	1100	15.81	94.03	OXX	6.0	682.8	120.1
921119	0650	15.33	93.36	SCX	6.0	521.4	94.5
930107	0756	14.25	92.84	SCX	6.0	545.6	132.3
930107	2345	17.06	95.37	SCX	6.0	498.0	121.3
930210	0940	14.39	92.94	SCX	6.0	1032.6	145.9
930319	1237	15.68	93.85	OXX	6.0	517.9	92.1
930319	1237	15.68	93.85	SCX	6.0	1065.4	166.3
930619	1101	14.78	93.95	SCX	6.0	627.4	126.3
930630	2224	15.56	94.01	OXX	6.0	643.9	121.1
930630	2224	15.56	94.01	SCX	6.0	639.0	130.2
930712	0434	14.46	93.39	SCX	6.0	470.6	73.4
930802	0801	16.79	94.62	SCX	6.0	651.1	138.1
930803	0100	16.74	94.67	OXX	6.0	843.6	185.3
930820	1812	17.28	95.21	SCX	6.0	665.5	127.3
930904	0953	16.64	93.81	OXX	6.0	908.0	213.7
930906	1909	17.50	94.19	SCX	6.0	555.2	129.7
931010	2108	14.80	95.11	SCX	6.0	358.9	34.5
931107	0836	14.69	93.10	SCX	6.0	700.7	135.4
931117	1254	14.78	93.17	SCX	6.0	390.8	61.9
931217	1643	17.07	95.08	LVV	6.0	593.1	110.9
931223	1544	16.74	94.26	OXX	6.0	997.3	166.1
940121	1256	14.05	92.43	SCX	6.0	600.8	124.0
940204	1834	17.02	95.15	LVV	6.0	595.5	100.1
940204	1834	17.02	95.15	SCX	6.0	807.6	164.5
940304	0201	17.57	94.57	OXX	6.0	265.0	45.6
940324	0652	19.77	96.12	LVV	6.0	589.9	56.4
940324	0652	19.77	96.12	OXX	6.0	1120.1	123.6
940411	0524	14.41	92.31	SCX	6.0	1752.0	413.2

(continuación)

Valores de Q_c y su error (σ) determinados para la ventana de 25-50 seg.

Fecha	T.orig. h m	Lat °N	Long °W	STN	Frec Hz	Q_c	σ
940418	1223	15.79	93.73	OXX	6.0	687.3	86.2
940503	1730	16.57	95.51	LVV	6.0	804.8	157.7
940503	1730	16.57	95.51	SCX	6.0	1366.2	179.4
940515	1106	14.19	93.30	SCX	6.0	608.9	95.7
940516	0648	14.25	92.93	SCX	6.0	550.4	120.5
940524	1106	16.94	95.50	LVV	6.0	489.1	99.5
940524	1106	16.94	95.50	SCX	6.0	1243.2	305.5
940526	0351	15.19	92.75	SCX	6.0	1314.3	325.8
940603	0342	16.63	93.48	OXX	6.0	1233.1	230.5
940620	1013	14.71	94.69	SCX	6.0	853.5	151.6
940810	0546	15.92	93.81	SCX	6.0	583.2	123.8
941028	1257	14.80	94.01	SCX	6.0	804.4	150.0
941123	1455	15.11	92.70	SCX	6.0	862.1	189.1
890129	2044	18.11	93.51	LVV	12.0	641.2	73.7
890330	0307	16.16	93.42	SCX	12.0	823.2	170.3
890529	1808	18.85	96.52	LVV	12.0	1475.6	335.5
890529	1931	17.54	94.83	LVV	12.0	1924.3	321.7
890628	0347	17.25	95.05	LVV	12.0	586.4	104.6
890702	0919	17.47	94.76	OXX	12.0	2298.9	500.1
890803	1811	15.58	96.65	OXX	12.0	618.2	137.3
890809	0228	15.87	96.90	OXX	12.0	615.9	144.6
890908	0502	17.16	95.05	EVV	12.0	2245.8	397.7
890908	0502	17.16	95.05	LVV	12.0	1396.3	160.2
891112	0835	17.08	95.12	LVV	12.0	619.5	79.3
891123	0505	17.29	95.33	LVV	12.0	729.3	103.6
900411	0902	15.26	93.50	PSM	12.0	1461.7	174.2
900502	0413	17.25	94.85	LVV	12.0	1720.8	296.9
900504	0214	17.10	94.97	LVV	12.0	2391.0	494.5
900504	0214	17.10	94.97	PSM	12.0	1214.5	93.0
900625	1735	17.25	94.69	LVV	12.0	1441.6	198.8
900711	1037	17.22	95.20	EVV	12.0	874.4	105.3
900711	1037	17.22	95.20	LVV	12.0	2182.3	363.3
900731	0730	18.13	94.74	LVV	12.0	2373.8	564.9
900804	0406	17.06	95.20	LVV	12.0	2085.4	516.0
900821	1006	18.10	95.90	LVV	12.0	1433.6	229.5
900821	1006	18.10	95.90	PSM	12.0	2087.2	360.9
900823	0040	16.32	94.32	PSM	12.0	1141.8	193.5
900828	1134	15.36	93.00	PSM	12.0	936.1	105.4
900830	1114	17.10	95.03	LVV	12.0	1409.3	228.0
900830	1114	17.10	95.03	PSM	12.0	2142.6	453.1
900901	0643	16.98	95.42	LVV	12.0	1097.8	187.0
901005	2211	16.09	94.18	OXX	12.0	788.7	139.4
901123	2017	17.83	95.38	LVV	12.0	1174.5	152.8
910127	2330	15.27	94.22	SCX	12.0	1528.4	360.8
910206	0725	16.57	94.80	LVV	12.0	749.1	172.6
910228	0557	19.19	95.37	OXX	12.0	1658.7	348.4
910314	1158	16.77	94.25	OXX	12.0	1864.9	359.1
910326	2032	17.28	95.31	LVV	12.0	592.9	89.7
910531	0654	17.05	93.94	OXX	12.0	2395.6	488.5
910723	1825	16.95	94.15	OXX	12.0	1380.8	216.1

(continuación)

Valores de Q_c y su error (σ) determinados para la ventana de 25-50 seg.

Fecha	T. orig. h. m.	Lat °N	Long °W	STN	Frec Hz	Q_c	σ
910725	1525	17.81	95.09	SCX	12.0	779.3	91.6
910728	2156	16.37	94.33	LVV	12.0	1017.5	130.0
910802	0535	17.12	95.12	LVV	12.0	2004.5	228.9
910822	0153	17.13	95.22	SCX	12.0	2020.0	428.0
911013	1255	17.57	95.61	LVV	12.0	1288.7	300.2
911214	1136	16.51	94.46	LVV	12.0	1411.2	184.6
911227	0214	17.01	94.34	LVV	12.0	953.5	127.5
920414	2317	17.82	94.78	OXX	12.0	1092.3	155.5
920423	1250	15.73	93.92	SCX	12.0	945.5	210.3
920607	2154	17.41	95.10	LVV	12.0	1434.7	197.6
930120	2239	15.98	94.11	SCX	12.0	1177.8	196.4
930630	2224	15.56	94.01	OXX	12.0	1979.8	376.7
931217	1643	17.07	95.08	LVV	12.0	896.9	120.1
931226	0946	16.02	96.49	LVV	12.0	506.8	105.8
940204	1834	17.02	95.15	LVV	12.0	1968.4	335.6
940324	0652	19.77	96.12	LVV	12.0	1957.6	414.8
940503	1730	16.57	95.51	LVV	12.0	1188.0	148.3
940524	1106	16.94	95.50	LVV	12.0	1240.6	205.1
890529	1931	17.54	94.83	LVV	24.0	6684.3	1496.3
890908	0502	17.16	95.05	LVV	24.0	3597.7	712.6
891112	0835	17.08	95.12	LVV	24.0	7783.4	1935.4
900504	0214	17.10	94.97	PSM	24.0	1912.4	177.2
910725	1525	17.81	95.09	SCX	24.0	3434.3	531.8
910728	0535	16.19	95.05	SCX	24.0	3064.1	456.6
920414	2317	17.82	94.78	OXX	24.0	2704.5	476.2

ANEXO 4

VALORES DE LA FRECUENCIA DE ESQUINA f_c Y LA FRECUENCIA
PICO f_p PARA SISMOS DE MAGNITUD $3.9 \leq M_c \leq 5.2$.

Valores de la frecuencia de esquina (f_c)* y la frecuencia pico (f_p)** para
sismos de magnitud $3.9 \leq M_c \leq 5.2$

N°	T. origen			M_c	f_c Hz	f_p Hz
	aa	mm	dd hh			
1	9004	11	09	3.9	4.0	1.25
2	9003	23	15	3.9	4.3	1.20
3	9101	26	14	3.9	4.0	1.30
4	9207	06	05	3.9	3.3	1.08
5	9404	18	12	4.0	3.8	1.50
6	9403	04	02	4.1	2.9	1.17
7	9101	25	09	4.2	2.7	1.30
8	9010	13	07	4.8	2.3	1.25
9	9312	17	16	4.8	2.5	1.33
10	9406	20	10	4.9	2.2	1.25
11	9107	25	15	5.2	2.0	1.42

* f_c determinada a partir de la corrección e integración de los sismogramas de velocidades (Scherbaum y Johnson, 1992).

** f_p calculada midiendo el período predominante de la onda en el sismograma para un tiempo (t).

ANEXO 5

VALORES z PARA LAS DIFERENCIAS DE Q_c OBSERVADAS EN LAS
ZONAS DE ESTUDIO.

Valores z para las diferencias de Q_c observadas en las zonas de estudio

zonas comparadas	profundidad km	frecuencia (Hz)				
		1.5	3	6	12	24*
I y II	0-40	-6.83**	-4.93	-0.98	-4.24	-
	40-80	2.67	3.09	3.48	5.54	-
I y III	0-40	-7.17	-	-2.79	-2.69	-
	40-80	-	-	6.17	2.11	-
I y IV	0-40	-3.73	7.70	4.88	-3.61	-
I y V	0-40	-2.98	-2.59	-0.83	-	-
II y III	0-40	-1.42	-	-1.35	1.15	-
	40-80	-	-	2.66	-2.35	-
III y IV	0-40	1.03	-	4.09	-0.96	-

* A esta frecuencia no obtuvieron suficientes datos para realizar los cálculos.

** Los valores negativos implican un aumento de Q_c y los positivos una disminución (ecuación 2.39).