

03077
6
2ej



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

ANALISIS DE LA VARIACION ESPACIAL DE CODA Q EN EL AREA DE
PARKFIELD, CALIFORNIA

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
Eugenio Polanco Rivera



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.

A Minerva mi esposa por su amor, paciencia y comprensión

A mis hijos Eugenio, Gabriel y César por haber
soportado mi ausencia

A mi madre y hermanos por el apoyo
que me ofrecieron

A la memoria de mi
padre Eugenio.

AGRADECIMIENTOS

Quiero manifestar mi agradecimiento a la Secretaría de Relaciones Exteriores de México y a la Dirección General de Intercambio Académico de la UNAM, por haberme ofrecido el apoyo económico para realizar mis estudios.

También quiero manifestar mis agradecimientos a la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, al Posgrado en Geofísica de la UACPyP del CCH, al Instituto de Geofísica, al Departamento de Sismología y al Servicio Sismológico Nacional y a su personal.

Agradezco especialmente a la Universidad Autónoma de Santo Domingo, UASD, todo el apoyo que me ofreció durante mis estudios y a la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

Al Dr. David A. Novelo Casanova, mi tutor, por su apoyo y estímulo para que alcanzara mi meta. Muchas gracias Dr. Novelo. A mis asesores Drs. Gerardo Suárez y Carlos Valdez, gracias por sus sabias orientaciones.

A todos mis profesores por dotarme de sus conocimientos y a todos los investigadores del Departamento de Sismología por responder a mis inquietudes. A mis jurados Drs. Krishna Singh, Ramón Zúñiga, Mario Chávez y Raúl Castro, gracias por sus observaciones.

También quiero agradecer al Dr. Andrew Michael del USGS en Menlo Park, California por las informaciones y atenciones que me ofreció. Muchas gracias Andy.

Al personal de la biblioteca del Instituto de Geofísica por su espíritu de colaboración.

A mis compañeros y amigos Gustavo Malavé, Jaime Domínguez, Alfredo Sereno, Mario Fernández, Erika Vollbert, Juan Payero, Marcela Canedo, Evangelina Romero, Frank García, Omar Delgado, María de Los Angeles, Eduardo Araújo y Laura Díaz. Gracias a todos.

También quiero manifestar mis agradecimientos muy especialmente a Patricia Medina, Norma Bravo, Ana Ma. Rodríguez y María Eugenia Malagón por su abnegada colaboración. También a Betty García, Graciela Solache, Adriana López, Mónica Nava y a todos aquellos que de manera desinteresada me ofrecieron su colaboración y apoyo, gracias.

INDICE

	Página
Resumen	1
1.- Introducción	3
1.1.- Antecedentes	3
1.2.- Objetivos	11
2.- Ondas Coda y Atenuación Sísmica	14
2.1.- Atenuación y el Factor de Calidad Q. Generalidades	14
2.1.2.- Origen de las Ondas Coda	15
2.1.3.- Características y Atenuación de las Ondas Coda	16
2.1.4.- Métodos para Calcular Q_c	18
2.1.4.1.- Método de Aki y Chouet [1975]	18
2.1.4.2.- Método de Sato [1977]	19
2.1.4.3.- Método de Aki y Phillips [1986]	20
2.2.- Programa Utilizado	21
3.- Datos Utilizados	23
3.1.- Eventos Sísmicos	23
3.2.- Información Geológica y Sísmica	25
4.- Resultados	30

5.- Discusión	63
5.1.- Distribución Espacial de Q_c	63
5.2.- Interpretación de los Resultados	75
6.- Conclusiones	81
Bibliografía	83
Anexo 1: Sismos más importantes asociados al Sistema de Fallas de San Andrés en California y Nevada de 1769 a abril de 1994	89
Anexo 2: Parámetros sísmicos de los eventos utilizados en el presente estudio	96

FIGURAS

Fig. 1.1.- Cuenca del Pacífico Nor-oriental	4
Fig. 1.2.- Mapa de California mostrando las unidades litológicas del área	7
Fig. 1.3.- Mapa del estado de California presentando la ubicación de Parkfield	10

Fig. 1.4.- Mapa de sismicidad del área de Parkfield	12
Fig. 2.1.- Sismograma de un sismo local mostrando las ondas P, S y coda	15
Fig. 3.1.- Mapas de sismicidad del área de Parkfield y distribución de los eventos utilizados	24
Fig. 3.2.- Mapa geológico del área de Parkfield	25
Fig. 3.3.- Diagrama esquemático de los Rangos Costeros	26
Fig. 3.4.- Perfiles de velocidad en el área de Parkfield obtenidos por Eberhart-Phillips y Michael [1993]	28
Fig. 3.5.- Perfiles de velocidad al NE y al SO de la Falla de San Andrés en el área de Parkfield	29
Fig. 4.1.- Mapas del área de Parkfield con los valores de Q_c a 1.5 Hz a ambos lados de la Falla de San Andrés	32
Fig. 4.2.- Mapas del área de Parkfield con los valores de Q_c a 3 Hz a ambos lados de la Falla de San Andrés	33
Fig. 4.3.- Mapas del área de Parkfield con los valores de Q_c a 6 Hz a ambos lados de la Falla de San Andrés	34

Fig. 4.4.- Mapas del área de Parkfield con los valores de Q_c a 12 Hz a ambos lados de la Falla de San Andrés	35
Fig. 4.5.- Mapas del área de Parkfield con los valores de Q_c a 24 Hz a ambos lados de la Falla de San Andrés	36
Fig. 4.6.- Perfiles de Q_c versus profundidad en el bloque SO de la Falla	37
Fig. 4.7.- Perfiles de Q_c versus profundidad en el bloque NE de la Falla	38
Fig. 4.8.- Mapas del área de Parkfield con los valores de Q_c a 1.5 Hz al SO de la Falla de San Andrés calculados con estaciones situadas al NE	40
Fig. 4.9.- Mapas del área de Parkfield con los valores de Q_c a 3 Hz al SO de la Falla de San Andrés calculados con estaciones situadas al NE	41
Fig. 4.10.- Mapas del área de Parkfield con los valores de Q_c a 6 Hz al SO de la Falla de San Andrés calculados con estaciones situadas al NE	42
Fig. 4.11- Mapas del área de Parkfield con los valores de Q_c a 12 Hz al SO de la Falla de San Andrés calculados con estaciones situadas al NE	43

- Fig. 4.12.- Mapas del área de Parkfield con los valores de Q_c a 24 Hz al SO de la Falla de San Andrés calculados con estaciones situadas al NE 44
- Fig. 4.13.- Perfiles de Q_c versus profundidad en el bloque SO de la Falla 45
- Fig. 4.14.- Mapas del área de Parkfield con los valores de Q_c a 1.5 Hz al NE de la Falla de San Andrés calculados con estaciones situadas al SO 46
- Fig. 4.15.- Mapas del área de Parkfield con los valores de Q_c a 3 Hz al NE de la Falla de San Andrés calculados con estaciones situadas al SO 47
- Fig. 4.16.- Mapas del área de Parkfield con los valores de Q_c a 6 Hz al NE de la Falla de San Andrés calculados con estaciones situadas al SO 48
- Fig. 4.17.- Mapas del área de Parkfield con los valores de Q_c a 12 Hz al NE de la Falla de San Andrés calculados con estaciones situadas al SO 49
- Fig. 4.18.- Mapas del área de Parkfield con los valores de Q_c a 24 Hz al NE de la Falla de San Andrés calculados con estaciones situadas al SO 50

Fig. 4.19.- Perfiles de Q_c versus profundidad en el bloque NE de la Falla	51
Fig. 4.20.- Variación de Q_c^{-1} con la distancia para eventos y estaciones situados al SO de la Falla	57
Fig. 4.21.- Variación de Q_c^{-1} con la distancia para eventos y estaciones situados al SO y NE de la Falla respectivamente	58
Fig. 4.22.- Variación de Q_c^{-1} con la distancia en los bloques 1, 2 y 3 para eventos y estaciones situados al NE de la Falla	59
Fig. 4.23.- Variación de Q_c^{-1} con la distancia en los bloques 4 y 5 para eventos y estaciones situados al NE de la Falla	60
Fig. 4.24.- Variación de Q_c^{-1} con la distancia en los bloques 2 y 3 para eventos y estaciones situados al NE y SO de la Falla respectivamente	61
Fig. 4.25.- Variación de Q_c^{-1} con la distancia en los bloques 4 y 5 para eventos y estaciones situados al NE y SO de la Falla respectivamente	62
Fig. 5.1- Relación de Q_c^{-1} versus frecuencia en el lado NE de la Falla	64

Fig. 5.2- Relación de Q_c^{-1} versus frecuencia en el lado SO de la Falla	66
Fig. 5.3- Relación de Q_c^{-1} versus frecuencia en el lado NE de la Falla para los datos calculados con estaciones al SO	67
Fig. 5.4- Relación de Q_c^{-1} versus frecuencia en el lado SO de la Falla para los datos calculados con estaciones al NE	68
Fig. 5.5.- Variación de Q_c^{-1} con la profundidad al SO de la Falla	72
Fig. 5.6.- Variación de Q_c^{-1} con la profundidad al NE de la Falla	74
Fig. 5.7.- Mapas de sismicidad del área de Parkfield a diferentes rangos de profundidad	76

TABLAS

Tabla 1.1.- Estaciones utilizadas en este estudio	13
Tabla 4.1.- Distribución de Q_c con la profundidad para eventos y estaciones situados al SO de la Falla	39
Tabla 4.2.- Distribución de Q_c con la profundidad para eventos y estaciones situados al NE de la Falla	39

Tabla 4.3.- Distribución de Q_c con la profundidad para eventos y estaciones situados al SO y al NE de la Falla respectivamente	52
Tabla 4.4.- Distribución de Q_c con la profundidad para eventos y estaciones situados al NE y al SO de la Falla respectivamente	52
Tabla 4.5.- Valores z para los cambios observados en Q_c para eventos y estaciones situados en el mismo lado de la Falla	53
Tabla 4.6.- Valores z para los cambios observados en Q_c para eventos y estaciones situados en lados diferentes de la Falla	54
Tabla 4.7.- Valores z para los cambios observados en Q_c al comparar los resultados obtenidos a ambos lados de la Falla	54
Tabla 4.8.- Valores z para los cambios observados en Q_c al comparar los resultados obtenidos para eventos y estaciones situados en el mismo lado con los obtenidos cuando están situados en lados diferentes de la Falla	55
Tabla 4.9.- Valores z para los cambios observados en Q_c con la profundidad	55

Resumen

En el presente estudio se determinó la distribución del factor de calidad (Q_c) para las ondas coda en el área de Parkfield-California en un volumen de 20 por 100 por 15 km de ancho, largo y profundidad respectivamente, alrededor de dicho segmento de la Falla de San Andrés. La finalidad de este trabajo es analizar la distribución espacial de Q_c y establecer su relación con los rasgos geologico-estructurales y dinámicos presentes en la zona. Se utilizaron las trazas digitales de 497 eventos registrados por la red sísmica local durante el período abril de 1984 a diciembre de 1990. Los cálculos de Q_c se realizaron para una ventana fija de 15 segundos registrada inmediatamente después de la llegada de la onda S y utilizando el método de dispersión simple en el dominio del tiempo (Aki y Chouet, 1975; Sato 1977) y la frecuencia (Phillips y Aki, 1986), para cinco bandas de frecuencia centradas a 1.5, 3, 6, 12 y 24 Hz. Se dividió la zona de interés en 5 bloques de 20 por 20 km y se hicieron las estimaciones de Q_c primero considerando eventos y estaciones localizados en un mismo lado de la falla y luego considerando eventos de un lado de la falla y las estaciones en el otro, con el objeto de determinar las características de propagación de las ondas cuando la atraviesan. Los eventos considerados en el estudio estaban situados debajo de la estación con una separación máxima epicentral de 20 km. La distribución espacial de Q_c en la zona estudiada refleja que la atenuación observada se relaciona con la densidad de fracturamiento, la concentración de la sismicidad, así como con las variaciones de las velocidades y heterogeneidades litológicas presentes en la zona. Se encontró mayor atenuación en el

bloque NE que en el SO de la falla, con algunas excepciones a bajas frecuencias, reflejando la heterogeneidad del NE respecto al SO. La parte NO de la zona de estudio presenta alta atenuación correlacionándose también con un alto fracturamiento y elevado gradiente de velocidad.

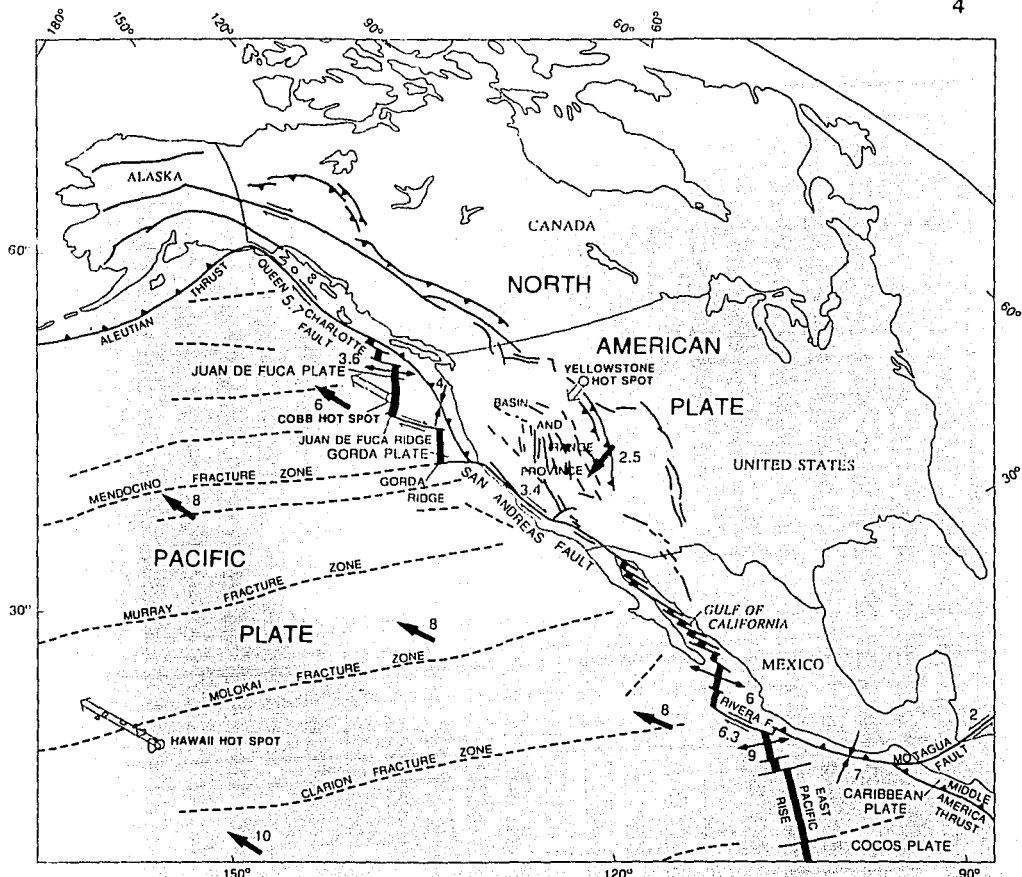
Capítulo 1

Introducción

1.1.- Antecedentes

La Falla de San Andrés (FSA) es el principal rasgo geológico del "Sistema de Fallas de San Andrés". Este Sistema es un arreglo complejo del Cenozoico Tardío, principalmente de deslizamiento lateral derecho localizado en el margen occidental de América del Norte [Powell, 1993]. La falla es una conexión intracontinental de 1100 kms de largo entre la zona de fractura oceánica de Mendocino al norte y el sistema de ejes de expansión y fallas transformantes en el Golfo de California al sur, según se muestra en la Figura 1.1 [Wallace, 1990]. Su orientación es sureste-noroeste y su movimiento se relaciona a la zona de expansión de Baja California desde que el continente surgió. Algunos investigadores la consideran como una falla transformante entre los segmentos de zonas de dorsales y de extensión del suelo marino en el Golfo de California y Cabo Mendocino en el noreste del Pacífico [Powell, 1993].

El contacto entre las placas Pacífico y Norte-América se encuentra interrumpido por varias placas de menor dimensión: Cocos, Rivera y Juan de Fuca. La Falla de San Andrés es la región de mayor contacto entre estas dos grandes placas. Su deslizamiento lateral derecho marca la dirección de la placa del Pacífico. En esta zona ocurre la mayor parte del desplazamiento relativo entre dichas placas, cuya velocidad relativa es de



EXPLICACION








- 5.7  **Falla de Deslizamiento Lateral**- Mostrando los vectores de deslizamiento y la velocidad (cm/a)
- 4  **Zona de Subducción**- Mostrando los vectores de deslizamiento y la velocidad (cm/a), los dientes de sierra en la placa superior.
- 6  **Centro de Expansión**- Mostrando los vectores velocidad de expansión (cm/a)
- 8  **Vector y Velocidad (cm/a) del movimiento absoluto de la placa**
-  **Punto Caliente y Vector de Movimiento de la Placa**
-  **Zona de Fractura en la Placa Pacífico**
-  **Falla en la Placa de Norte-América**- Diente de sierra en la placa superior de la falla inversa

Fig. 1.1.- Cuenca del Pacífico nor-oriental, mostrando la relación de la Falla de San Andrés en el complejo límite entre las placas Norte-Americana y Pacífico [Wallace, 1990].

55 mm/a [Turcotte y Schubert, 1982]. La FSA parece estar dividida en cuatro secciones diferentes las cuales exhiben comportamientos también diferentes. Algunos de estos segmentos tienen baja actividad sísmica y la deformación acumulada es liberada a través de grandes terremotos. En las otras, pequeños sismos y deslizamiento asísmico liberan al menos una fracción de la deformación acumulada.

El extremo norte de la Falla de San Andrés está cerca de Cabo Mendocino en la triple unión de las placas Pacífico, Norte-América y Juan de Fuca. La sección norte se extiende unos 300 kms desde este extremo hasta cerca de la ciudad de Redwood. Referente al sismo de 1906 ($M=8.3$) con epicentro cercano a la ciudad de San Francisco, se reportaron desplazamientos de alrededor de 4 metros a lo largo de toda esta sección [Turcotte y Schubert, 1982]. Hasta el momento no se han registrado otros deslizamientos ni terremotos en esta área.

La siguiente porción se extiende unos 300 kms desde la ciudad de Redwood hasta cerca de Cholame. En esta sección ocurren regularmente pequeños sismos y corrimientos o curvaturas de la falla. Los desplazamientos superficiales del sismo de 1906 se extendieron unos 100 kms en esta región, pero fueron menores en magnitud que en la zona septentrional. La tasa de deslizamiento en esta parte es de 20 a 30 mm/a la cual es menor a la velocidad relativa (55 mm/a) [Turcotte y Schubert, 1982].

La sección sur de la falla se extiende unos 350 kms desde cerca de Cholame hasta cerca de San Bernardino. Sieh [1978], Agnew y Sieh [1978] y Turcotte y Schubert [1982] mencionan que ocurrieron fracturas a lo largo de toda la longitud de esta sección durante el terremoto ($M=8.3$) al sur de California en 1857. Desde entonces no han habido reportes de terremoto o deslizamientos importantes en este segmento. En esta zona al norte de San Bernardino, la falla presenta una curvatura la cual probablemente juega un papel importante en el comportamiento de esta sección. La convergencia de las placas en esta curvatura requiere una componente de cabalgadura y el resultado es el levantamiento asociado con los Rangos Transversos, una serie de cinturones montañosos localizados en esta área.

En el Anexo 1 se presentan los parámetros sísmicos de los principales eventos ($M>5$) asociados al Sistema San Andrés incluyendo fecha, localización y magnitud (M_w) para el período de 1769 a marzo de 1994. De acuerdo a Irwin [1990], en gran parte del norte y parte central de California este gran rasgo geológico separa el bloque Saliniano de rocas graníticas y metamórficas al oeste y el ensamblaje Franciscano y los estratos sobreyacentes de la secuencia del Gran Valle (Great Valley) al este (Fig. 1.2). En la parte sur la falla se curva hacia el este para cortar diagonalmente a través de los Rangos Transversos y luego se divide en varias fallas auxiliares antes de terminar cerca del Golfo de California. Al sur de California las rocas del basamento cortadas por la falla son en su mayoría rocas plutónicas precámbricas y metamórficas jóvenes y los bloques de la corteza a ambos lados generalmente no muestran el

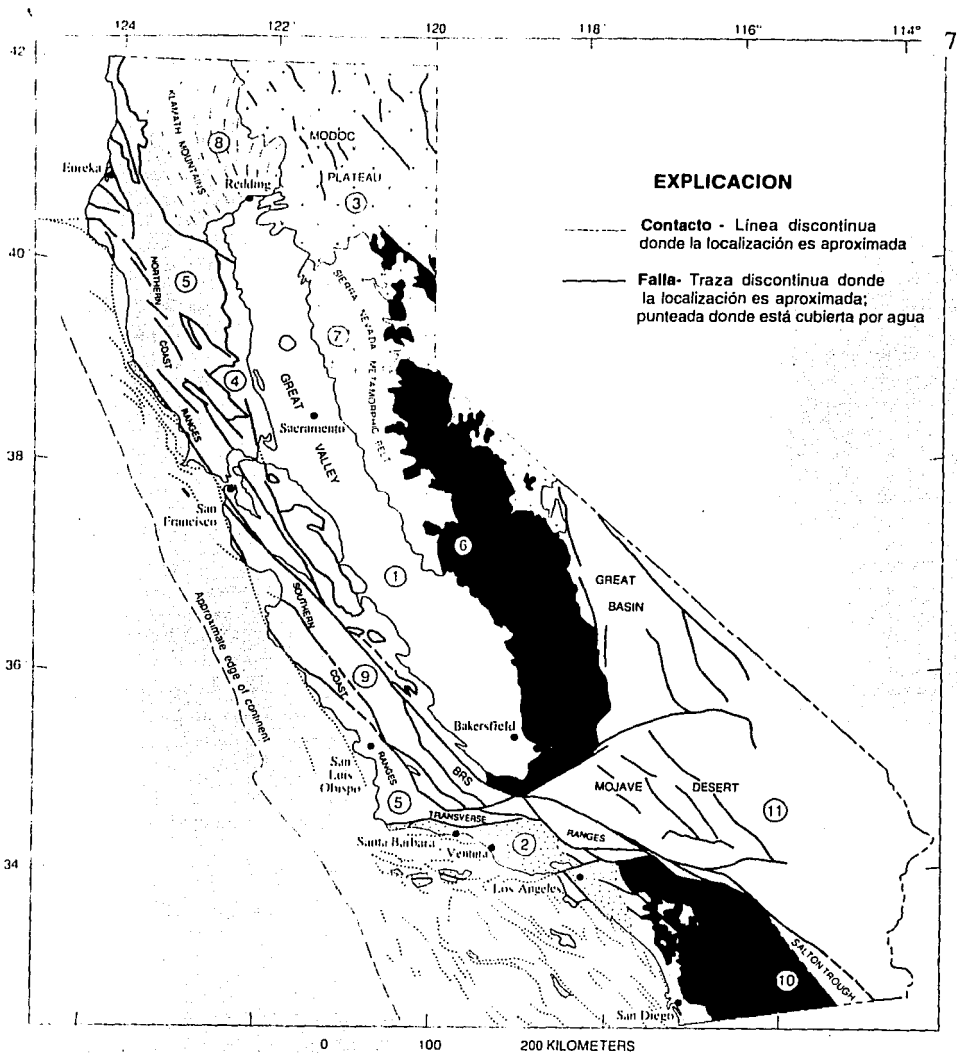


Fig.1.2.- Mapa de California mostrando la distribución de las unidades geológicas. Las Unidades: 1, aluvión cuaternario en el Gran Valle; 2, rocas del basamento cubiertas por depósitos del Cretáceo Superior y Terciario en Santa Bárbara, Ventura y Cuenca de Los Angeles; 3, rocas volcánicas del Cenozoico de la Meseta Modoc; 4, Secuencia del Gran Valle, estratos del Jurásico Inferior al Cretáceo Superior; 5, ensamblaje Franciscano de rocas oceánicas del Jurásico Inferior al Terciario; 6, batolito de Sierra Nevada, principalmente rocas graníticas del Cretáceo; 7, cinturón metamórfico de Sierra Nevada, rocas del Paleozoico Temprano al Jurásico Tardío, incluyendo fragmentos de oloilitas, arcos de isla y mezclas (melanges), intrusionados por plutones del Mesozoico; 8, Montes Klamath, oloilitas, arcos de isla y mezclas del Paleozoico Temprano al Jurásico Tardío, intrusionados por plutones del Paleozoico Temprano al Cretáceo; 9, bloque Saliniano, principalmente plutones del Cretáceo intrusionando rocas metamórficas de edad incierta; 10, batolito de California meridional- principalmente plutones del Cretáceo intrusionando rocas sedimentarias y volcánicas del Jurásico y metamórficas de edad desconocida; y 11, principalmente rocas metamórficas y plutónicas precámbricas, en parte sobreyacidas por depósitos de corteza continental e intrusionados por plutones del Mesozoico, localmente subcabalgados en la parte suroeste de la región por esquistos (similares en litología al Esquisto Pelona) de edad probablemente del Cretáceo [Irwin, 1990].

distintivo contraste litológico presente en California central y septentrional.

La Figura 1.2 [Irwin, 1992] muestra las diferentes formaciones geológicas que se encuentran a ambos lados de la falla, cada una de las cuales aparece numerada. La Unidad 1 se encuentra en el Gran Valle formada por aluviones cuaternarios: limo marino, areniscas y conglomerado inter-estratificados que datan del Jurásico Tardío al Cretáceo. En la Unidad 2 las rocas del basamento están cubiertas por depósitos del Cretáceo Superior y Terciario en las cuencas de Santa Bárbara, Ventura y Los Angeles. La Unidad 3 está formada por rocas volcánicas del Cenozoico en la Meseta Modoc. La 4 que se encuentra también en el Gran Valle es una secuencia de estratos del Jurásico Inferior al Cretáceo Superior incluyendo ofiolitas del Rango Costero en la base.

Por su parte la unidad 5 corresponde al ensamblaje Franciscano formado por rocas oceánicas del Jurásico Inferior al Terciario. Consiste principalmente de secuencias de grawaka, arcilla y cantidades menores de rocas volcánicas máficas, horsteno en capas delgadas y rara vez caliza. Las rocas de esta parte localmente están sobreyacidas estructuralmente por la ofiolita del Rango Costero y la secuencia del Gran Valle. La Unidad 6 está formada por el batolito de la Sierra Nevada en el cual dominan las rocas graníticas del Cretáceo. La Unidad 7 la compone el cinturón metamórfico de Sierra Nevada formado por rocas del Paleozoico Temprano

al Jurásico Tardío, incluyendo fragmentos de ofiolitas, arcos de islas y mezclas (melange) intrusionados por plutones del Mesozoico.

La unidad 8 está compuesta por fragmentos de ofiolitas del Paleozoico al Jurásico Tardío en las Montañas Klamath, arcos de islas y mezclas intrusionados por plutones del Paleozoico Temprano al Cretáceo. La 9 es el bloque Saliniano compuesto principalmente por plutones del Cretáceo intrusionando rocas metamórficas de edad no clara. La 10 es el batolito de California meridional dominado por plutones del Cretáceo intrusionando rocas sedimentarias y volcánicas del Jurásico y metamórficas de edad desconocida. La Unidad 11 está formada principalmente por rocas plutónicas y metamórficas precámbricas, en parte sobreyacidas por depósitos de bancos de arena continental del Paleozoico e intrusionadas por plutones del Mesozoico, presentando en el suroeste esquistos posiblemente del Cretáceo.

Una zona que ha captado el interés de numerosos investigadores es el área de Parkfield, un pequeño poblado en la parte central de California situado entre San Francisco y Los Angeles a unos cientos de metros de la Falla de San Andrés (Fig. 1.3). En esta zona la FSA ha generado varios eventos significativos de magnitud moderada ($M_s \approx 6$) con bastante regularidad: 1857, 1881, 1901, 1922, 1934 y 1966 [Bakun, 1988]. Dada esta regularidad, para 1993 se esperaba la ocurrencia de un terremoto en esta zona, sin embargo no se ha producido a la fecha. Esta zona es una transición entre dos secciones y difiere marcadamente de las secciones vecinas a lo largo de la falla al noroeste y al sureste. Al noroeste de

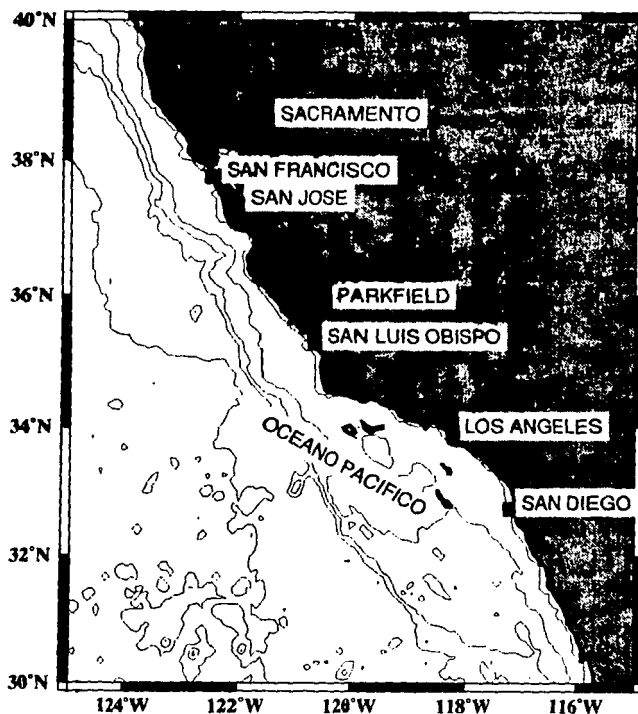


Figura 1.3.- Mapa del estado de California, Estados Unidos de América, presentando la ubicación de Parkfield.

Parkfield ocurren frecuentemente pequeños eventos (magnitud menor a 4), pero el movimiento de la falla ocurre predominantemente como deslizamiento asísmico y los eventos mayores a 6 son desconocidos.

En esta área se han realizado diversos estudios y experimentos con la finalidad de predecir el terremoto subsiguiente al terremoto ($M_s=6$) del 28 de junio de 1966 [Bakun y Lindh, 1985], pero sin haber tenido éxito a la fecha. Con la intención de detectar posibles precursores al terremoto en

Parkfield, el Servicio Geológico de los Estados Unidos de América (U.S. Geological Survey) se concentró en la medición de parámetros físicos. Estos parámetros incluyen sismicidad, deformación, niveles y química del agua, flujo de calor, geomagnetismo, potencial y conductividad eléctricos, velocidades sísmicas y conducta animal. Se ha desplegado una gran cantidad de instrumentos cerca de Parkfield para medir dichos parámetros [Bakun, 1988].

Además en esta zona se han realizado otros trabajos con la finalidad de determinar modelos de estructura y velocidad del área de interés, entre los que destacan los de Stewart y O'Neill [1972], Lovie y otros [1988], Lees y Malin [1990], Stuart [1991]; Michelini y McEvilly [1991], Sheldlock y otros [1991], Michael y Eberhart-Phillips [1991], Eberhart-Phillips y Michael [1993] y Sims [1993]. Algunos de estos resultados serán utilizados posteriormente en este trabajo.

1.2.- Objetivos

Tomando en cuenta lo mencionado en la sección anterior, el propósito del presente estudio, es determinar los valores del factor de calidad Q_c (parámetro que caracteriza un medio inelástico y heterogéneo) medidos a partir de las ondas coda (parte final de un sismograma), analizar su distribución espacial y establecer su relación con los rasgos geológico-estructurales y dinámicos en el área de Parkfield. Esto con la finalidad de conocer otras características físicas de los bloques que separa la FSA. Para calcular Q_c se utilizó el programa QCODA [Valdez-González y Novelo-Casanova 1991] y los datos digitales de la red telemétrica de Parkfield

Casanova 1991] y los datos digitales de la red telemétrica de Parkfield para el período abril de 1984 a diciembre de 1990, para una ventana fija de 15 segundos después del arribo de la onda S. La región en torno a la zona de la falla donde se localizan los sismos, se dividió en 5 bloques de 20X20 km. Se hizo esta división buscando que cada bloque contuviera los hipocentros de los eventos con una separación epicentral máxima de 20 km. Se separaron los eventos localizados al noreste de los del suroeste de la falla con el fin de estudiar la atenuación (Q_c^{-1}) en ambos lados y así caracterizar cada uno de los bloques que separa la falla. La Figura 1.4 muestra la red telemétrica, la distribución de epicentros y los bloques en que se dividió la zona. En la Tabla 1.1 se muestran las coordenadas de las estaciones utilizadas en el presente estudio.

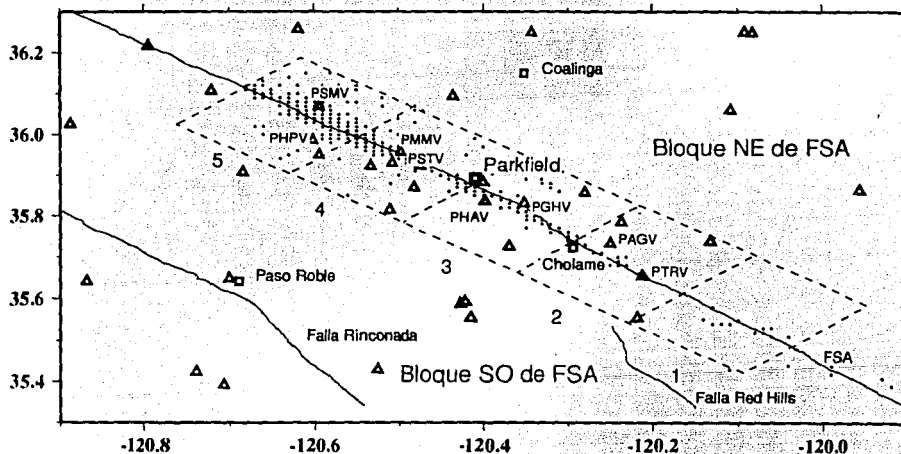


Fig. 1.4.- Mapa de sismicidad del área de Parkfield para el período abril de 1984 a diciembre de 1990. Los círculos representan los epicentros y La Falla de San Andrés se denota por FSA. Los triángulos señalan la localización de las estaciones de la red sismológica en la zona. Algunos sitios están indicados por los cuadrados. Los bloques están numerados de acuerdo a la división espacial que se realizó en el área de estudio. Las estaciones con código fueron las utilizadas en los cálculos.

Las estaciones PSM y PHP fueron utilizadas para determinar Q_c en el bloque 5; PMM y PST para el 4; PGH y PHA para el 3 PAG y PTR para el 2 y el 1.

El trabajo se divide en las siguientes partes: En el Capítulo 2 se describen los métodos utilizados en la determinación de Q_c , la teoría en que se fundamentan y el programa de computadora utilizado. El Capítulo 3 presenta los datos utilizados y la forma en que se seleccionaron. En el Capítulo 4 se muestran los resultados obtenidos, tablas y gráficos. El Capítulo 5 es la discusión de los resultados para asociarlos con los rasgos presentes en la zona y en el 6 se presentan las principales conclusiones de este trabajo.

Tabla 1.1
Coordenadas de las Estaciones Utilizadas en este Estudio

Código	Latitud N (grados)	Longitud W (grados)	Elevación (m)
PAG	35.7320	120.2493	482
PGH	35.8310	120.3528	433
PHA	35.8360	120.3985	455
PHP	35.9855	120.6020	567
PMM	35.9565	120.4973	785
PSM	36.0697	120.5947	988
PST	35.9288	120.5083	616
PTR	35.6547	120.2112	643

Capítulo 2

Ondas Coda y Atenuación Sísmica

2.1- Atenuación y el Factor de Calidad Q. Generalidades

Una onda viajando en un medio inelástico sufre una atenuación de su amplitud, causada por una variedad de procesos físicos y resumidos macroscópicamente como fricción interna o atenuación intrínseca, la cual se define mediante una cantidad adimensional conocida como factor de calidad Q. Para un volumen de material ciclado en esfuerzo a una frecuencia ω , la fricción interna o pérdida fraccional de energía por ciclo de la onda, está dada por

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

donde E es la energía de deformación máxima almacenada en el volumen y $-\Delta E$ es la pérdida de energía en cada ciclo a causa de las imperfecciones elásticas del material [Aki y Richards, 1980; Udías, 1986].

La amplitud de una onda de frecuencia ω que se propaga una distancia x a una velocidad v durante un tiempo t , se puede expresar como

$$A(t) = A_0 \exp(-\omega t / 2Q) \quad 2.2$$

donde A_0 es la amplitud máxima de la onda [Aki y Richards, 1980].

2.1.2.- Origen de las Ondas Coda.

Cuando se produce un sismo, se generan dos ondas, una de tipo longitudinal o compresional u onda primaria P, la cual se propaga haciendo vibrar las partículas del medio en la dirección de propagación y otra de tipo transversal o de corte u onda secundaria S, que en su propagación hace vibrar las partículas del medio perpendicular a la dirección de propagación. Si la tierra fuera un medio homogéneo, al detectarse un sismo sólo se registrarían estas dos ondas en el caso de eventos locales [Bolt, 1989]. El sismograma de un sismo local está formado por un tren de ondas desde la llegada de P hasta la llegada de S y otro desde la llegada de S hasta que se recobra el nivel inicial, según se muestra en la Figura 2.1. La amplitud de las ondas va disminuyendo conforme van arribando. Las ondas consideradas en este estudio son las que forman la cola del sismograma la cual se denomina "coda" y las ondas que la forman se les llama "ondas coda", las cuales arriban después de la onda S.

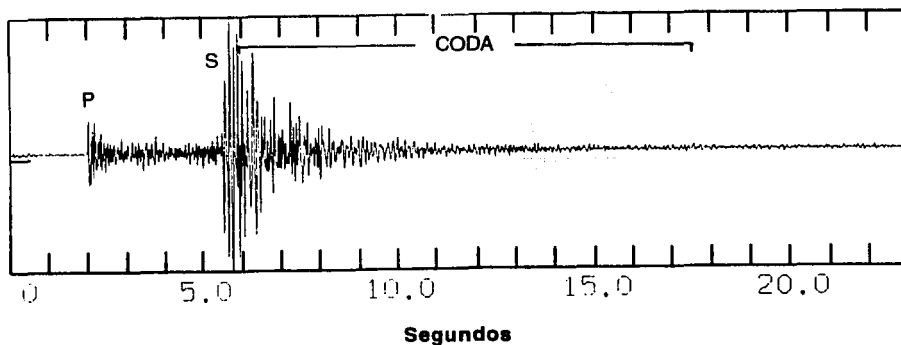


Fig. 2.1.- Sismograma de un sismo local con las ondas P y S y la coda señaladas

Aki [1969] sugirió que las ondas coda son retrodispersiones de ondas desde numerosas heterogeneidades distribuidas aleatoriamente en la Tierra y pueden ser tratadas por un método estadístico. Aki y Chouet [1975], concluyeron que estas ondas son retrodispersiones de ondas desde numerosas heterogeneidades distribuidas uniformemente en la corteza terrestre. Concluyeron además que alrededor de 1 Hz las ondas coda son retrodispersiones de ondas superficiales desde heterogeneidades en la parte menos profunda o de bajo Q de la corteza terrestre y que para frecuencias mayores de 10 Hz estas ondas son principalmente retrodispersiones de ondas de cuerpo desde heterogeneidades en la litosfera profunda de alto Q.

2.1.3.- Características y Atenuación de las Ondas Coda

Aki y Chouet [1975], enumeraron las siguientes características de estas ondas:

1.- El contenido espectral de la primera parte del sismograma de un sismo local depende fuertemente de la distancia de viaje y de la naturaleza de la trayectoria de la onda desde el foco a la estación. La diferencia en espectro entre estaciones disminuye en la parte posterior del sismograma y desaparece en la coda [Aki 1956, 1969].

2.- Para un sismo local dado a distancias epicentrales menores a 100 km, la duración total de un sismograma (desde la llegada de P hasta el final de

la coda) es casi independiente de la distancia epicéntral o del acimut y puede ser usada efectivamente como una medida de la magnitud del sismo [Soloviev, 1965; Tsumura, 1967; Lee et al., 1972].

3.- El espectro de potencia (conjunto de las potencias asociadas a cada componente de frecuencia o armónica) de las ondas de coda de sismos locales decae en función del tiempo (medido desde el origen del evento), independiente de la distancia y la naturaleza de la trayectoria entre el epicentro y la estación, así como de la magnitud del sismo, al menos para temblores con magnitud menor que 6 [Aki, 1969; Aki y Chouet, 1975].

4.- La excitación de la coda depende de la geología local del sitio de la estación. Puede ser de 5 a 8 veces mayor en los sedimentos que en granito [Aki, 1969].

5.- El estudio de la coda para un arreglo de pequeña apertura de sismógrafos muestra que no son ondas planas regulares viniendo desde el epicentro [Aki et al., 1958; Aki y Tsujiura, 1959; Scheimer y Landers, 1974].

Las ondas coda son utilizadas para determinar el factor de calidad (Q_c) del medio que circunda el foco de un sismo. De acuerdo a la ecuación 2.1 la atenuación es el inverso de Q_c y mide el decaimiento en amplitud con el paso del tiempo de las ondas coda de un sismo después de la llegada de las ondas primarias. Se han implementado diversas técnicas para calcular Q_c lo cual ha sido útil en el estudio de la atenuación sísmica, estructura de

velocidad y corteza, así como de las variaciones temporales del estado dinámico de una zona [Aki y Chouet, 1975; Sato, 1977; Phillips y Aki, 1986]

2.1.4.- Métodos para Calcular Q_c

Hasta ahora existen diversos métodos para calcular Q_c . En este estudio se utilizan los métodos de Aki y Chouet [1975], Sato [1977] y Phillips y Aki [1986], los cuales se describen más adelante. Estas técnicas han sido incorporadas en varios programas de computadoras como: QCODA [Valdez-González y Novelo-Casanova, 1991], CODAQ [Novelo-Casanova y Monfret, 1993], entre otros. A continuación se da una breve descripción de estos métodos y las técnicas que se aplican.

2.1.4.1.- Método de Aki y Chouet [1975]

Aki y Chouet [1975] representaron la amplitud de las ondas coda $A(\omega, t)$ en función de la frecuencia angular ω en un tiempo t medido desde el origen del sismo como

$$A(\omega, t) = ct^{-a} e^{-\omega t / 2Q_c} \quad 2.3$$

donde c representa el factor fuente de coda a la frecuencia particular, a es una constante que depende de la dispersión geométrica y Q_c es el factor

de calidad. Considerando $a=1$ (ondas de cuerpo), $\omega = 2\pi f$ y pasando t a la izquierda, la ec. 2.3 se puede escribir como [Novelo-Casanova y Lee, 1991]:

$$A(f, t) = ce^{-\pi f t / Q_c} \quad 2.4$$

Tomando el logaritmo a ambos lados de la ec. 2.4 se obtiene

$$\log_{10}[A(f, t)] = C - bt \quad 2.5$$

donde C es el $\log_{10} c$ y b está relacionado al factor Q_c por la expresión:

$$b = (\log_{10} e) f / Q_c \quad 2.6$$

Este método considera que la fuente y el receptor están en el mismo punto y que los agentes dispersores se encuentran distribuidos alrededor de la fuente y además asume que la radiación es esférica. Q_c se calcula a partir de dos veces el tiempo de viaje de la onda S .

2.1.4.2.- Método de Sato [1977]

Este método se basa en que la energía es radiada esféricamente desde una fuente puntual durante un corto tiempo y la dispersión es isotrópica. Los agentes dispersores son las fracturas, fallas y anomalías de velocidad y densidad. La razón entre la densidad media de energía de las

ondas de dispersión E_S y la energía de la onda S original se puede aproximar por el cuadrado de la razón de amplitud $(A_s/A_c)^2$ para un sismograma filtrado con un pasa-banda centrado a una frecuencia f como [Novelo-Casanova y Lee, 1991]:

$$\log_{10}[(A_s/A_c)^2 K(\alpha)] = 2b(t-t_s) - C \quad 2.7$$

donde A_S es la amplitud máxima de la onda S, A_c es la amplitud de la coda alrededor del tiempo t medido desde el origen del evento, y

$$K(\alpha) = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{\alpha+1}{\alpha-1} \quad 2.8$$

donde

$$\alpha = t/t_s$$

t_s es el tiempo de viaje de la onda S y $K(\alpha)$ es la dispersión geométrica.

El lado izquierdo de la ec. 2.7 se obtiene midiendo las amplitudes A_s y A_c a lo largo de ventanas móviles de la coda y $K(\alpha)$ de los valores de t_s y t . Q_c puede determinarse de la pendiente de la recta definida por 2.7 y la ecuación 2.6.

2.1.4.3.- Método de Phillips y Aki [1986]

Este método es una implementación en el dominio de la frecuencia del método de Aki y Chouet [1975]. El espectro de potencia $P(f,t)$ de la

amplitud de las ondas coda se expresa como [Aki y Chouet, 1975; Novelo-Casanova y Lee, 1991]:

$$\log_{10}[P(f,t)/K(\alpha)] = C - 2bt \quad 2.8$$

donde la divergencia geométrica $K(\alpha)$ (ec. 2.8) es equivalente al factor t^{-2} para ondas de cuerpo de Aki y Chouet [1975]. El espectro de potencia $P(f,t)$ en 2.8 es evaluado con la transformada rápida de Fourier en ventanas móviles traslapadas. Q_c es obtenido de la pendiente de la ec. 2.9 y la expresión 2.6.

2.2.- Programa Utilizado

Para calcular Q_c se empleó el programa QCODA [Valdez-González y Novelo-Casanova, 1991], el cual utiliza los tres métodos anteriormente descritos. Este programa lee los datos digitales de un archivo en formato binario conteniendo las trazas de un evento, las cuales son desplegadas una a una en la pantalla de la computadora. Esta última característica permite al usuario seleccionar la ventana en que se calculará Q_c . Se debe proporcionar al programa el tiempo de viaje de la onda S para cada estación.

Novelo-Casanova y Lee [1991], demostraron que es conveniente determinar Q_c utilizando diferentes técnicas debido a que alguno de los métodos puede generar un resultado erróneo el cual se puede detectar

comparándolo con los resultados de los otros métodos. También concluyeron que una alternativa para obtener el Q_c "real" es determinando el promedio de los resultados obtenidos por las diferentes técnicas con desviaciones estándares (σ) menores o iguales al 25 %. Estos criterios fueron aplicados en este estudio para obtener Q_c de cada evento.

Además, en el presente trabajo se desarrollaron varios programas para: a) separar los datos con σ menores o iguales al 25 %, b) promediar estos datos por cada frecuencia en cada evento, c) separar los resultados por frecuencia y por estación y d) promediar los resultados de diferentes eventos para cada estación y frecuencia.

Capítulo 3

Datos Utilizados

3.1.- Eventos Sísmicos

Para realizar este estudio se utilizaron los datos digitales (1944 sismogramas) de 497 sismos de un total de 1533 registrados por la Red Telemétrica de Parkfield para el período de abril de 1984 a diciembre de 1990. Los eventos fueron localizados por el USGS (Menlo Park, California). En el Anexo 2 se presentan los parámetros sísmicos de los eventos analizados.

Todos los eventos tienen magnitud menor a 3 y la mayoría se localiza al noroeste de Parkfield en un rango de profundidad entre 3 y 12 kilómetros. La Figura 3.1 presenta el mapa de sismicidad para el período de estudio y la distribución epicentral de los eventos utilizados en nuestro análisis. Se observa baja sismicidad al sureste de Parkfield.

Los 497 eventos fueron seleccionados considerándose aquellos con trazas claras o con poco ruido y cuyas determinaciones epicentrales eran precisas atendiendo al número de estaciones y a los bajos residuales en las estimaciones. El error medio cuadrático (rms) máximo permitido de los residuales en los tiempos de viaje de las fases P y S fue de 0.2, aunque el 93% de las localizaciones tiene rms menor a 0.1. Los errores horizontal y vertical permitidos son menores a 1 kilómetro.

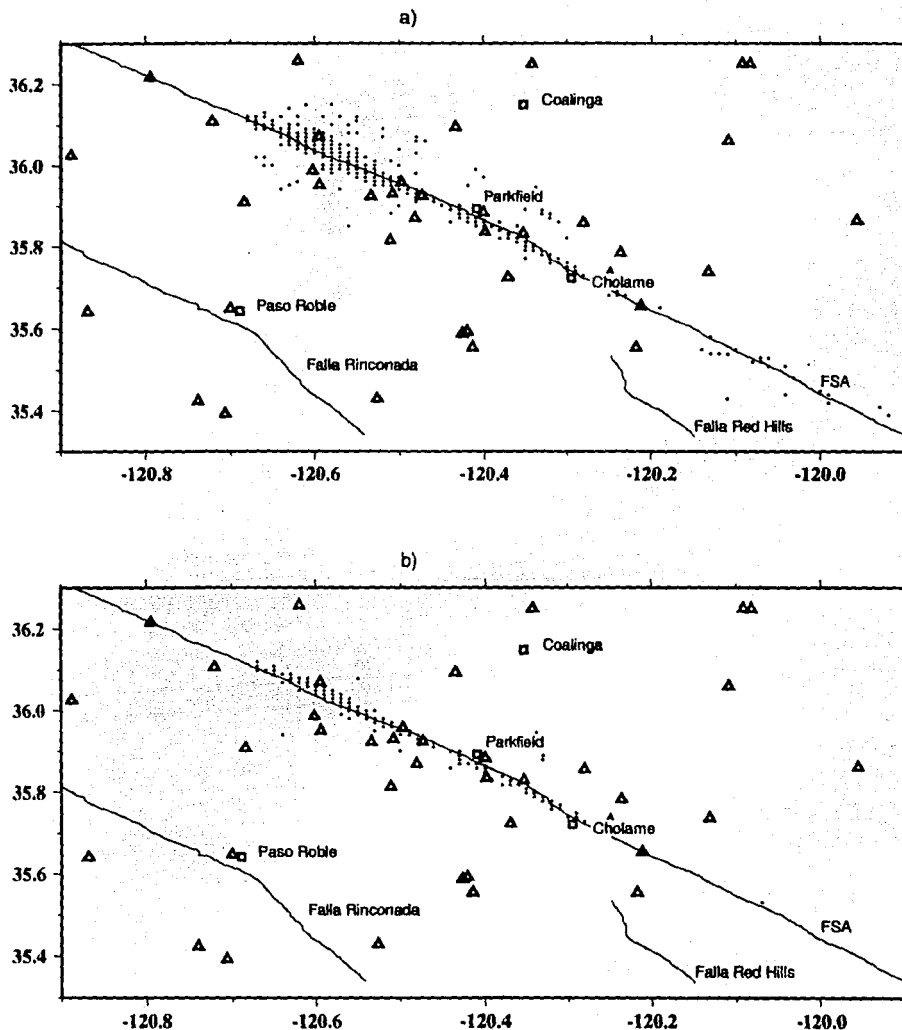


Fig.3.1.- Mapas del área de Parkfield mostrando a) la sismicidad en la zona para el período Abril de 1984 a Diciembre de 1990 y b) la distribución epicentral de los eventos utilizados en el presente estudio. Los círculos representan los epicentros, los triángulos las estaciones y los cuadrados los lugares señalados y la Falla de San Andrés se denota por FSA.

3.2.- Información Geológica y Sísmica

En el área de estudio la falla de San Andrés separa dos materiales litológicamente muy diferentes, el bloque Saliniano al SO y el Ensamblaje Franciscano y la secuencia del Gran Valle al NE [Page, 1981; Irwin, 1991; y Eberhart-Phillips y Michael, 1993]. La Figura 3.2 es un mapa geológico del área, tomado de Sims [1993] y la Figura 3.3 es un diagrama esquemático de parte de Los Rangos Costeros mostrando las relaciones estructurales entre las principales unidades litológicas cortadas por la falla de San Andrés [Irwin, 1993].

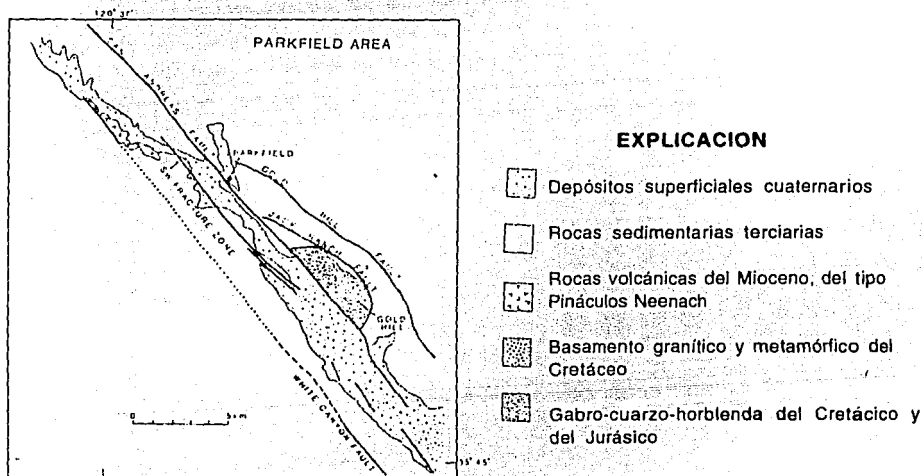


Fig.3.2.- Mapa geológico del área de Parkfield [Sims 1993].

EXPLICACION



Secuencia del Gran Valle y la ofiolita de los Rangos Costeros en la base



Bloque Saliniano



Ensamblaje Franciscano



Estratos del Cretáceo Superior y del Terciario



Falla- Punteada donde está cubierta; las flechas indican la dirección del movimiento relativo.

C, Calaveras; H, Hayward; S, Sargent

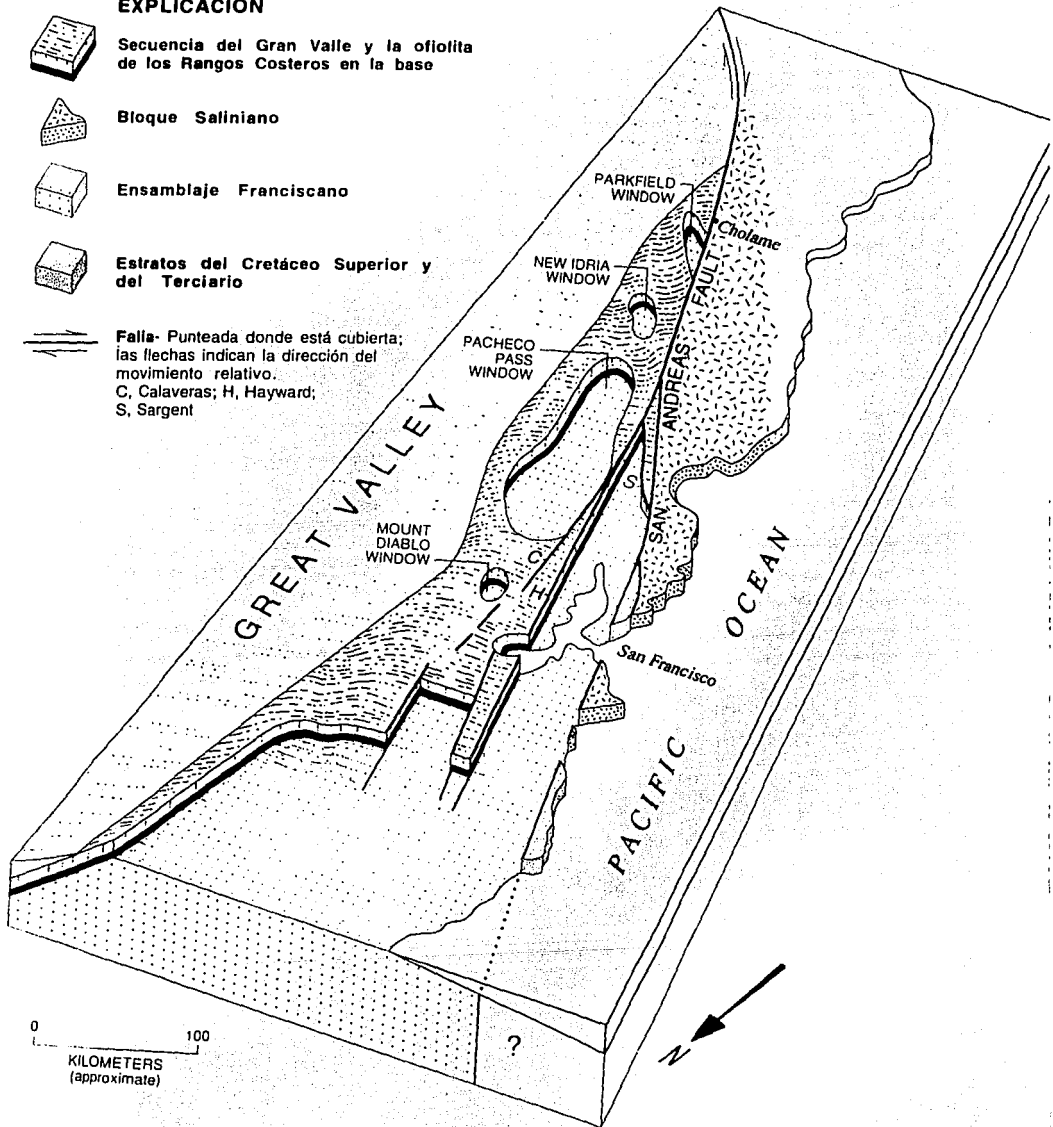


Fig. 3.3.- Diagrama esquemático de bloque de los Rangos Costeros de California, mostrando las relaciones estructurales entre las principales unidades litotectónicas cortadas por la Falla de San Andrés. La ofiolita de los Rangos Costeros yace en la base de la secuencia del Gran Valle y está separada de las rocas Franciscanas subyacentes por la cabalgadura de los Rangos Costeros (Irwin, 1990).

Por otro lado la Fig. 3.4 muestra los perfiles de velocidad perpendiculares a la falla obtenidos por Eberhart-Phillips y Michael [1993] y que fueron utilizados en el presente estudio para obtener la distribución de velocidad a lo largo de dos líneas paralelas y separadas 4 kilómetros una al NE y la otra al SO de la falla (Fig. 3.5). Para obtener esta distribución se interpoló linealmente los valores para los diferentes niveles de profundidad de cada perfil. La distribución de la velocidad es diferente en cada lado y varía tanto con la profundidad como lateralmente. El bloque SO tiene mayores velocidades que el NE, donde la falla produce un cambio brusco evidenciando ser una interfase entre dos materiales diferentes.

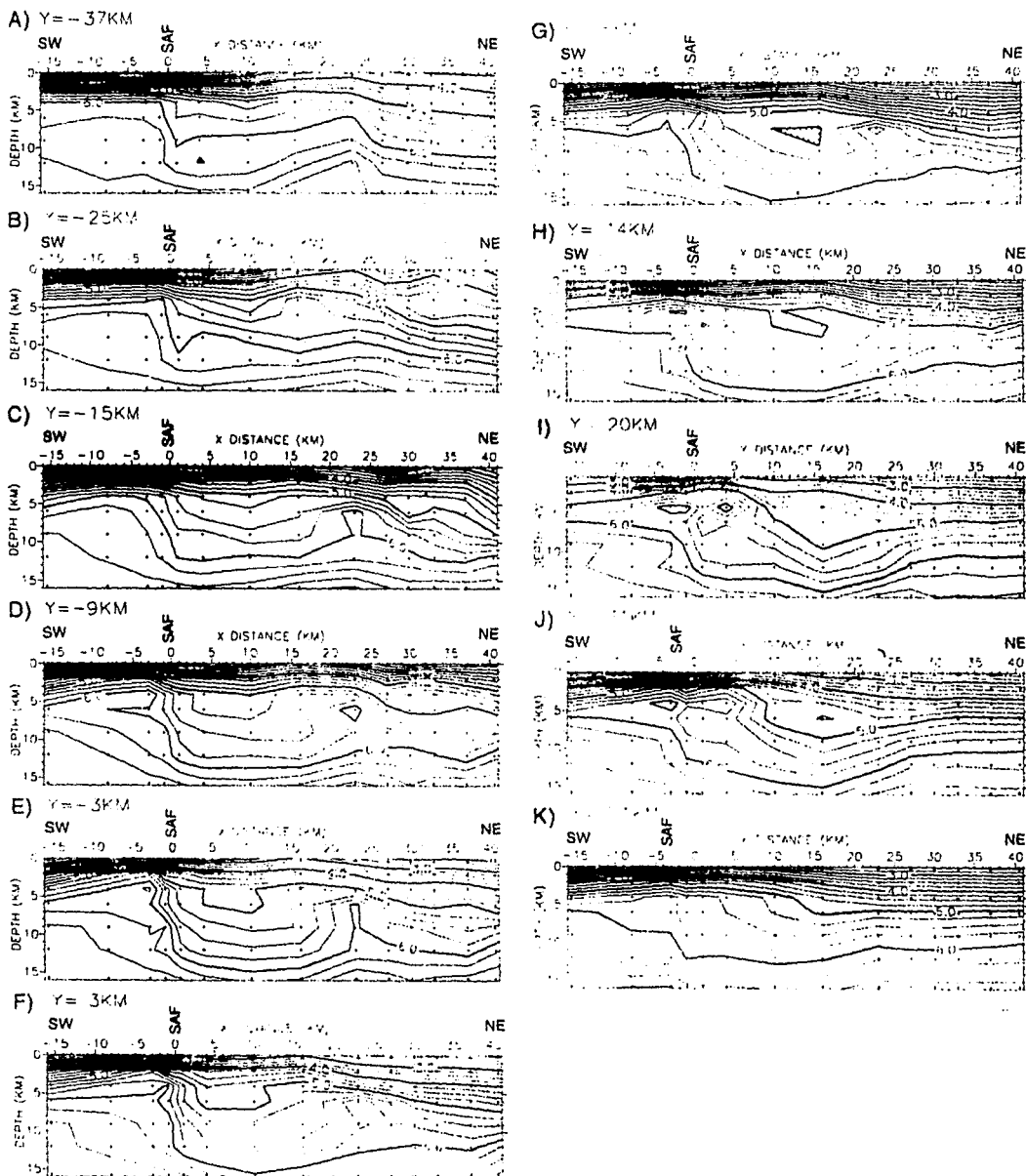


Fig. 3.4.- Perfiles de velocidad perpendiculares a la Falla de San Andrés en el área de Parkfield, obtenidos por Eberhart-Phillips y Michael [1993]. Los contornos están cada 0.25 km/seg. La distancia Y es medida respecto a Middle Mountain (bloque 4), negativa hacia el NO y positiva hacia el SE.

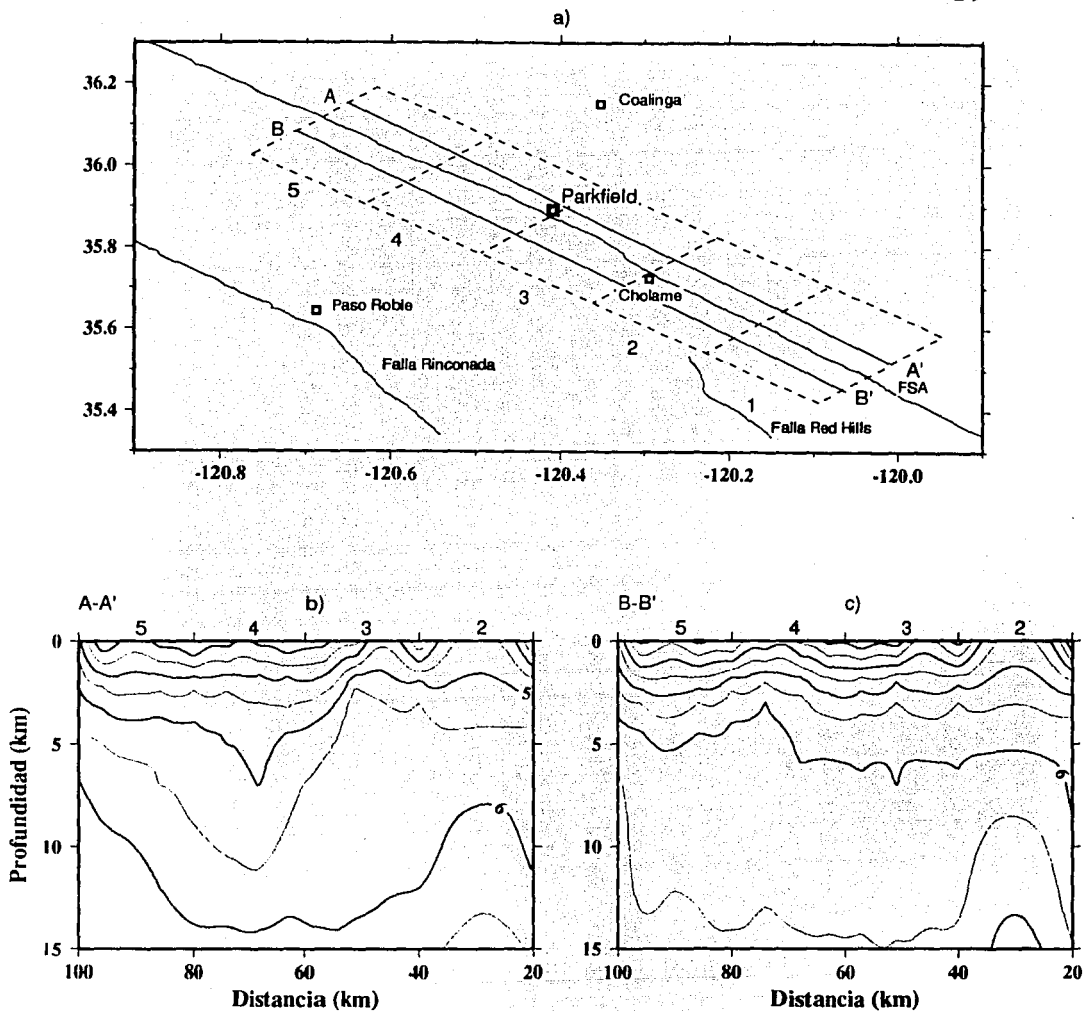


Fig. 3.5.- a) Mapa del área de Parkfield mostrando la posición de los perfiles AA' y BB' a lo largo de los cuales se obtuvieron los contornos de velocidad mostrados en b) y c) respectivamente (Eberhart-Phillips y Michael, 1993). Los contornos están cada 0.5 km/seg. La distancia en km es medida a partir del origen del bloque 1 el cual no se incluye en los perfiles.

Capítulo 4

Resultados

Los valores de Q_c se calcularon para cinco bandas de frecuencias centradas a 1.5, 3, 6, 12 y 24 Hz con la finalidad de analizar su dependencia con la frecuencia. La ventana utilizada para los cálculos fue de 15 segundos a partir de la llegada de la onda S.

Después de calculado Q_c por los diferentes métodos para cada evento, se determinó el promedio para cada frecuencia. Se dividió la zona de estudio en bloques de 20 kms por 20 kms (Fig. 4.1), de tal manera que la estación con que se calculó Q_c en el bloque quedase dentro del mismo para determinar la distribución de Q_c con la profundidad en los rangos de: 0-3, 3-7, 7-12 y 12-15 kilómetros (Fig. 4.2).

Como cada bloque está dividido por la falla, se utilizó una estación para calcular Q_c a ambos lados de la falla. Sólo el bloque 1 es la excepción porque no hay estaciones localizadas en el mismo y se utilizaron las situadas en el bloque 2 (Fig. 4.1).

El valor de Q_c en cada bloque y para cada rango de profundidad se obtuvo promediando los valores de los eventos correspondientes para cada frecuencia, considerando los errores de cada cálculo.

Los resultados de Q_c obtenidos aparecen en las Tablas 4.1 a 4.4 y en las Figuras 4.1 a 4.25. Los bloques en que no aparecen datos carecen de eventos o los errores de cálculo son mayores a los tolerados (menores al 25%). Con el fin de comparar los valores de Q_c obtenidos a ambos lados de la falla, para eventos ocurridos en cada rango de profundidad, en las Figuras 4.1 a 4.5 se muestra la distribución de Q_c para cada frecuencia y considerando estos parámetros. Asimismo, para analizar el comportamiento de Q_c para los eventos ocurridos en diferentes rangos de profundidad en cada uno de los bloques en que se dividió la zona de estudio, en las Figuras 4.6 y 4.7 se presentan los valores de Q_c versus profundidad para cada frecuencia en los lados suroeste y noreste de la falla respectivamente. El resumen de estos resultados se presenta en las Tablas 4.1 y 4.2. La estación que aparece nombrada en cada lado de cada bloque fue la utilizada en el cálculo del valor correspondiente. Para el bloque 1 se utilizaron las estaciones PAG y PTR que se encuentran en el bloque 2, por ser las más cercanas a dicho bloque. En este caso los resultados no cumplen las mismas condiciones de los demás bloques, en los cuales los eventos se localizan debajo de la estación con una separación máxima entre los epicentros menor a 20 kilómetros.

Las Figuras 4.8 a 4.19 corresponden a los resultados obtenidos para eventos y estación localizados en los lados opuestos del bloque y se resumen en las Tablas 4.3 y 4.4. Esto se hizo con la finalidad de estudiar el efecto de la falla sobre Q_c al ser atravesada por las ondas coda.

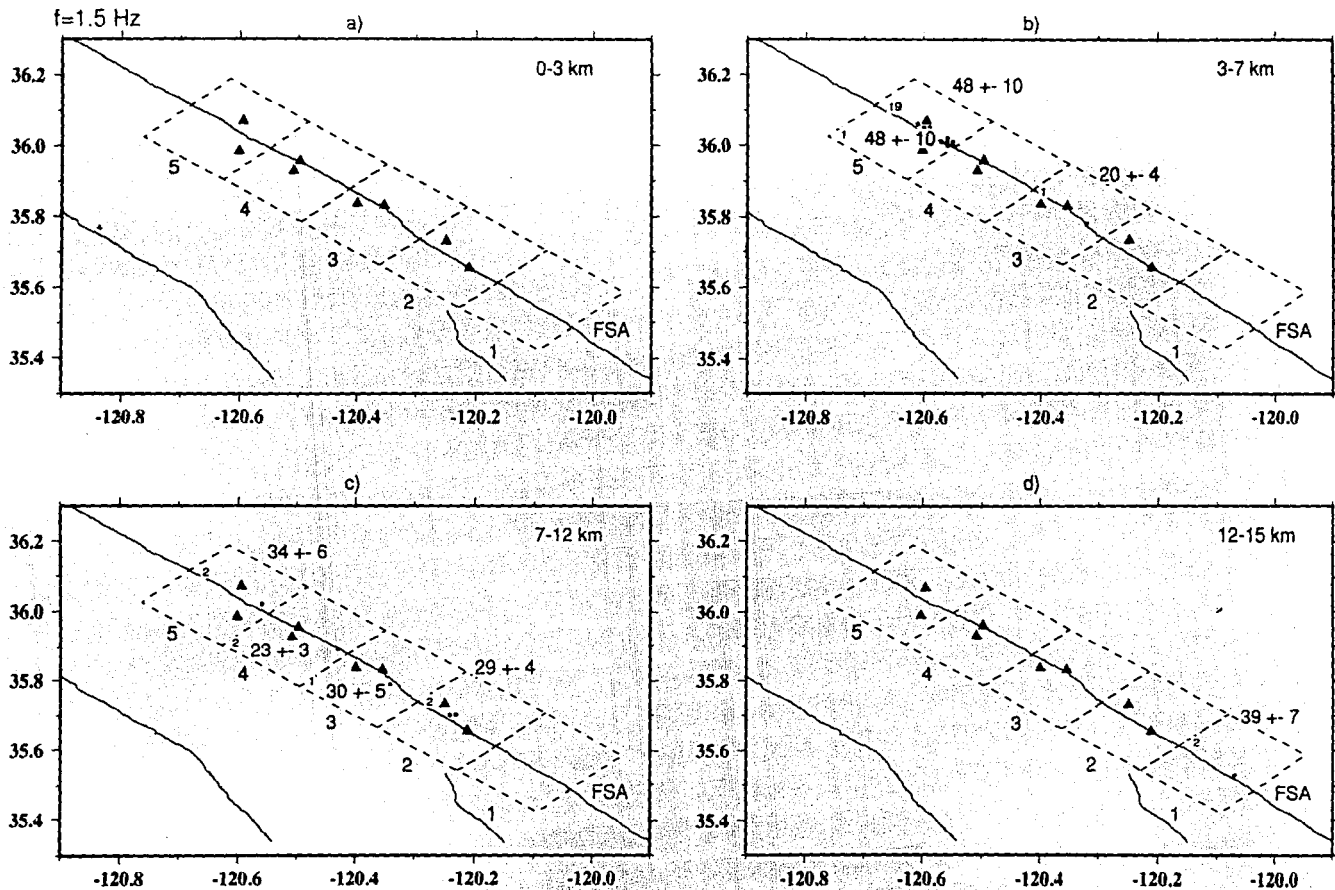


Fig. 4.1.- Mapas del área de Parkfield mostrando numerados los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores de Q_c y su error obtenidos a la frecuencia de 1.5 Hz para los rangos de profundidad de: a) 0-3 kms; b) 3-7 kms; c) 7-12 kms; y d) 12-15 kms. Los círculos representan los epicentros y los triángulos las estaciones utilizadas en los cálculos, los cuales se realizaron con eventos y estaciones colocados en el mismo lado de la falla. El número de eventos utilizados aparece en la esquina inferior izquierda de cada porción de bloque. La Falla de San Andrés se denota por FSA. El eje horizontal representa longitud y el vertical latitud norte en grados.

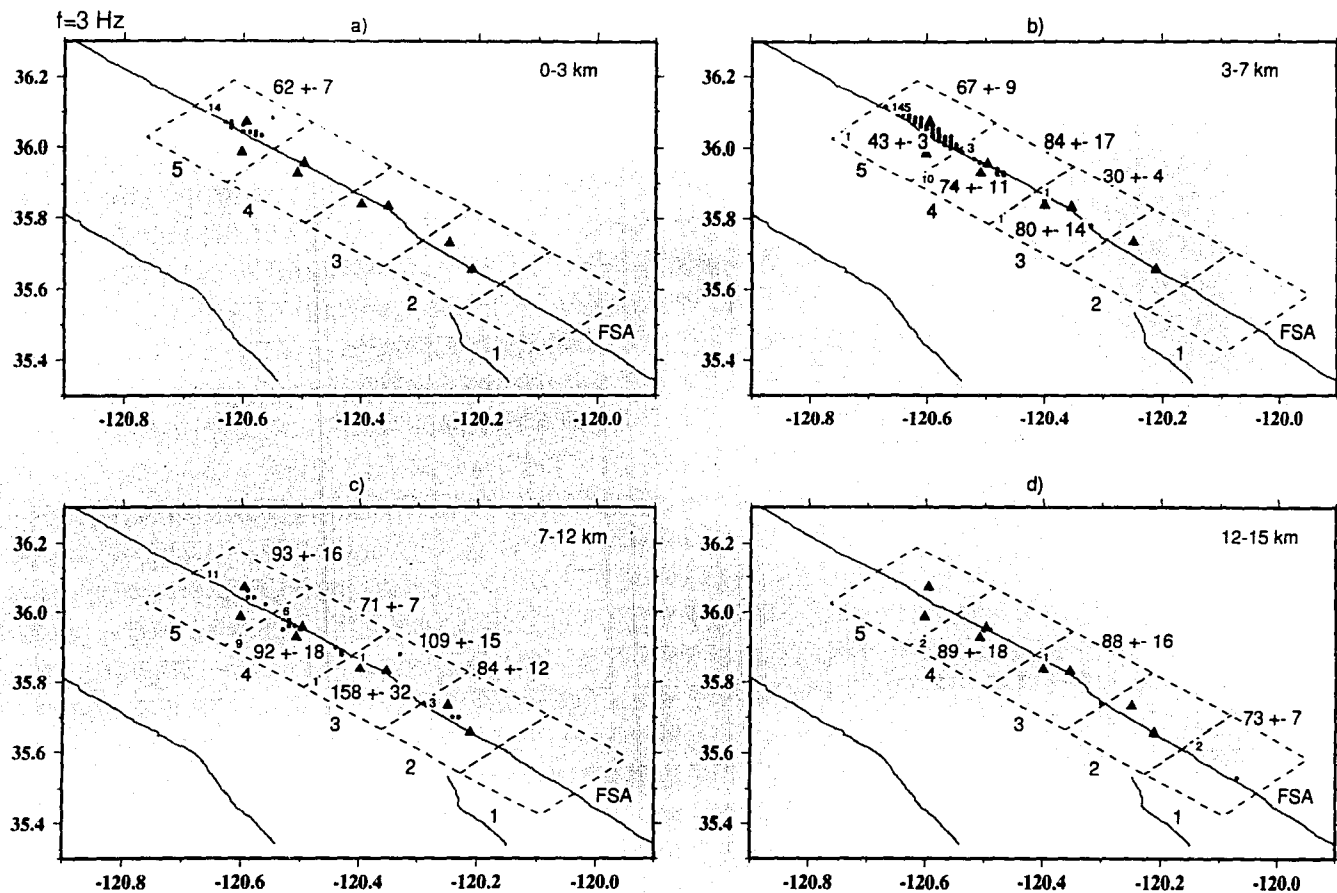


Fig. 4.2.- Mapas del área de Parkfield mostrando numerados los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores de Q_c y su error obtenidos a la frecuencia de 3 Hz para los rangos de profundidad de: a) 0-3 kms; b) 3-7 kms; c) 7-12 kms; y d) 12-15 kms. Los círculos representan los epicentros y los triángulos las estaciones utilizadas en los cálculos, los cuales se realizaron con eventos y estaciones colocados en el mismo lado de la falla. El número de eventos utilizados aparece en la esquina inferior izquierda de cada porción de bloque. La Falla de San Andrés se denota por FSA. El eje horizontal representa longitud y el vertical latitud norte en grados.

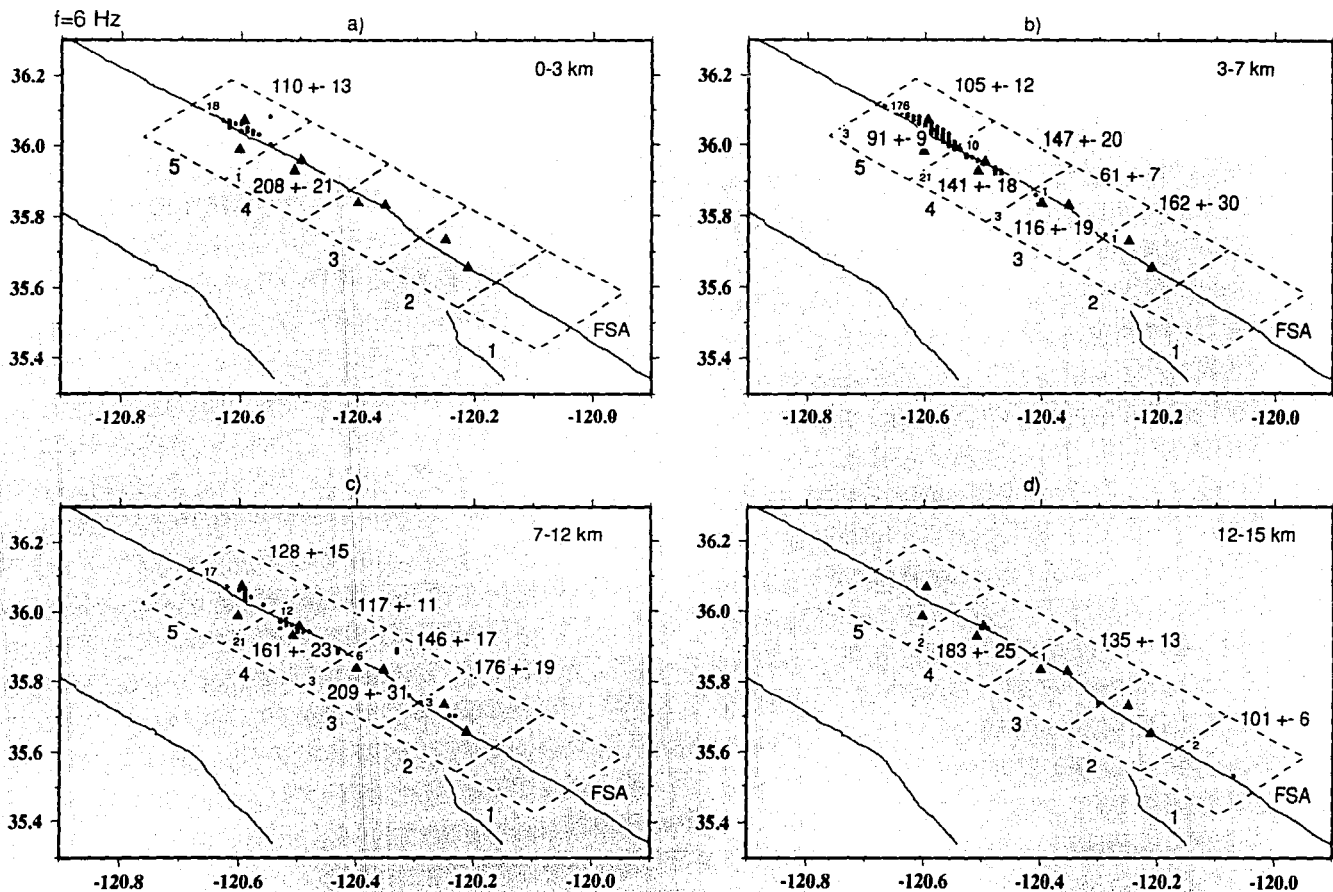


Fig. 4.3.- Mapas del área de Parkfield mostrando numerados los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores de Q_c y su error obtenidos a la frecuencia de 6 Hz para los rangos de profundidad de: a) 0-3 kms; b) 3-7 kms; c) 7-12 kms; y d) 12-15 kms. Los círculos representan los epicentros y los triángulos las estaciones utilizadas en los cálculos, los cuales se realizaron con eventos y estaciones colocados en el mismo lado de la falla. El número de eventos utilizados aparece en la esquina inferior izquierda de cada porción de bloque. La Falla de San Andrés se denota por FSA. El eje horizontal representa longitud y el vertical latitud norte en grados.

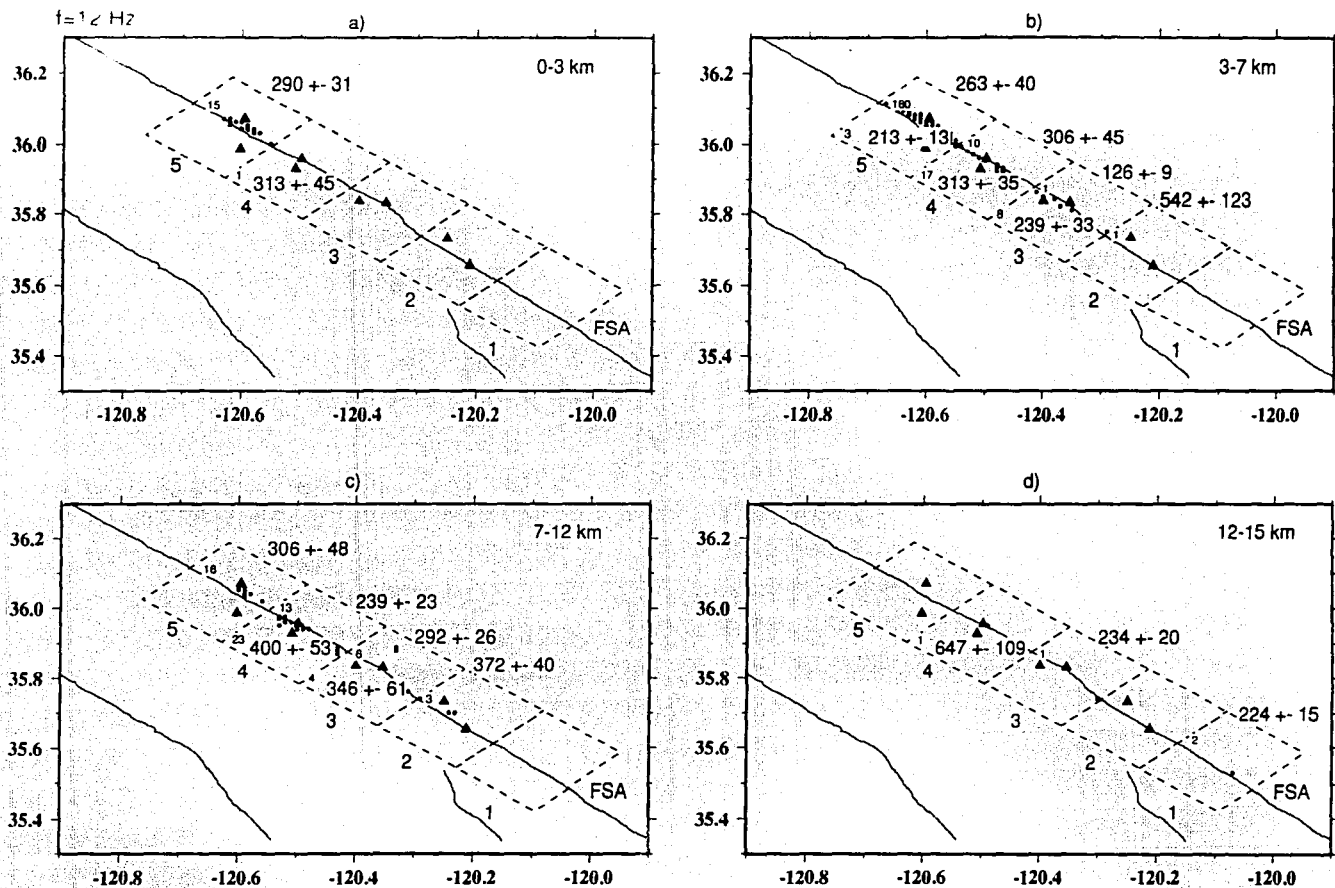


Fig. 4.4.- Mapas del área de Parkfield mostrando numerados los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores de Q_c y su error obtenidos a la frecuencia de 12 Hz para los rangos de profundidad de: a) 0-3 kms; b) 3-7 kms; c) 7-12 kms; y d) 12-15 kms. Los círculos representan los epicentros y los triángulos las estaciones utilizadas en los cálculos, los cuales se realizaron con eventos y estaciones colocados en el mismo lado de la falla. El número de eventos utilizados aparece en la esquina inferior izquierda de cada porción de bloque. La Falla de San Andrés se denota por FSA. El eje horizontal representa longitud y el vertical latitud norte en grados.

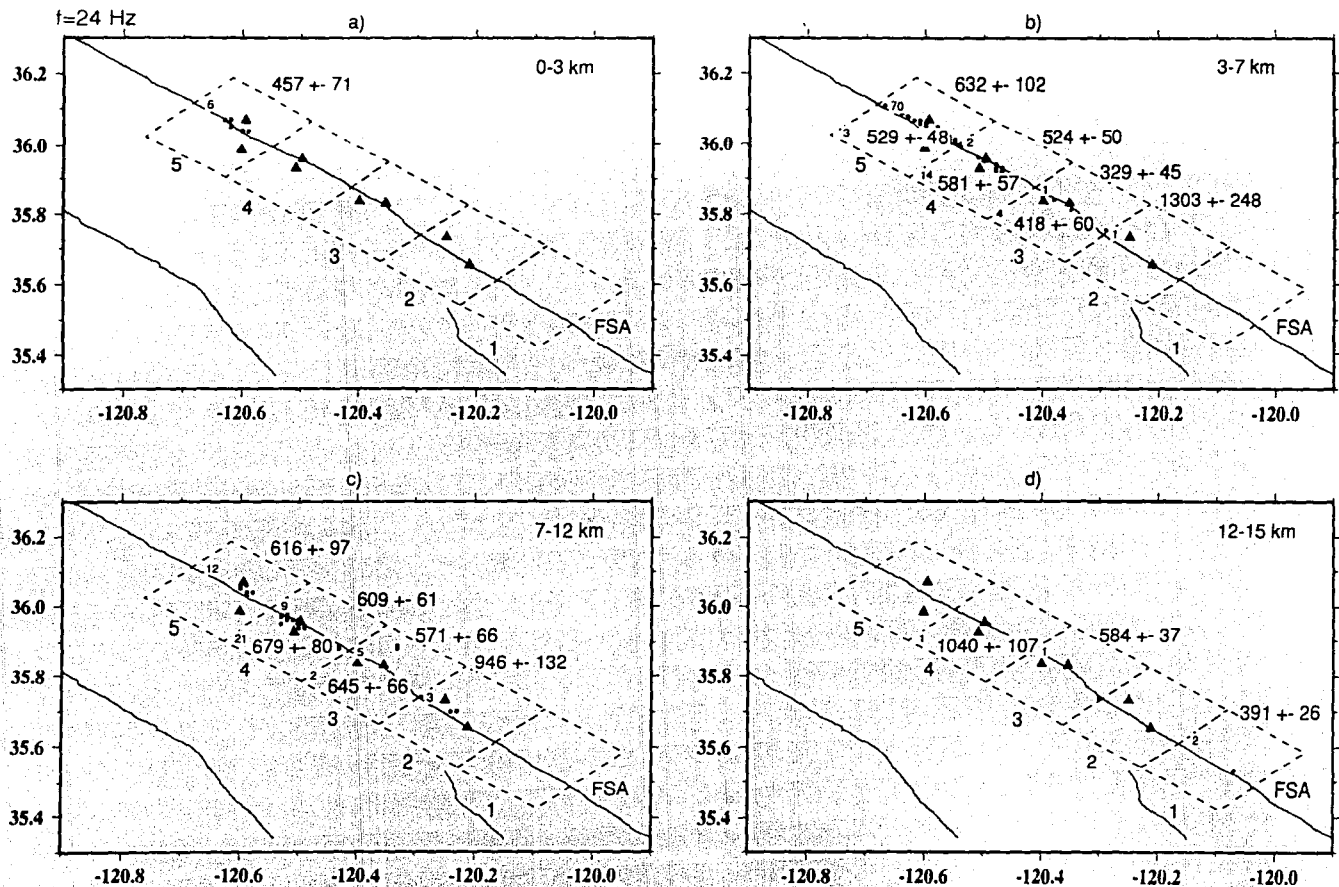


Fig. 4.5.- Mapas del área de Parkfield mostrando numerados los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores de Q_c y su error obtenidos a la frecuencia de 24 Hz para los rangos de profundidad de: a) 0-3 kms; b) 3-7 kms; c) 7-12 kms; y d) 12-15 kms. Los círculos representan los epicentros y los triángulos las estaciones utilizadas en los cálculos, los cuales se realizaron con eventos y estaciones colocados en el mismo lado de la falla. El número de eventos utilizados aparece en la esquina inferior izquierda de cada porción de bloque. La Falla de San Andrés se denota por FSA. El eje horizontal representa longitud y el vertical latitud norte en grados.

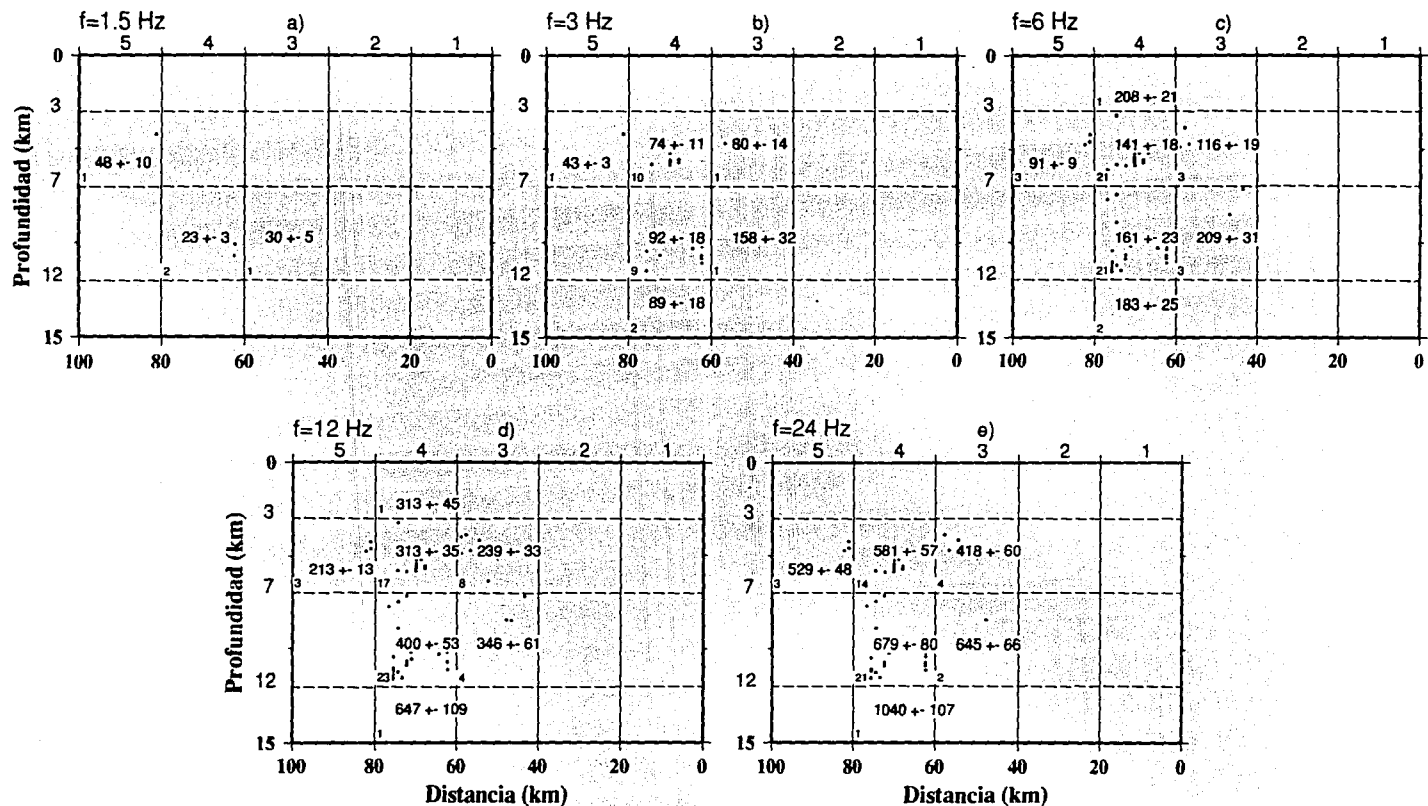


Fig. 4.6.- Perfiles mostrando los valores de Q_c y su error para los eventos distribuidos con la profundidad en la porción SO de cada uno de los bloques en que se dividió la zona de estudio para las frecuencias: a) 1.5 Hz; b) 3 Hz; c) 6 Hz; d) 12 Hz; y e) 24 Hz. Los círculos representan los eventos utilizados en los cálculos, los cuales se realizaron para eventos y estaciones en el lado SO de cada bloque. El número en la esquina inferior izquierda de cada rango de profundidad indica el número de eventos para los cuales se calculó Q_c . Los bloques aparecen numerados. La distancia en km es medida a partir del origen del bloque 1.

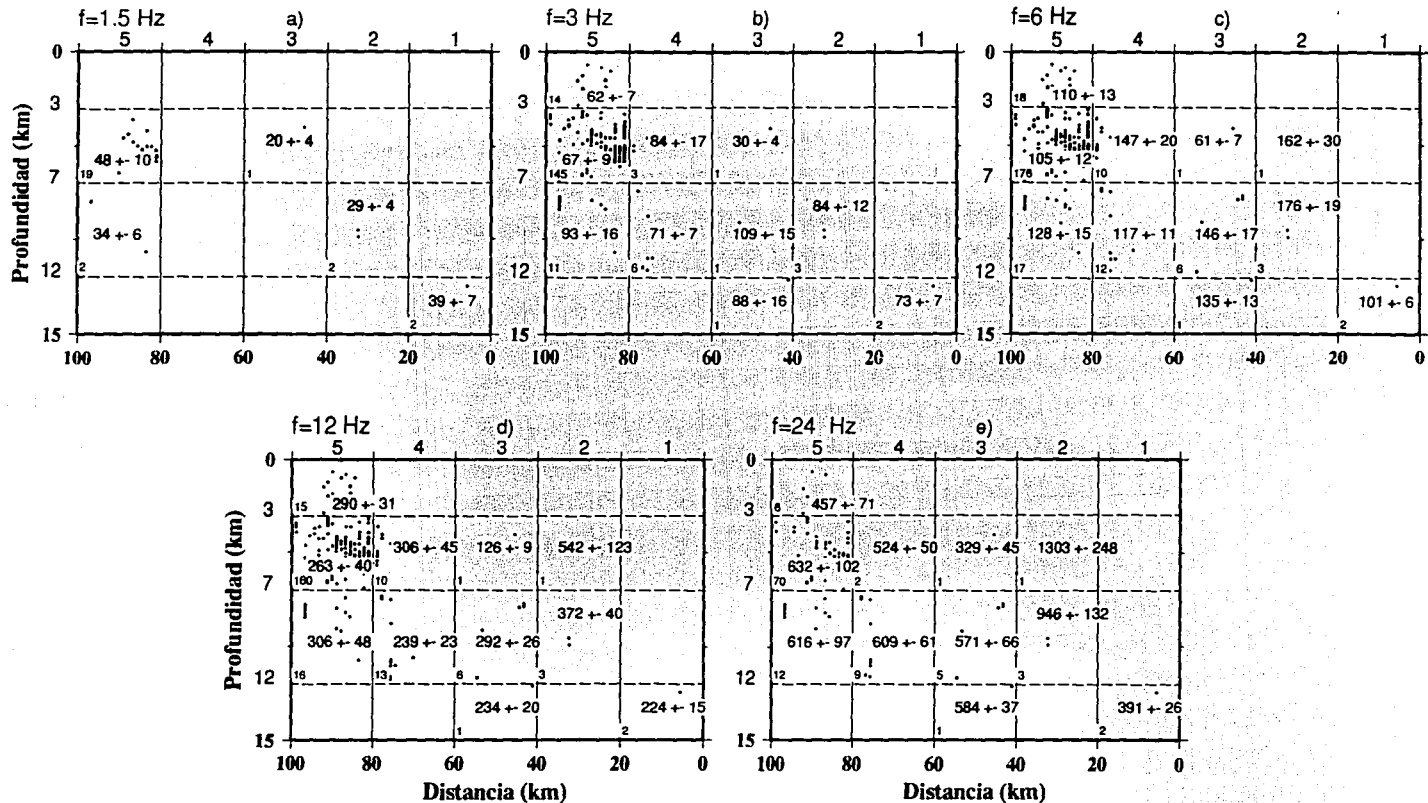


Fig. 4.7.- Perfiles mostrando los valores de Q_c y su error para los eventos distribuidos con la profundidad en la porción NE de cada uno de los bloques en que se dividió la zona de estudio para las frecuencias: a) 1.5 Hz; b) 3 Hz; c) 6 Hz; d) 12 Hz; y e) 24 Hz. Los círculos representan los eventos utilizados en los cálculos, los cuales se realizaron para eventos y estaciones en el lado NE. El número en la esquina inferior izquierda de cada rango de profundidad indica el número de eventos para los cuales se calculó Q_c . Los bloques aparecen numerados. La distancia en km es medida a partir del origen del bloque 1.

Tabla 4.1

Distribución de Q_c con la profundidad para eventos y estaciones situados el SO de la falla para cada frecuencia en cada bloque.

Bloque	Prof. (km)	f=1.5 Hz	f=3 Hz	f=6 Hz	f=12 Hz	f=24 Hz
4	0-3	-	-	208 ± 21	313 ± 45	-
3	3-7	-	80 ± 14	116 ± 19	239 ± 33	418 ± 60
4	"	-	74 ± 11	141 ± 18	313 ± 35	581 ± 57
5	"	48 ± 10	43 ± 03	91 ± 09	213 ± 13	529 ± 48
3	7-12	30 ± 05	158 ± 32	209 ± 31	346 ± 61	645 ± 66
4	"	23 ± 03	92 ± 18	161 ± 23	400 ± 53	679 ± 80
4	12-15	-	89 ± 18	183 ± 25	647 ± 109	1040 ± 107

Tabla 4.2

Distribución de Q_c con la profundidad para eventos y estaciones situados el NE de la falla para cada frecuencia en cada bloque.

Bloque	Prof. (km)	f=1.5 Hz	f=3 Hz	f=6 Hz	f=12 Hz	f=24 Hz
5	0-3	-	62 ± 07	110 ± 13	290 ± 31	457 ± 71
2	3-7	-	-	162 ± 30	542 ± 123	1303 ± 248
3	"	20 ± 04	30 ± 04	61 ± 07	126 ± 09	329 ± 45
4	"	-	84 ± 17	147 ± 20	306 ± 45	524 ± 50
5	"	48 ± 10	67 ± 09	105 ± 12	263 ± 40	632 ± 102
2	7-12	29 ± 04	84 ± 12	176 ± 19	372 ± 40	946 ± 132
3	"	-	109 ± 15	146 ± 17	292 ± 26	571 ± 66
4	"	-	71 ± 07	117 ± 11	239 ± 23	609 ± 61
5	"	34 ± 06	93 ± 16	128 ± 15	306 ± 48	616 ± 97
1	12-15	39 ± 07	73 ± 07	101 ± 06	224 ± 15	391 ± 26
3	"	-	88 ± 16	135 ± 13	234 ± 20	584 ± 37

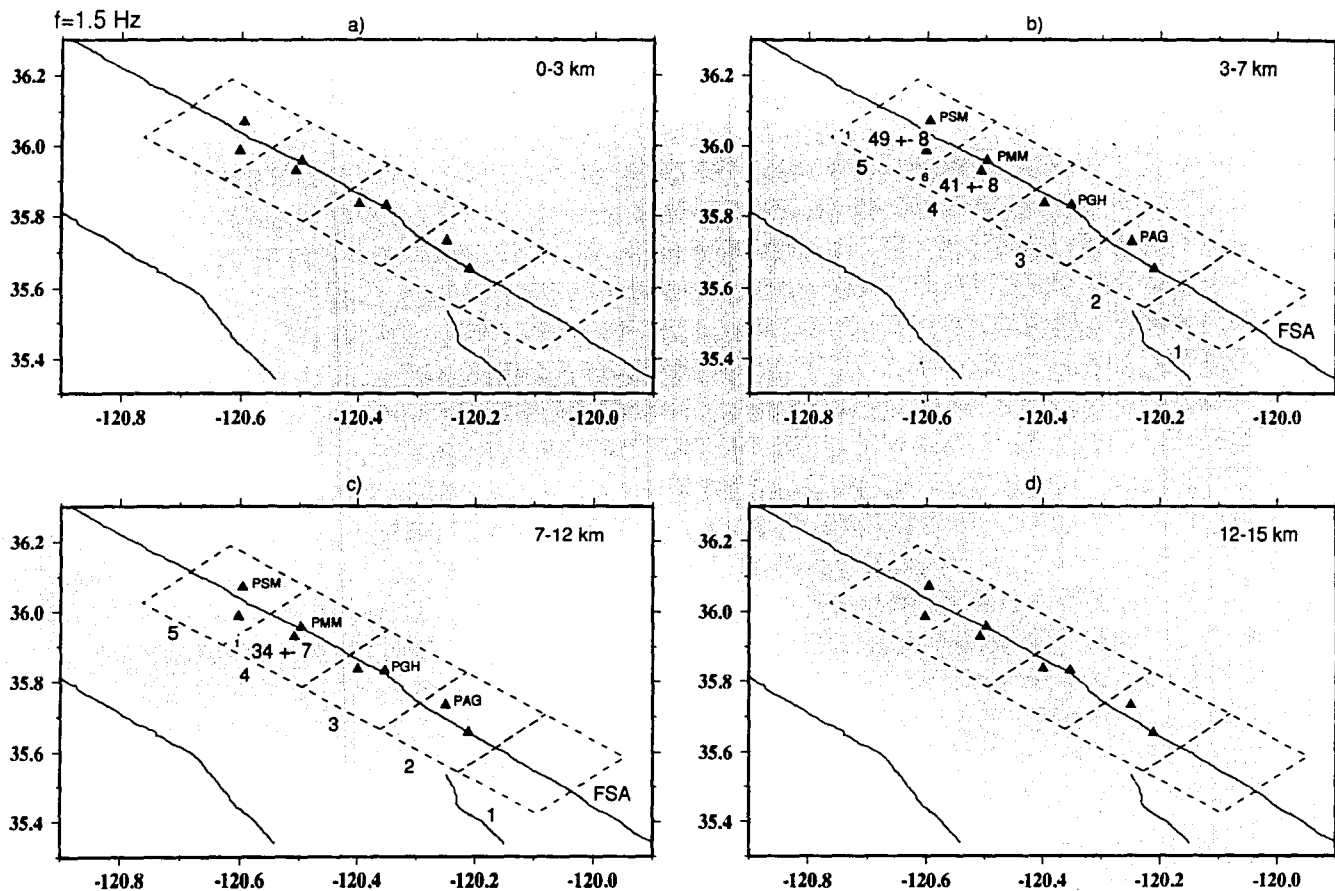


Fig. 4.8.- Mapas del área de Parkfield mostrando numerados los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores de Q_c y su error obtenidos a la frecuencia de 1.5 Hz para los rangos de profundidad de: a) 0-3 kms; b) 3-7 kms; c) 7-12 kms; y d) 12-15 kms. Los círculos representan los epicentros y los triángulos las estaciones utilizadas en los cálculos, los cuales corresponden a eventos y estaciones colocados en los lados SO y NE de la falla respectivamente. El número de eventos utilizados aparece en la esquina inferior izquierda de cada porción de bloque. La Falla de San Andrés se denota por FSA. El eje horizontal representa longitud y el vertical latitud norte en grados.

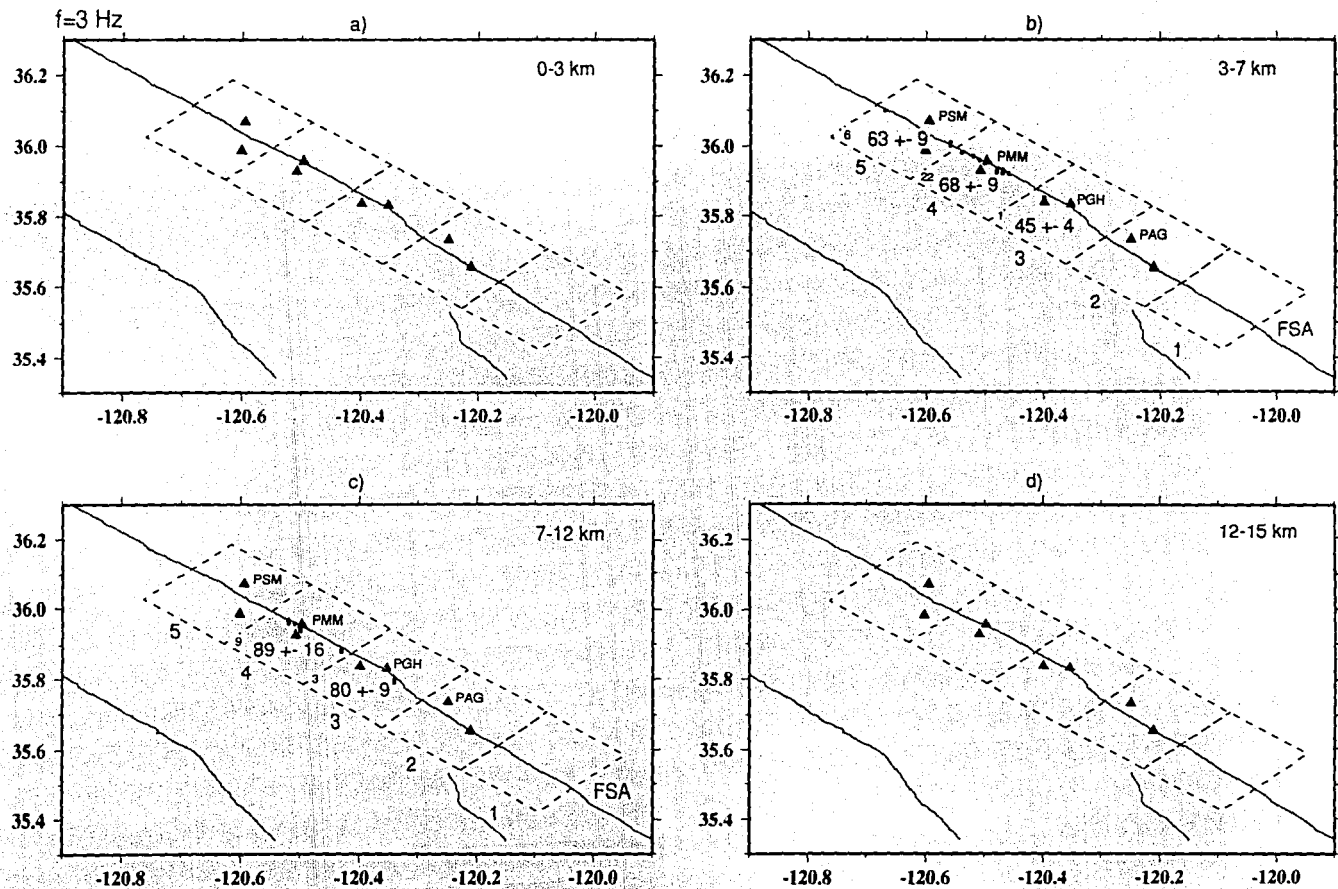


Fig. 4.9.- Mapas del área de Parkfield mostrando numerados los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores de Q_c y su error obtenidos a la frecuencia de 3 Hz para los rangos de profundidad de: a) 0-3 kms; b) 3-7 kms; c) 7-12 kms; y d) 12-15 kms. Los círculos representan los epicentros y los triángulos las estaciones utilizadas en los cálculos, los cuales corresponden a eventos y estaciones colocados en los lados SO y NE de la falla respectivamente. El número de eventos utilizados aparece en la esquina inferior izquierda de cada porción de bloque. La Falla de San Andrés se denota por FSA. El eje horizontal representa longitud y el vertical latitud norte en grados.

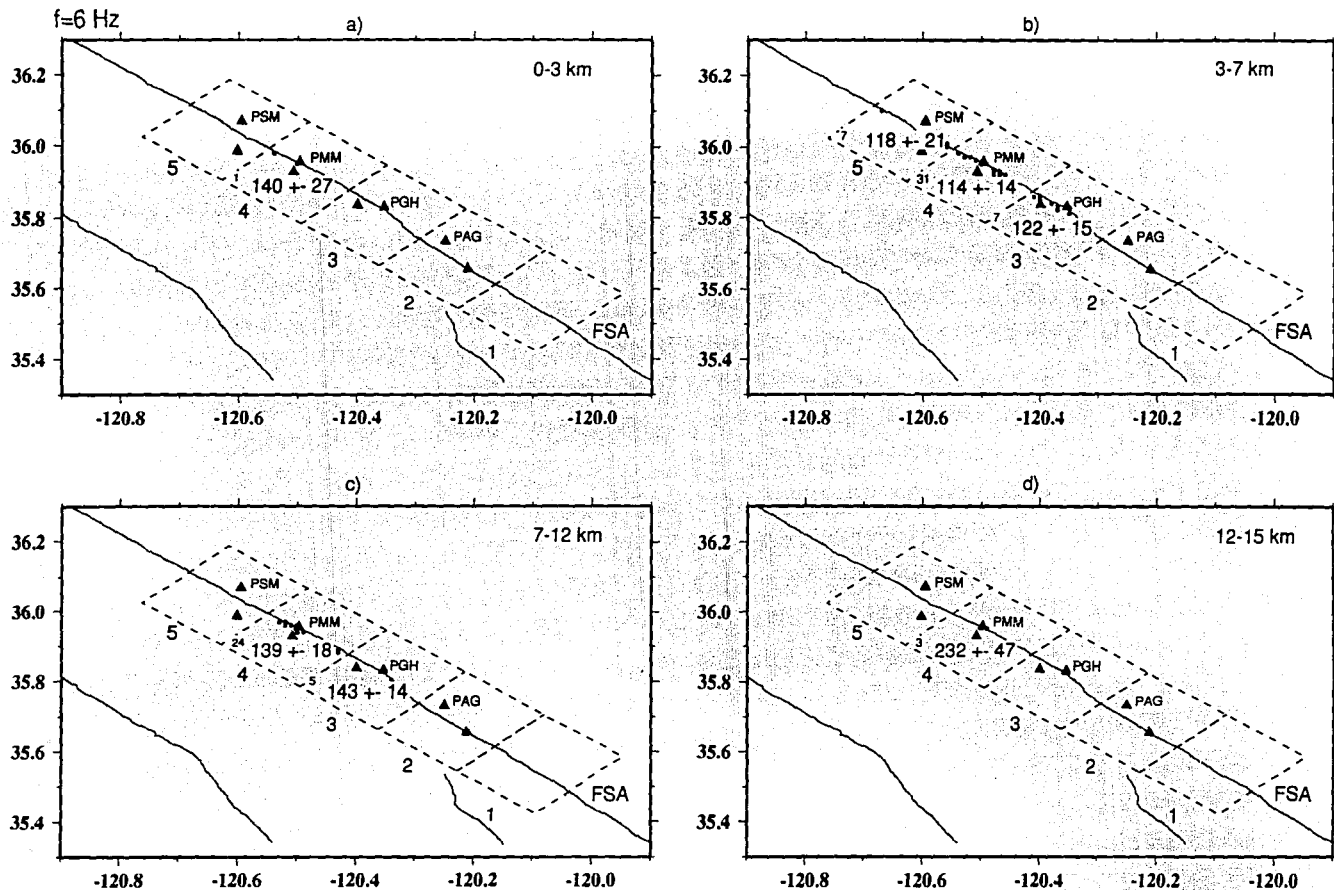


Fig. 4.10.- Mapas del área de Parkfield mostrando numerados los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores de Q_c y su error obtenidos a la frecuencia de 6 Hz para los rangos de profundidad de: a) 0-3 kms; b) 3-7 kms; c) 7-12 kms; y d) 12-15 kms. Los círculos representan los epicentros y los triángulos las estaciones utilizadas en los cálculos, los cuales corresponden a eventos y estaciones colocados en los lados SO y NE de la falla respectivamente. El número de eventos utilizados aparece en la esquina inferior izquierda de cada porción de bloque. La Falla de San Andrés se denota por FSA. El eje horizontal representa longitud y el vertical latitud norte en grados.

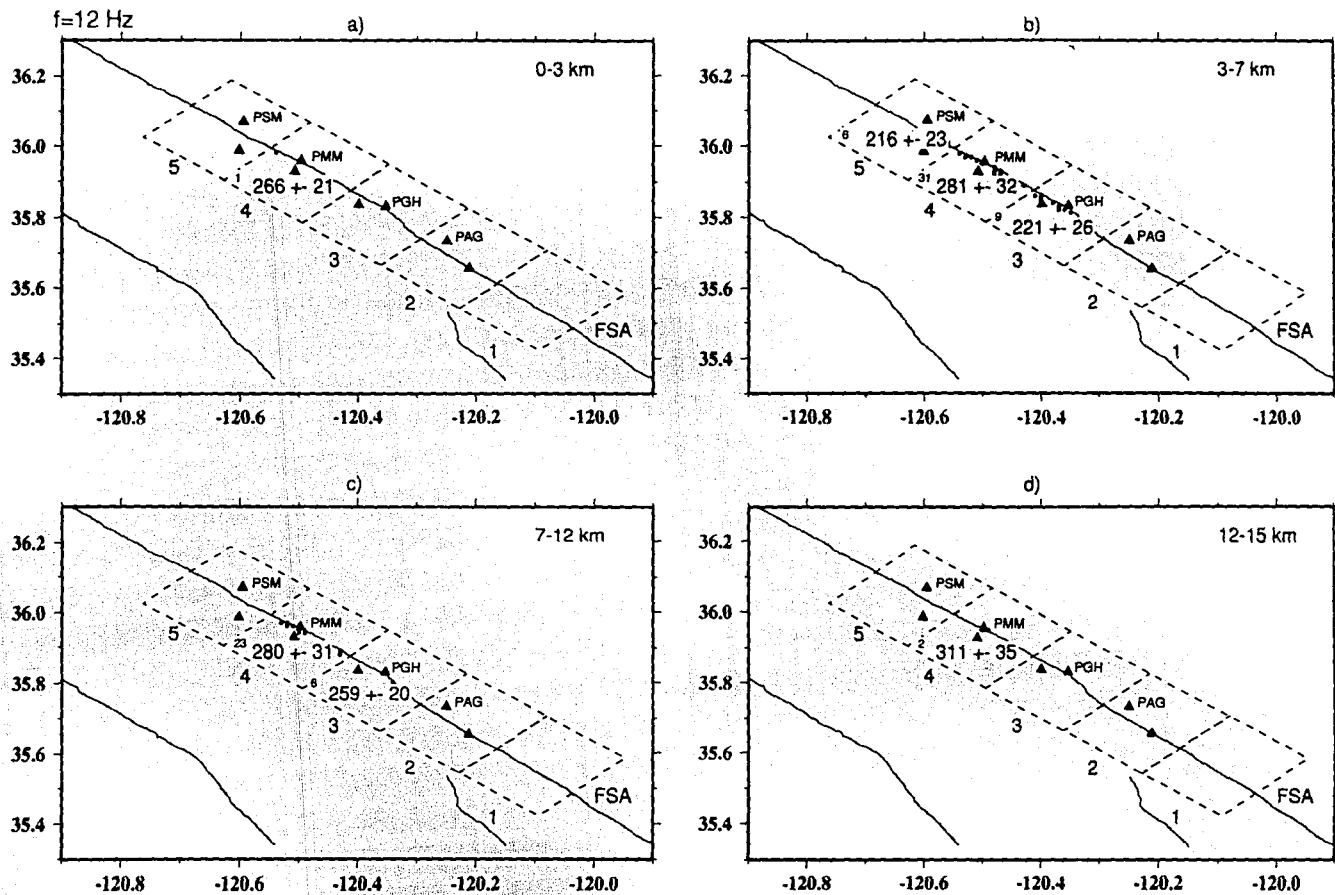


Fig. 4.11.- Mapas del área de Parkfield mostrando numerados los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores de Q_c y su error obtenidos a la frecuencia de 12 Hz para los rangos de profundidad de: a) 0-3 kms; b) 3-7 kms; c) 7-12 kms; y d) 12-15 kms. Los círculos representan los epicentros y los triángulos las estaciones utilizadas en los cálculos, los cuales corresponden a eventos y estaciones colocados en los lados SO y NE de la falla respectivamente. El número de eventos utilizados aparece en la esquina inferior izquierda de cada porción de bloque. La Falla de San Andrés se denota por FSA. El eje horizontal representa longitud y el vertical latitud norte en grados.

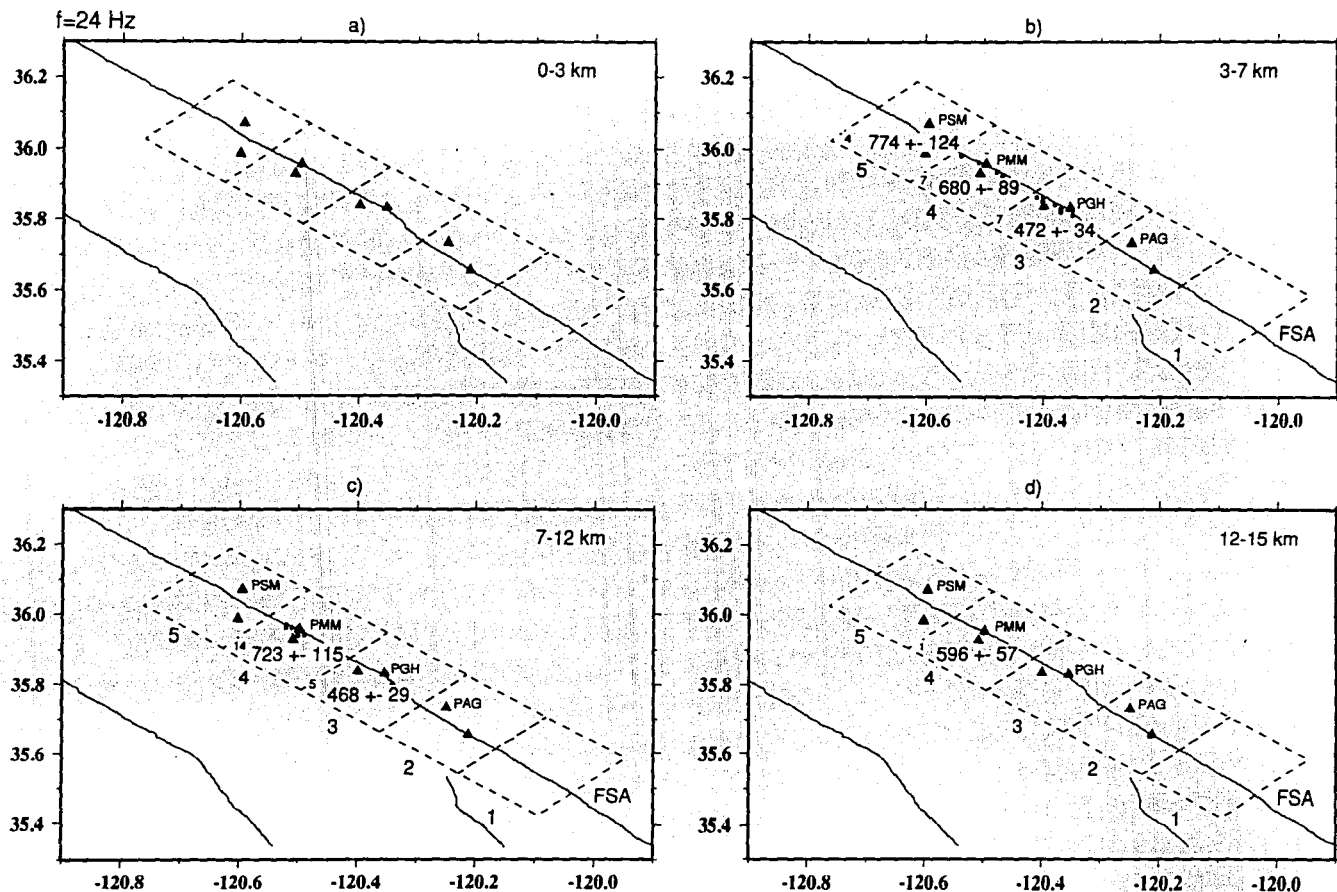


Fig. 4.12.- Mapas del área de Parkfield mostrando numerados los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores de Q_c y su error obtenidos a la frecuencia de 24 Hz para los rangos de profundidad de: a) 0-3 kms; b) 3-7 kms; c) 7-12 kms; y d) 12-15 kms. Los círculos representan los epicentros y los triángulos las estaciones utilizadas en los cálculos, los cuales corresponden a eventos y estaciones colocados en los lados SO y NE de la falla respectivamente. El número de eventos utilizados aparece en la esquina inferior izquierda de cada porción de bloque. La Falla de San Andrés se denota por FSA. El eje horizontal representa longitud y el vertical latitud norte en grados.

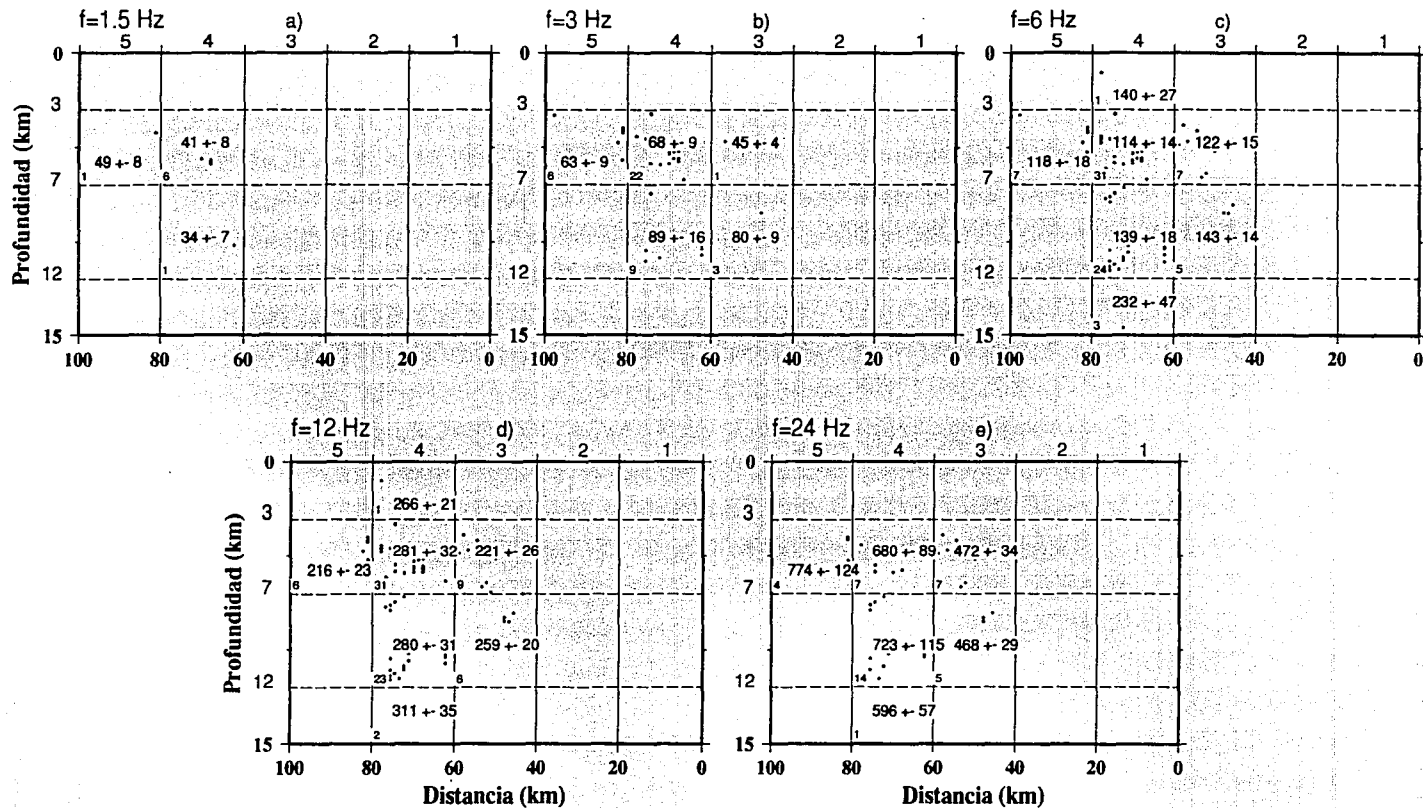


Fig. 4.13.- Perfiles mostrando los valores de Q_c y su error para los eventos distribuidos con la profundidad en la porción SO de cada uno de los bloques en que se dividió la zona de estudio para las frecuencias: a) 1.5 Hz; b) 3 Hz; c) 6 Hz; d) 12 Hz; y e) 24 Hz. Los círculos representan los eventos utilizados en los cálculos, los cuales se realizaron para eventos y estaciones situados en los lados SO y NE de cada bloque respectivamente. El número en la esquina inferior izquierda de cada rango de profundidad indica el número de eventos para los cuales se calculó Q_c . Los bloques aparecen numerados. La distancia en km es medida a partir del origen del bloque 1.

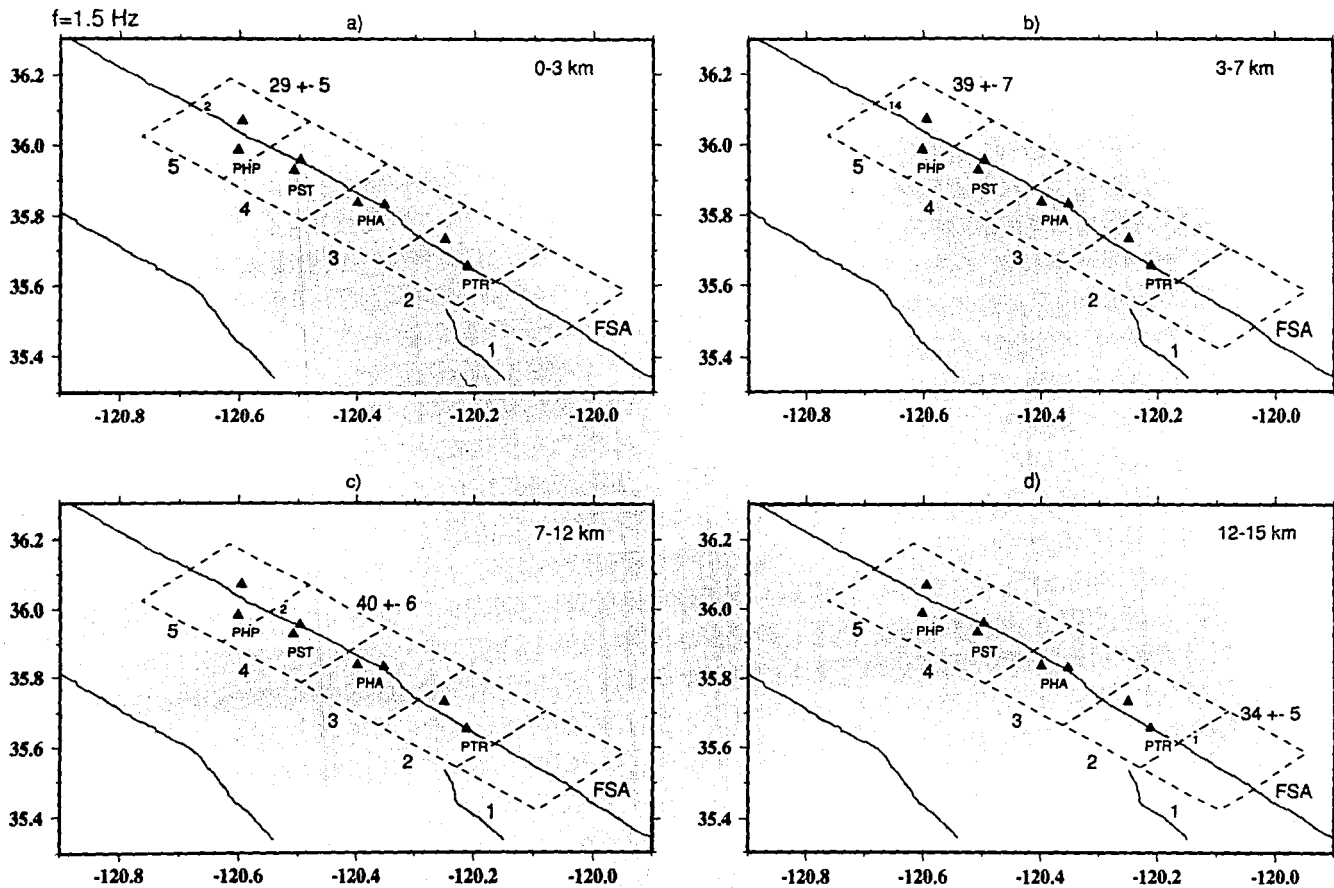


Fig. 4.14.- Mapas del área de Parkfield mostrando numerados los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores de Q_c y su error obtenidos a la frecuencia de 1.5 Hz para los rangos de profundidad de: a) 0-3 kms; b) 3-7 kms; c) 7-12 kms, y d) 12-15 kms. Los círculos representan los epicentros y los triángulos las estaciones utilizadas en los cálculos, los cuales corresponden a eventos y estaciones colocados en los lados NE y SO de la falla respectivamente. El número de eventos utilizados aparece en la esquina inferior izquierda de cada porción de bloque. La Falla de San Andrés se denota por FSA. El eje horizontal representa longitud y el vertical latitud norte en grados.

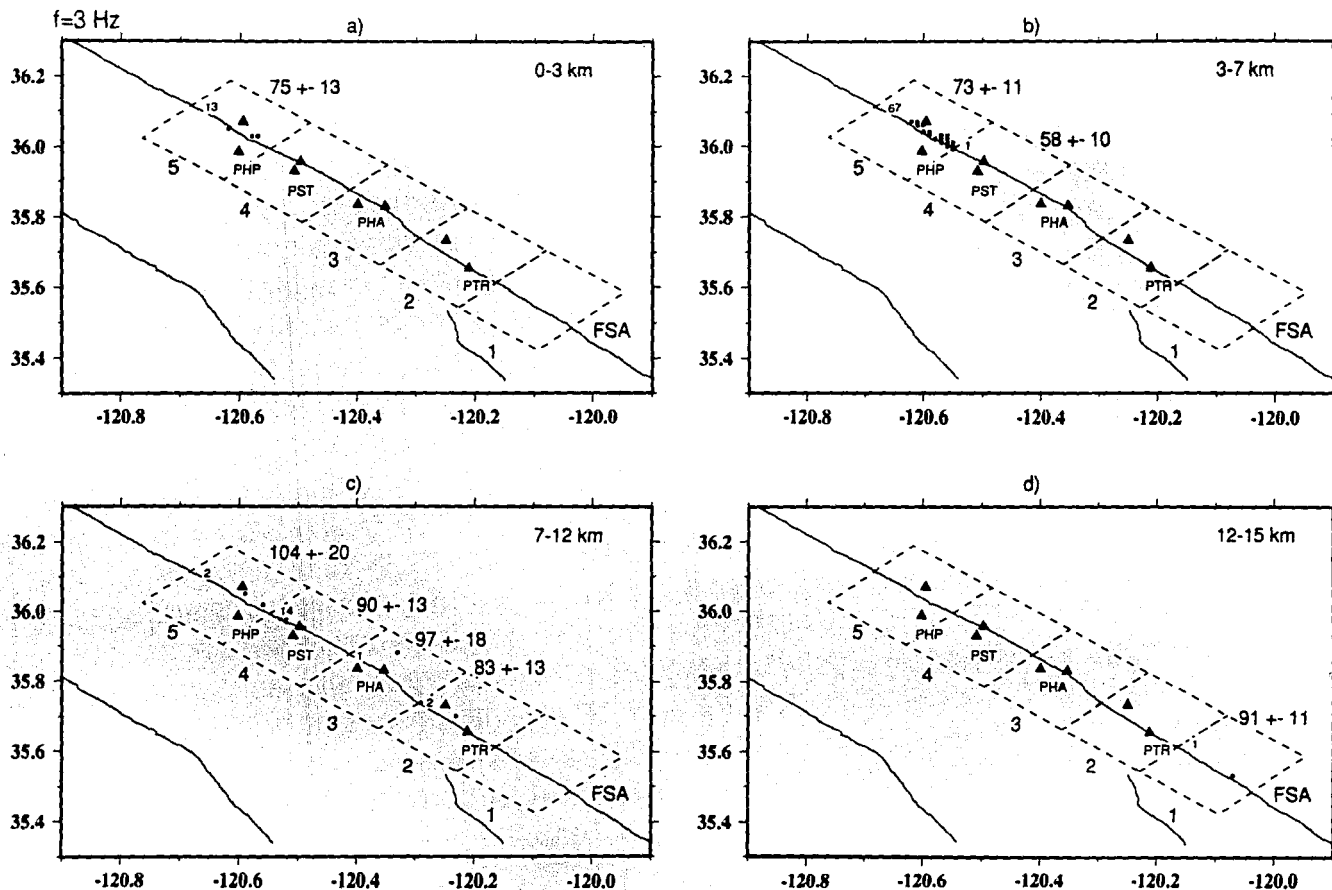


Fig. 4.15.- Mapas del área de Parkfield mostrando numerados los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores de Q_c y su error obtenidos a la frecuencia de 3 Hz para los rangos de profundidad de: a) 0-3 kms; b) 3-7 kms; c) 7-12 kms; y d) 12-15 kms. Los círculos representan los epicentros y los triángulos las estaciones utilizadas en los cálculos, los cuales corresponden a eventos y estaciones colocados en los lados NE y SO de la falla respectivamente. El número de eventos utilizados aparece en la esquina inferior izquierda de cada porción de bloque. La Falla de San Andrés se denota por FSA. El eje horizontal representa longitud y el vertical latitud norte en grados.

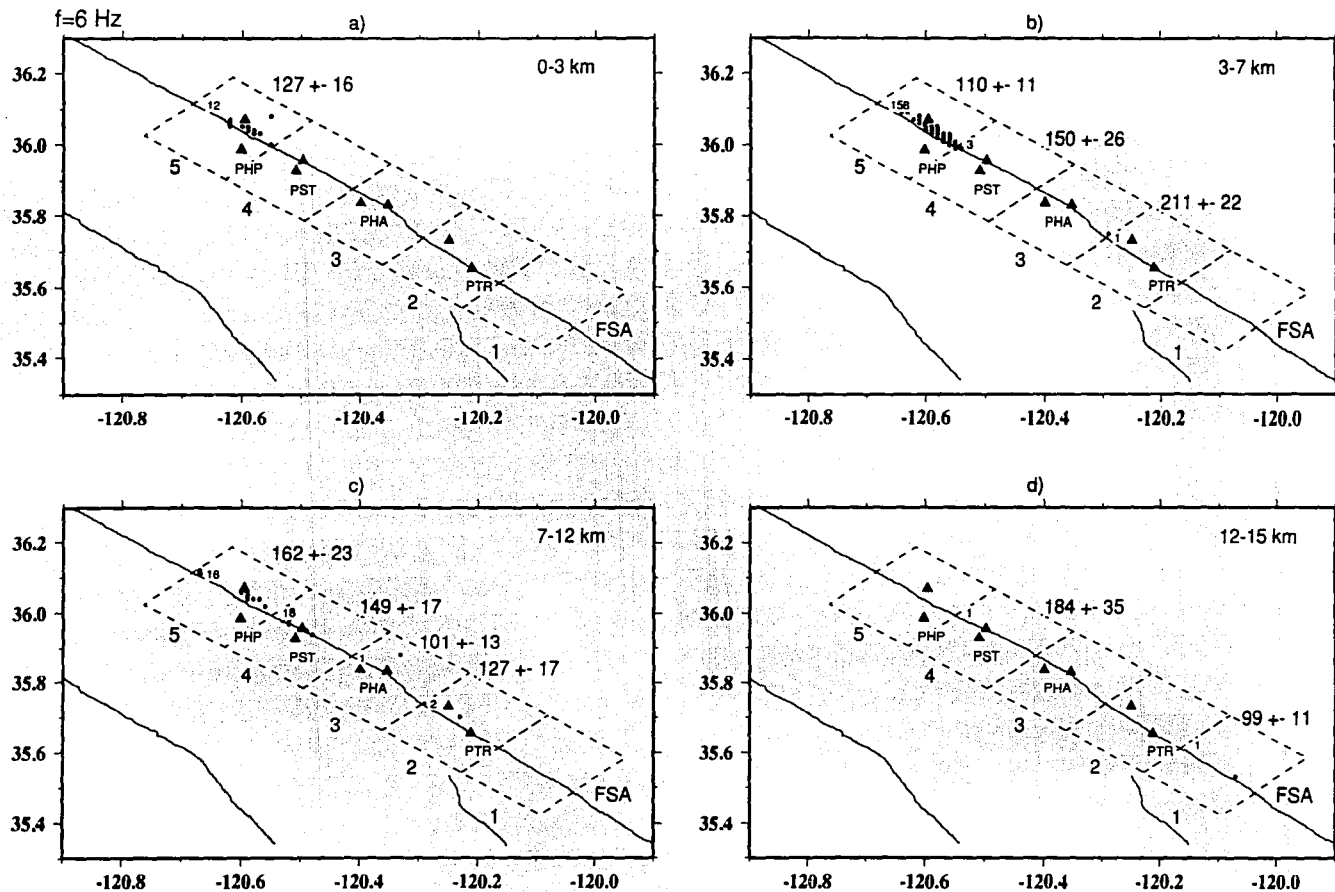


Fig. 4.16.- Mapas del área de Parkfield mostrando numerados los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores de Q_c y su error obtenidos a la frecuencia de 6 Hz para los rangos de profundidad de: a) 0-3 kms; b) 3-7 kms; c) 7-12 kms; y d) 12-15 kms. Los círculos representan los epicentros y los triángulos las estaciones utilizadas en los cálculos, los cuales corresponden a eventos y estaciones colocados en los lados NE y SO de la falla respectivamente. El número de eventos utilizados aparece en la esquina inferior izquierda de cada porción de bloque. La Falla de San Andrés se denota por FSA. El eje horizontal representa longitud y el vertical latitud norte en grados.

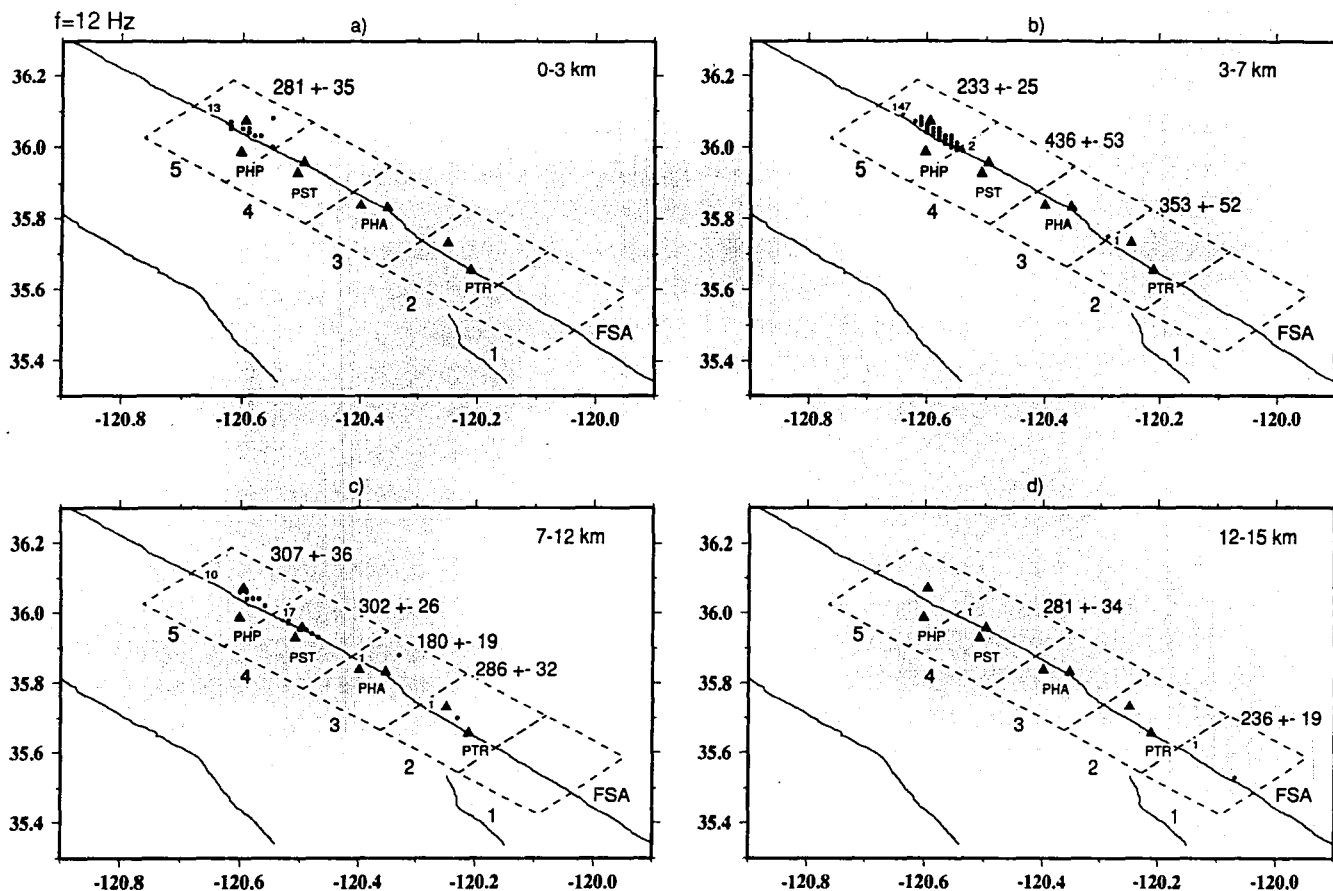


Fig. 4.17.- Mapas del área de Parkfield mostrando numerados los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores de Q_c y su error obtenidos a la frecuencia de 12 Hz para los rangos de profundidad de: a) 0-3 kms; b) 3-7 kms; c) 7-12 kms; y d) 12-15 kms. Los círculos representan los epicentros y los triángulos las estaciones utilizadas en los cálculos, los cuales corresponden a eventos y estaciones colocados en los lados NE y SO de la falla respectivamente. El número de eventos utilizados aparece en la esquina inferior izquierda de cada porción de bloque. La Falla de San Andrés se denota por FSA. El eje horizontal representa longitud y el vertical latitud norte en grados.

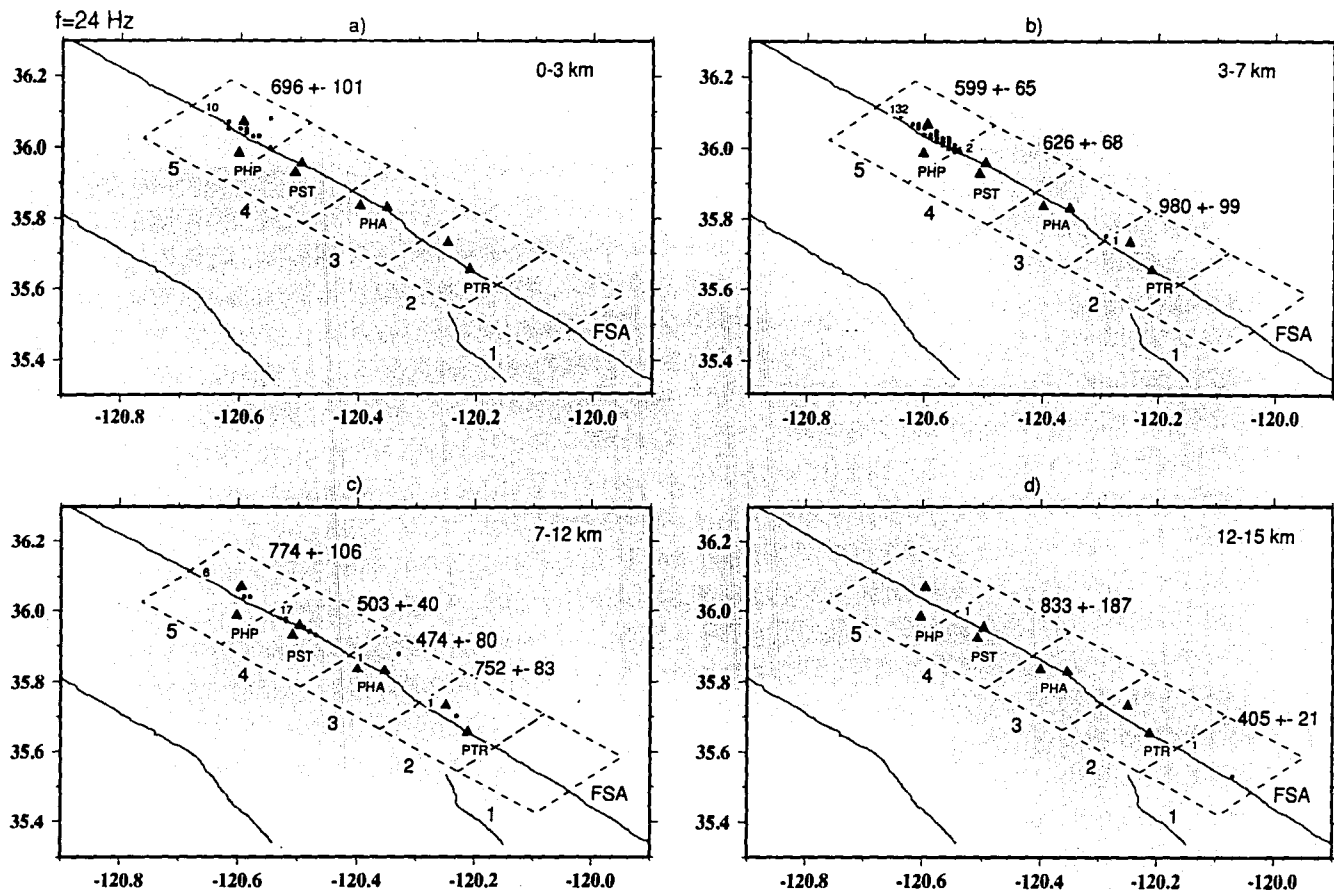


Fig. 4.18.- Mapas del área de Parkfield mostrando numerados los bloques en que se dividió la zona de estudio con los valores de Q_c y su error obtenidos a la frecuencia de 24 Hz para los rangos de profundidad de: a) 0-3 kms; b) 3-7 kms; c) 7-12 kms; y d) 12-15 kms. Los círculos representan los epicentros y los triángulos las estaciones utilizadas en los cálculos, los cuales corresponden a eventos y estaciones colocados en los lados NE y SO de la falla respectivamente. El número de eventos utilizados aparece en la esquina inferior izquierda de cada porción de bloque. La Falla de San Andrés se denota por FSA. El eje horizontal representa longitud y el vertical latitud norte en grados.

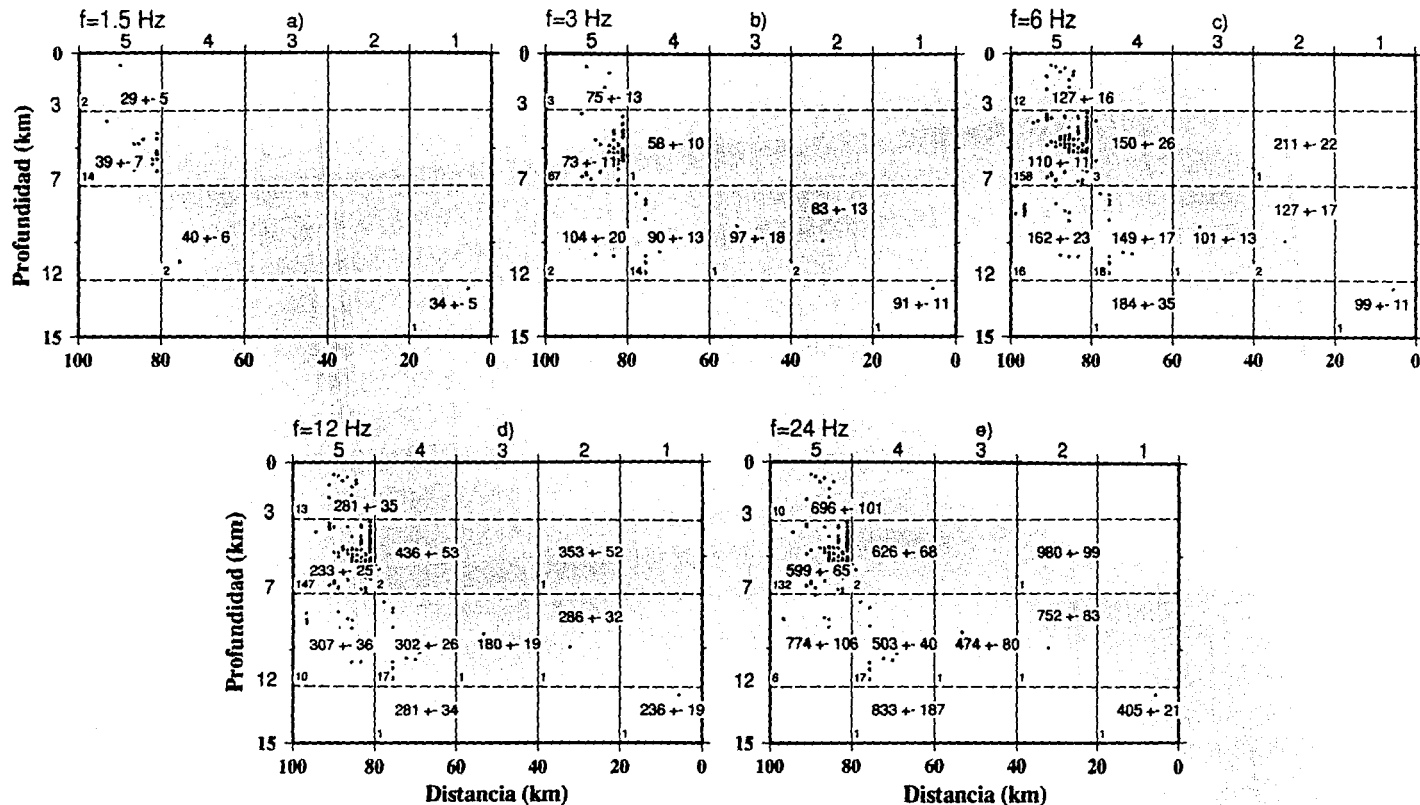


Fig. 4.19.- Perfiles mostrando los valores de Q_c y su error para los eventos distribuidos con la profundidad en la porción NE de cada uno de los bloques en que se dividió la zona de estudio para las frecuencias: a) 1.5 Hz; b) 3 Hz; c) 6 Hz; d) 12 Hz; y e) 24 Hz. Los círculos representan los eventos utilizados en los cálculos, los cuales se realizaron para eventos y estaciones situados en los lados NE y SO de cada bloque respectivamente. El número en la esquina inferior izquierda de cada rango de profundidad indica el número de eventos para los cuales se calculó Q_c . Los bloques aparecen numerados. La distancia en km es medida a partir del origen del bloque 1.

Tabla 4.3
Distribución de Q_c con la profundidad para eventos situados al SO y estaciones al NE de la falla para cada frecuencia en cada bloque.

Bloque	Prof. (km)	f=1.5 Hz	f=3 Hz	f=6 Hz	f=12 Hz	f=24 Hz
4	0-3	-	-	140 ± 27	266 ± 21	-
3	3-7	-	45 ± 04	122 ± 15	221 ± 26	472 ± 34
4	"	41 ± 08	68 ± 09	114 ± 14	281 ± 32	680 ± 89
5	"	49 ± 08	63 ± 09	118 ± 18	216 ± 23	774 ± 124
3	7-12	-	80 ± 09	143 ± 14	259 ± 20	468 ± 29
4	"	34 ± 07	89 ± 16	139 ± 18	280 ± 31	723 ± 115
4	12-15	-	-	232 ± 47	311 ± 35	596 ± 57

Tabla 4.4
Distribución de Q_c con la profundidad para eventos situados al NE y estaciones al SO de la falla para cada frecuencia en cada bloque.

Bloque	Prof. (km)	f=1.5 Hz	f=3 Hz	f=6 Hz	f=12 Hz	f=24 Hz
5	0-3	29 ± 05	75 ± 13	127 ± 16	281 ± 35	696 ± 101
2	3-7	-	-	211 ± 22	353 ± 52	980 ± 99
4	"	-	58 ± 10	150 ± 26	436 ± 53	626 ± 68
5	"	39 ± 07	73 ± 11	110 ± 11	233 ± 25	599 ± 65
2	7-12	-	83 ± 13	127 ± 17	286 ± 32	752 ± 83
3	"	-	97 ± 18	101 ± 13	180 ± 19	474 ± 80
4	"	40 ± 06	90 ± 13	149 ± 17	302 ± 26	503 ± 40
5	"	-	104 ± 20	162 ± 23	307 ± 36	774 ± 106
1	12-15	34 ± 05	91 ± 11	99 ± 11	236 ± 19	405 ± 21
4	"	-	-	184 ± 35	281 ± 34	833 ± 187

Para determinar el grado de confianza en las diferencias de los valores obtenidos de Q_c se utilizó la prueba z como en Spiegel [1975]. Esta prueba compara dos medias M_1 y M_2 con desviaciones estándares S_1 y S_2

obtenidas al promediar N_1 y N_2 valores, respectivamente, mediante la fórmula:

$$z = \frac{(M_1 - M_2)}{\left[\frac{S_1^2}{N_1} + \frac{S_2^2}{N_2} \right]^{1/2}} \quad 5.1$$

El valor z resultante da el grado de confianza de un cambio (por ejemplo $z=1.28$ indica un grado de confianza del 80%, $z=1.64$ del 90%, $z=1.96$ del 95% y $z=2.58$ del 99 %). Los valores z para las estimaciones de Q_c realizadas en este estudio se presentan en las Tablas 4.5 a 4.9. Los valores negativos implican un aumento y los positivos una disminución.

Tabla 4.5
Valores z para los cambios observados en Q_c entre los bloques adyacentes para eventos y estaciones situados en el mismo lado de la Falla.

Lado de la Falla	Profundidad (Km)	Bloques comparados	Valores z de los cambios para las frecuencias				
			1.5 Hz	3 Hz	6 Hz	12 Hz	24 Hz
SO	3-7	4 y 5	-	-6.75	-7.68	-8.83	-1.64
"	"	4 y 3	-	-0.42	2.15	5.13	4.84
"	7-12	4 y 3	-1.29	-2.03	-2.58	1.66	0.68
NE	3-7	5 y 4	-	-1.73	-6.57	-2.95	2.89
"	"	4 y 3	-	5.09	9.12	10.69	3.41
"	"	3 y 2	-	-	-3.28	-3.37	-3.86
"	7-12	5 y 4	-	3.92	2.28	4.93	0.20
"	"	4 y 3	-	-2.49	-3.80	-4.28	1.06
"	"	3 y 2	-	1.51	-2.31	-3.15	-4.59
"	12-15	3 y 1	-	0.90	6.49	0.44	4.67

Tabla 4.6

Valores z para los cambios observados en Q_c entre los bloques adyacentes para eventos y estaciones situados en lados diferentes de la Falla.

Lado de la Falla	Profundidad (Km)	Bloques comparados	Valores z de los cambios para las frecuencias				
			1.5 Hz	3 Hz	6 Hz	12 Hz	24 Hz
SO	3-7	4 y 5	0.93	-1.21	0.55	-5.90	1.33
"	"	4 y 3	-	5.18	-1.29	5.77	5.78
"	7-12	4 y 3	-	1.21	-0.55	2.02	7.64
NE	3-7	5 y 4	-	1.49	-2.66	-5.41	-0.56
"	7-12	5 y 4	-	0.96	1.85	0.38	6.11
"	"	4 y 3	-	-0.38	3.53	6.09	0.36
"	"	3 y 2	-	0.69	-1.47	-2.85	-2.41

Tabla 4.7

Valores z para los cambios observados en Q_c al comparar los resultados obtenidos a ambos lados de la Falla en cada bloque.

Bloque comparado	Profundidad (Km)	Valores z de los cambios para las frecuencias				
		1.5 Hz	3 Hz	6 Hz	12 Hz	24 Hz
5	3-7	-	7.76	2.65	6.14	3.40
4	"	-	0.96	0.81	-0.42	-1.48
3	"	-	-4.27	-4.23	-7.67	-1.65
4	7-12	-	-3.16	-7.41	-12.62	-2.65
3	"	-	-1.39	-3.20	-1.67	-1.34

Tabla 4.8

Valores z para los cambios observados en Q_c en cada bloque al comparar eventos y estaciones situados de un mismo lado de la Falla con eventos situados en un lado y estaciones en el otro.

Lado de la Falla	Bloque comparado	Profundidad (Km)	Valores z de los cambios para las frecuencias				
			1.5 Hz	3 Hz	6 Hz	12 Hz	24 Hz
SO	5	3-7	-0.08	-4.22	-2.85	-0.25	-3.61
"	4	0-3	-	-	1.99	0.95	-
"	"	3-7	-	1.51	5.79	3.12	-2.68
"	"	7-12	-1.50	0.37	3.54	9.37	-1.24
"	"	12-15	-	-	1.51	3.01	3.66
"	3	3-7	-	2.99	-0.49	1.24	-1.65
"	"	7-12	-	-2.41	3.48	2.76	3.65
NE	5	0-3	-	-3.20	-3.07	0.72	-5.54
"	"	3-7	3.04	-3.90	-3.97	7.95	2.46
"	"	7-12	-	-0.74	-5.00	-0.06	-3.07
"	4	3-7	-	1.86	-0.18	-3.24	-1.71
"	"	7-12	-	-4.22	-6.26	-7.02	4.71
"	3	7-12	-	0.51	2.93	5.15	1.14
"	2	3-7	-	-	-1.32	1.42	1.21
"	"	7-12	-	0.09	3.01	2.18	1.72
"	1	12-15	0.71	-1.49	0.18	-0.55	-0.50

Tabla 4.9

Valores z para los cambios observados en Q_c para eventos ocurridos en rangos diferentes de profundidad a ambos lados de la Falla.

Lado de la Falla	Bloque	Profundidades comparadas	Valores z de los cambios para las frecuencias				
			1.5 Hz	3 Hz	6 Hz	12 Hz	24 Hz
SO	4	3-7	-	-	3.14	-	-
"	4	7-12	-	-2.60	-3.14	-6.24	-4.23
"	3	"	-	-2.23	-4.43	-3.28	-4.09
"	4	12-15	-	0.21	-1.20	-2.25	-3.33
NE	5	3-7	-	-2.48	1.57	3.14	-5.57
"	5	7-12	2.90	-5.33	-6.14	-3.47	0.52
"	4	"	-	1.27	4.24	4.30	-2.08
"	3	"	-	-5.09	-8.62	-11.93	-4.50
"	3	12-15	-	0.96	0.75	2.56	-0.27
"	2	7-12	-	-	-0.44	1.36	1.38

Adicionalmente se calculó Q_c^{-1} para cada bloque a diferentes distancias , utilizando las estaciones situadas en cada uno de los bloques. Los resultados se resumen en las Figuras 4.20 a 4.25. Solamente se presentan las curvas para las que existen tres o más observaciones. Las variaciones observadas en Q_c^{-1} con la distancia sólo son significativas para las bajas frecuencias (1.5, 3 y 6 Hz), y se deben tal vez a efectos de sitio.

SO DE LA FALLA

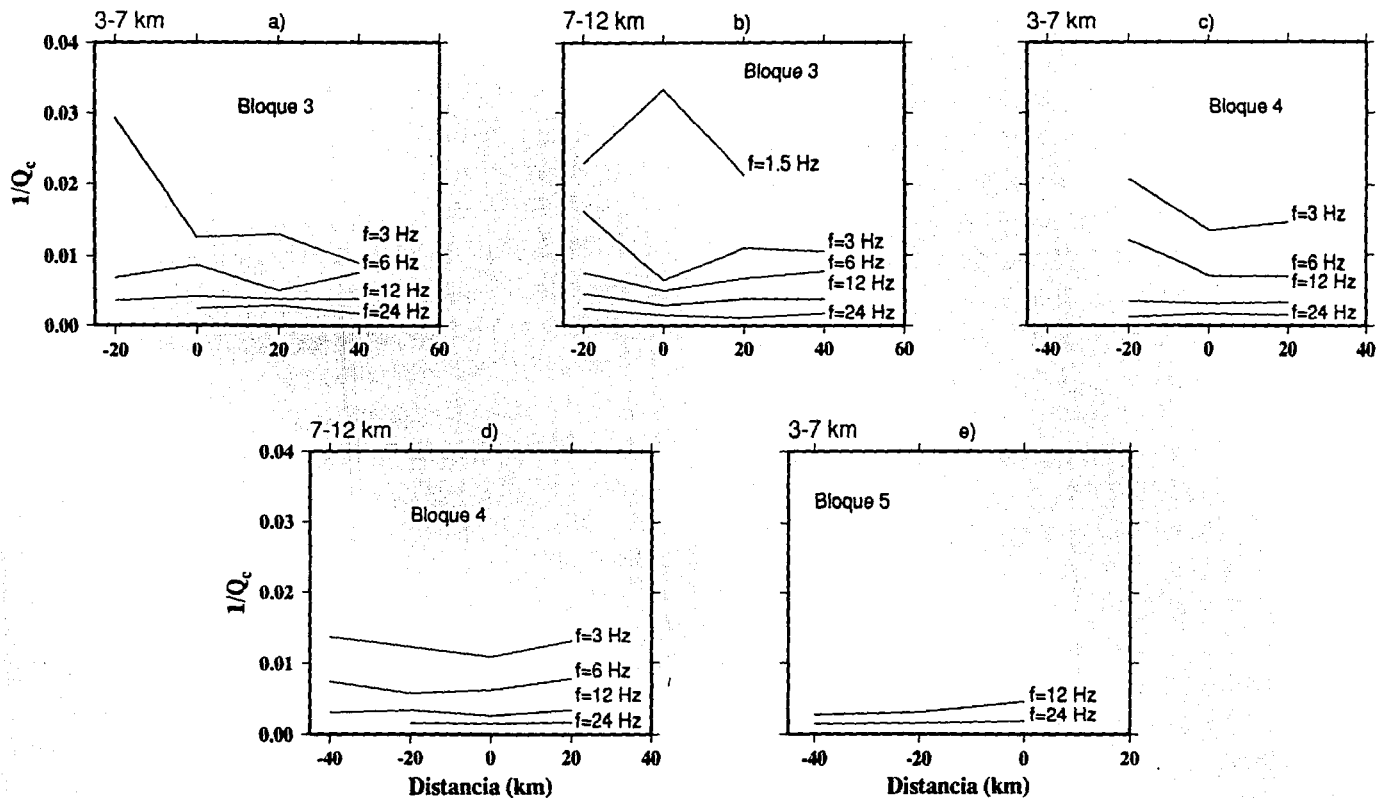


Fig. 4.20.- Variación de Q_c^{-1} con la distancia a diferentes frecuencias en los rangos de profundidad a) 3-7 km y b) 7-12 km del bloque 3, c) 3-7 km y 7-12 km del bloque 4 y e) 3-7 km del 5 para eventos y estaciones localizados al SO de la falla. La distancia 0 corresponde al centro del bloque para el cual se calcula Q_c^{-1} , por ejemplo en la figura a) el 0 representa el centro del bloque 3 para el cual se hicieron los cálculos y las demás distancias son relativas a dicho centro.

SO DE LA FALLA

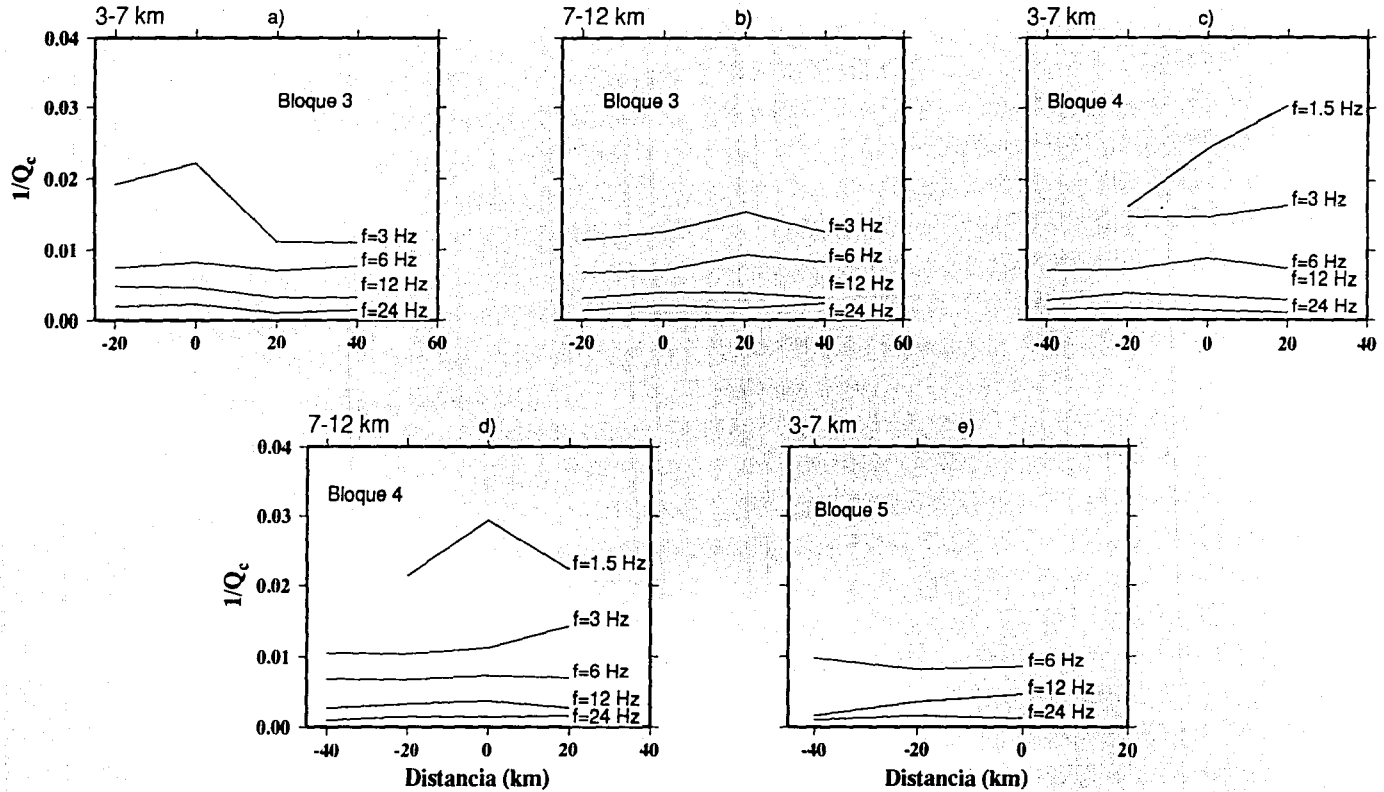


Fig. 4.21.- Variación de Q_c^{-1} con la distancia a diferentes frecuencias en los rangos de profundidad a) 3-7 km y b) 7-12 km del bloque 3, c) 3-7 km y 7-12 km del bloque 4 y e) 3-7 km del 5 para eventos al SO y estaciones al NE de la falla.

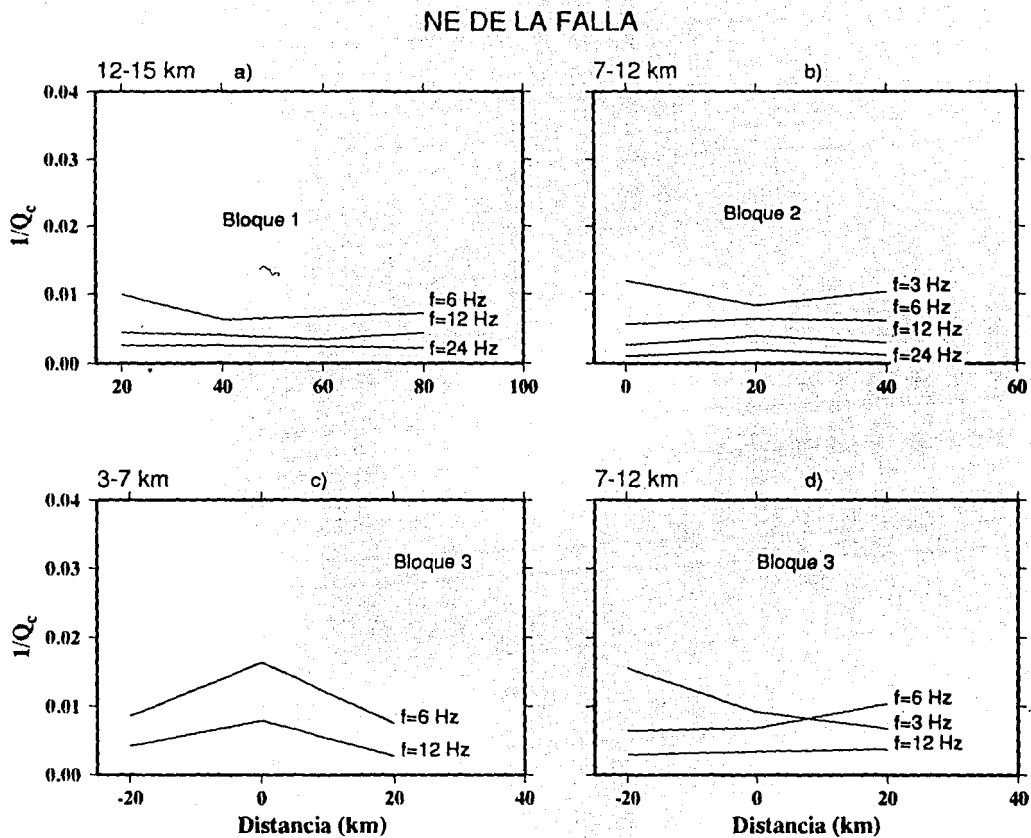


Fig. 4.22. Variación de Q_c^{-1} con la distancia a diferentes frecuencias en los rangos de profundidad a) 12-15 km del bloque 1, b) 7-12 km del bloque 2 y c) 3-7 km y d) 7-12 km del bloque 3 para eventos y estaciones localizados al NE de la falla.

NE DE LA FALLA

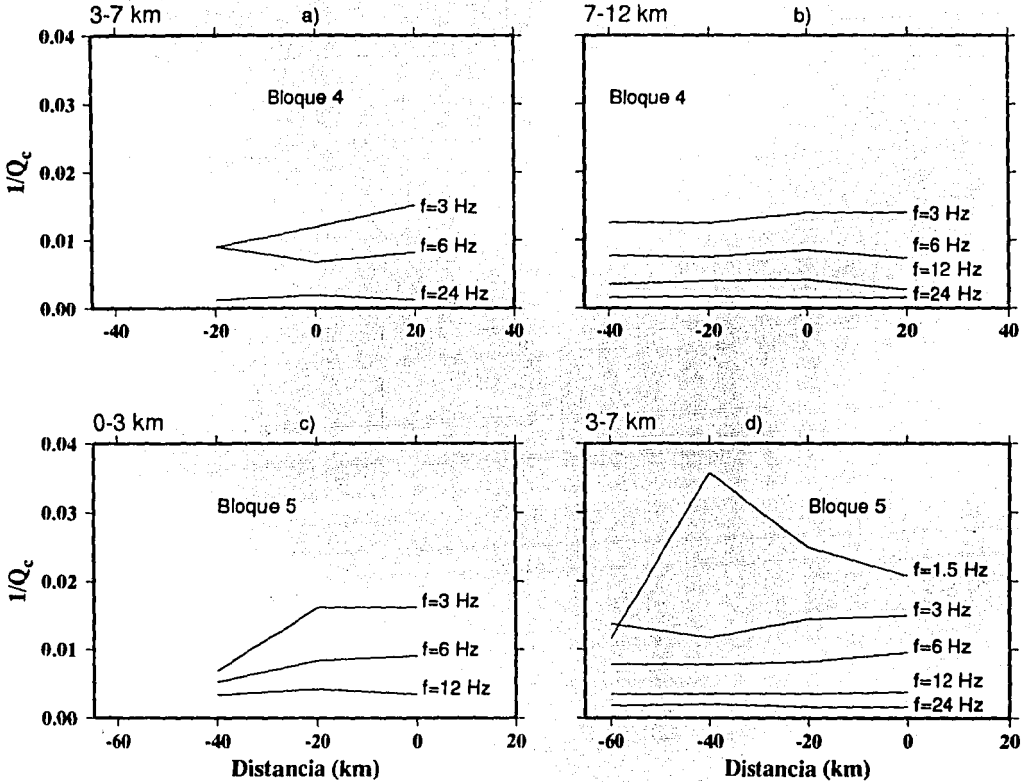


Fig. 4.23.- Variación de Q_c^{-1} con la distancia a diferentes frecuencias en los rangos de profundidad a) 3-7 km y b) 7-12 km del bloque 4 y c) 0-3 km y d) 3-7 km del bloque 5 para eventos y estaciones localizados al NE de la falla.

NE DE LA FALLA

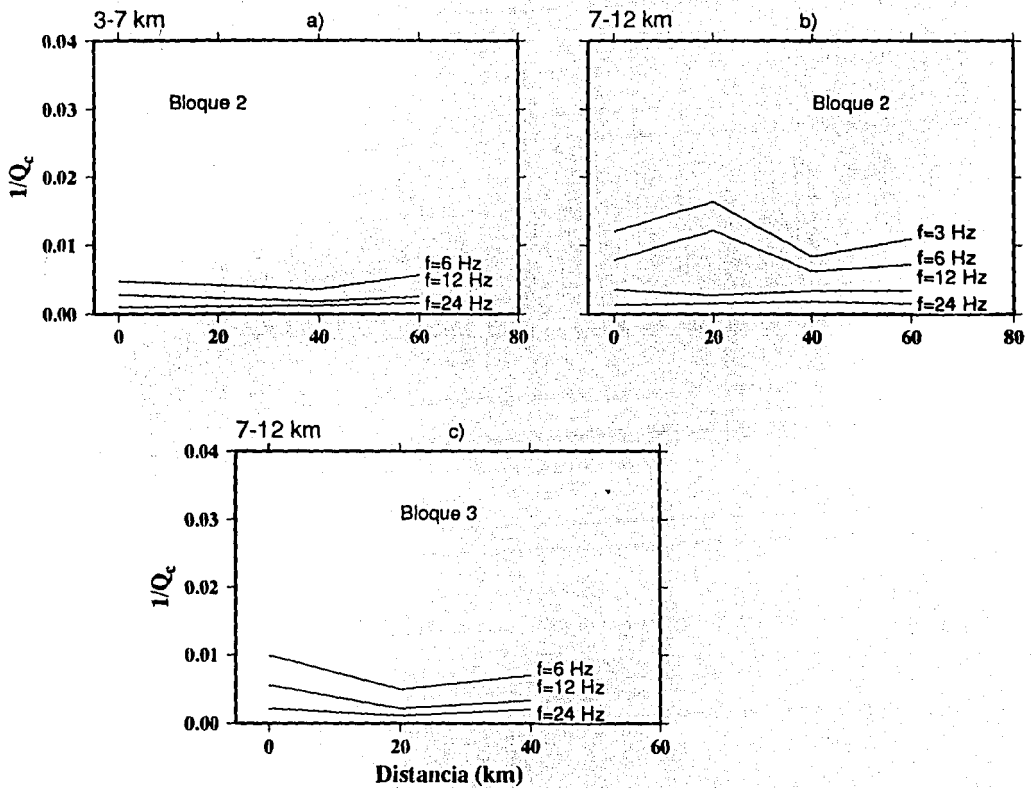


Fig. 4.24.- Variación de Q_c^{-1} con la distancia a diferentes frecuencias en los rangos de profundidad a) 3-7 km y b) 7-12 km del bloque 2 y c) 7-12 km del bloque 3 para eventos en el NE y estaciones al SO de la falla.

NE DE LA FALLA

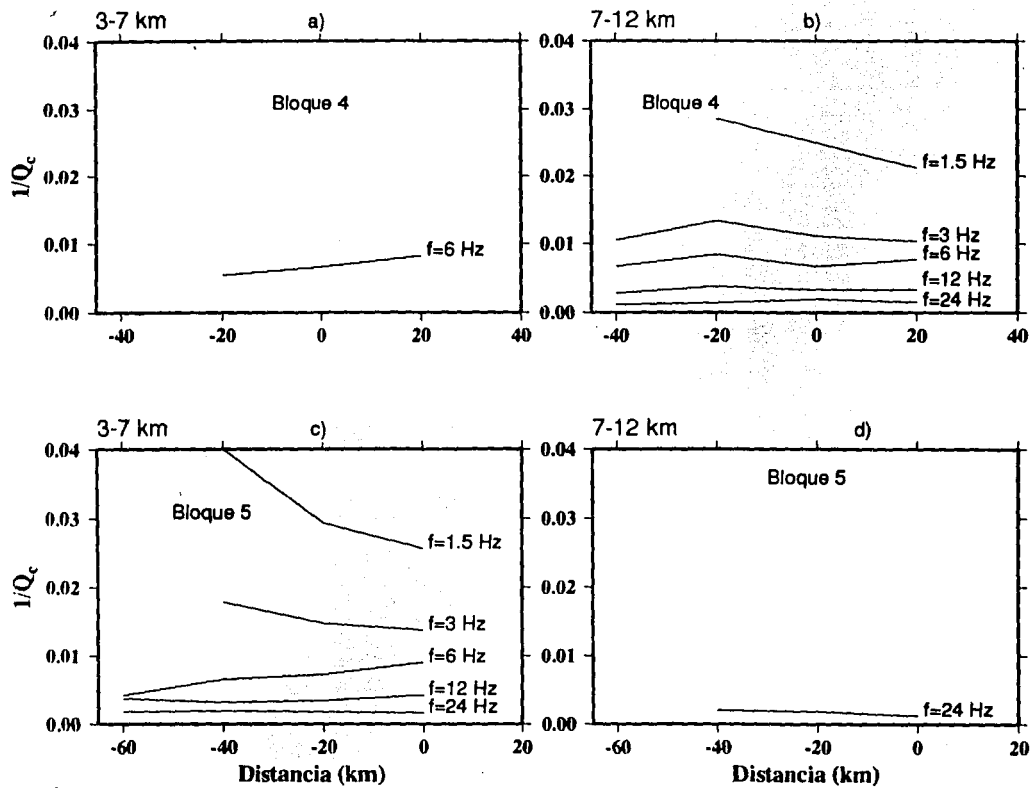


Fig. 4.25.- Variación de Q_c^{-1} con la distancia a diferentes frecuencias en los rangos de profundidad a) 3-7 km y b) 7-12 km del bloque 4 y c) 3-7 km y d) 7-12 km del bloque 5 para eventos al NE y estaciones al SO de la falla.

Capítulo 5

Discusión

5.1.- Distribución Espacial de Q_c

La distribución de Q_c determinada en este trabajo para el área de Parkfield, evidencia heterogeneidades en los diferentes bloques en que se dividió la falla de San Andrés en esta zona. Esta heterogeneidad es observada tanto a profundidad como lateralmente.

Los resultados obtenidos considerando los eventos y estaciones localizados al NE de la falla, indican que Q_c^{-1} es (Fig. 5.1):

- a) en el rango 3-7 kms, mayor en el bloque 5 que en el 4 para 3, 6 y 12 Hz y menor para 24 Hz. Menor en el 4 que en el 3 para todas las frecuencias y mayor en el 3 que en el 2 con una confianza en estas diferencias mayor al 90% (Tabla 4.5);
- b) de 7 a 12 kms, menor en el bloque 5 que en el 4 para todas las frecuencias con una confianza en los cambios mayor al 90%, excepto para 24 Hz para la cual es menor al 80%. Mayor en el 4 que en el 3 para 3, 6 y 12 Hz con confianza mayor al 90% y menor para 24 Hz, pero con confianza menor al 80% en este cambio. Menor en el 3 que en el 2 para 3 Hz con confianza entre el 80 y el 90% y mayor para 6, 12 y 24 Hz; todos ellos con una confianza mayor al 90%; y

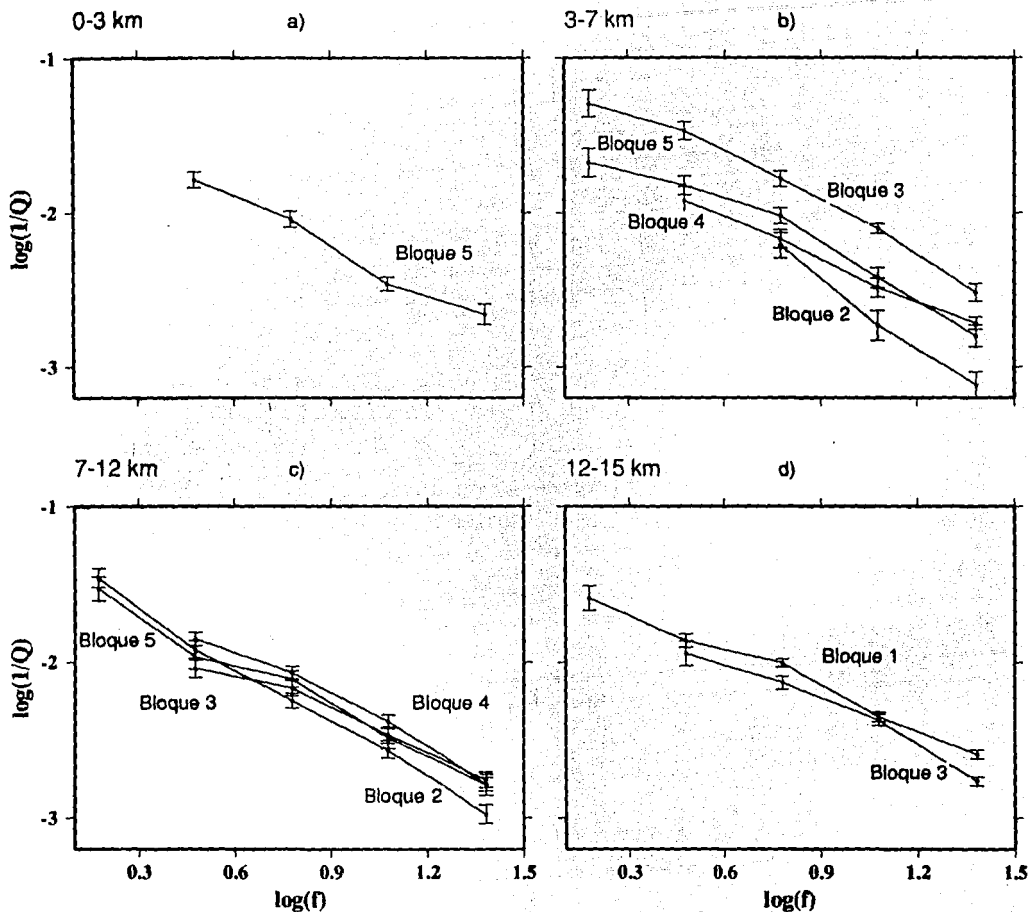


Fig. 5.1.- Relación de Q_c^{-1} con la frecuencia en los diferentes bloques del lado NE de la falla, para los eventos ocurridos en los rangos de profundidad: a) 0-3 km, b) 3-7 km, c) 7-12 km y d) 12-15 km. Las barras verticales indican el error estimado. Los cálculos se hicieron para eventos y estaciones situados en el lado NE de la falla.

c) en el rango 12-15 kms. aunque no se calculó bajo las mismas condiciones, menor en el bloque 3 que en el 1. En este caso la confianza es mayor al 90% para 6 y 24 Hz y para los otros menor al 50%.

En lo que sigue sólo se referirá la confianza (conf) de los cambios cuando sea menor al 80%, en cuyo caso se considerará el cambio inexistente estadísticamente.

Para los eventos y estaciones situados en el lado SO sólo se obtuvo resultados en los bloques 3, 4 y 5, en los cuales Q_c^{-1} tiene el siguiente comportamiento (Fig. 5.2):

- a) de 3 a 7 kms es mayor en el bloque 5 que en el 4 para todas las frecuencias, menor en el 4 que en el 3 para 6, 12 y 24 Hz. Solamente para la frecuencia de 3 Hz los resultados indican lo contrario pero la confianza es menor al 50% (Tabla 4.5); y
- b) en el rango de 7 a 12 kms resultó mayor en el bloque 4 que en el 3 para 1.5, 3 y 6 Hz y menor para 12 y 24 Hz, en esta última con $\text{conf} < 80\%$.

Para tratar de observar los efectos de la falla se determinó Q_c para eventos y estaciones situados en lados opuestos. Para los eventos al NE y estaciones al SO de la falla, Q_c^{-1} resultó (Fig. 5.3):

- a) de 3-7 kms menor en el bloque 5 que en el 4 para 3 Hz y mayor para 6, 12 y 24 Hz, en esta última con $\text{conf} < 80\%$ (Tabla 4.6); y
- b) en el rango 7-12 kms, menor en el 5 que en el bloque 4 para 3 (conf < 90%), 6, 12 y 24 Hz (conf < 90%), menor en el 4 que en el 3 para 6, 12 y 24 Hz y mayor para 3 Hz, pero para esta frecuencia con $\text{conf} < 90\%$. Mayor

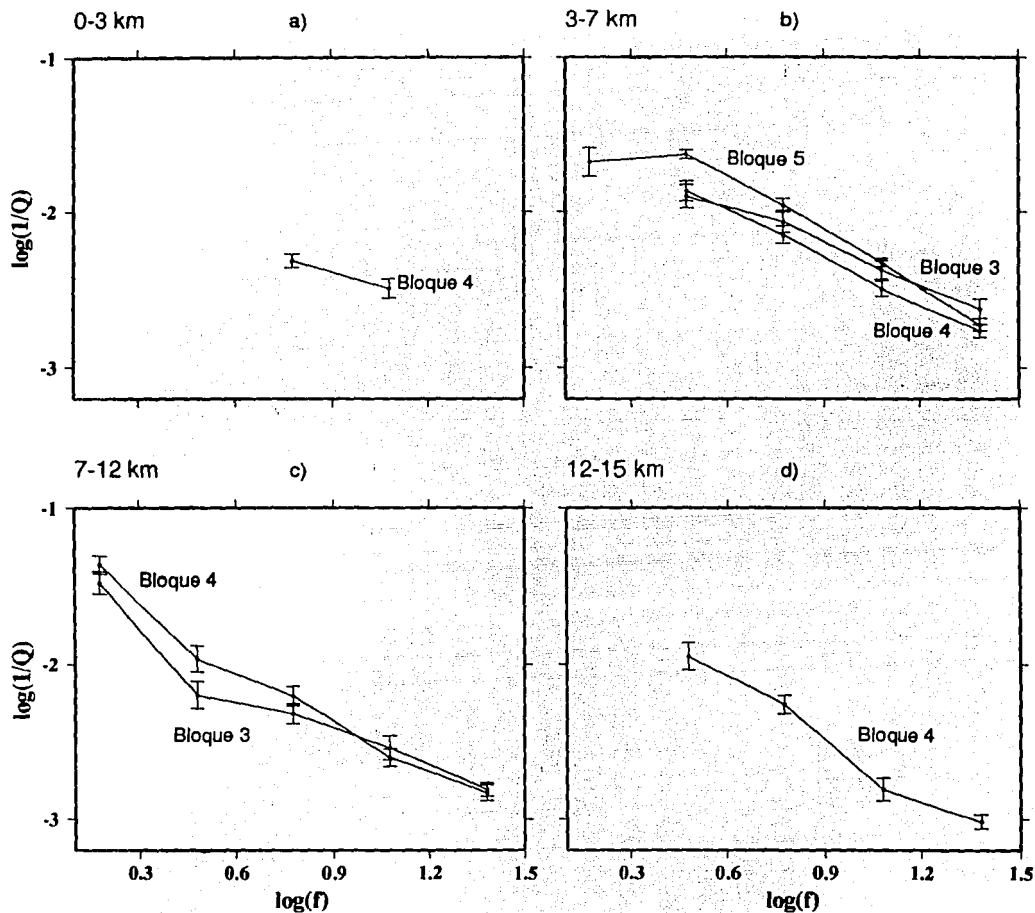


Fig. 5.2.- Relación de Q_c^{-1} con la frecuencia en los diferentes bloques del lado SO de la falla, para los eventos ocurridos en los rangos de profundidad: a) 0-3 km, b) 3-7 km, c) 7-12 km y d) 12-15 km. Los cálculos se hicieron para eventos y estaciones situados en el lado SO de la falla.

en el bloque 3 que en el 2 para 6, 12 y 24 Hz y menor para 3 Hz, en esta última con $\text{conf} < 80\%$.

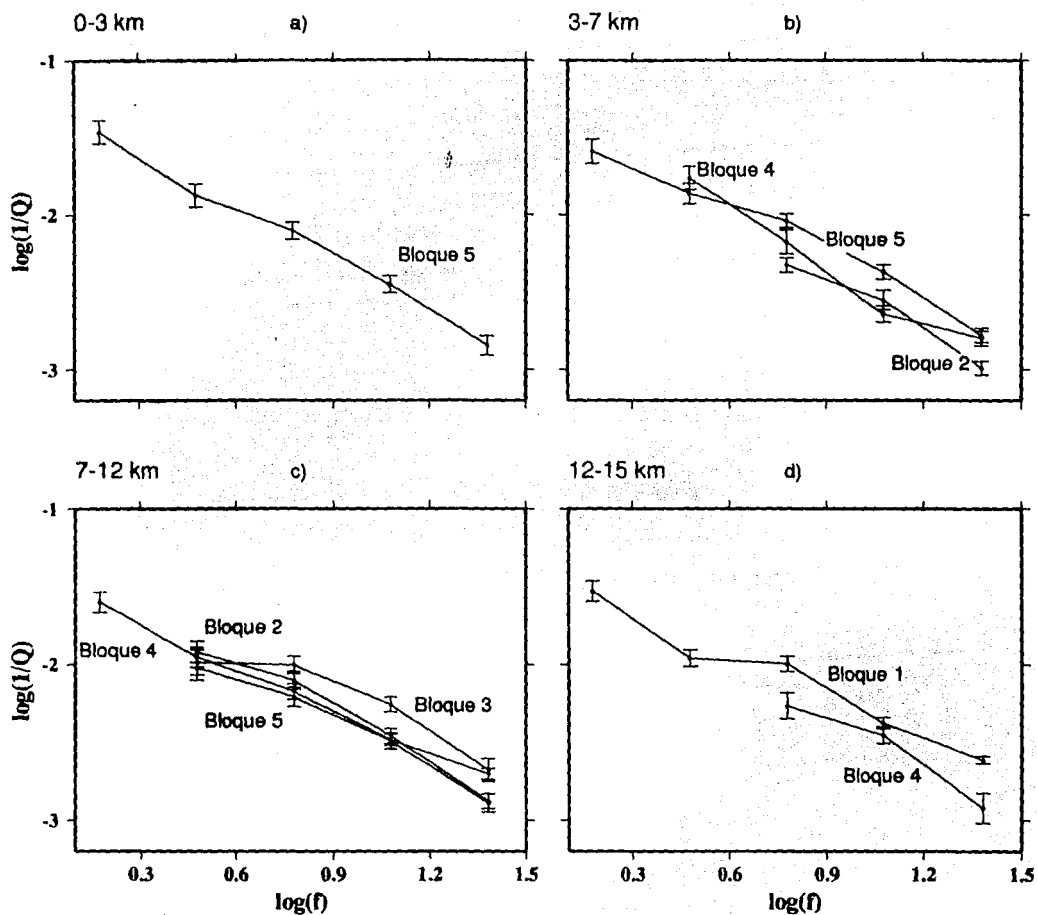


Fig. 5.3. Relación de Q_c^{-1} con la frecuencia en los diferentes bloques del lado NE de la falla, para los eventos ocurridos en los rangos de profundidad: a) 0-3 km, b) 3-7 km, c) 7-12 km y d) 12-15 km. Los cálculos se hicieron para eventos y estaciones situados en el lado NE y SO de la falla, respectivamente.

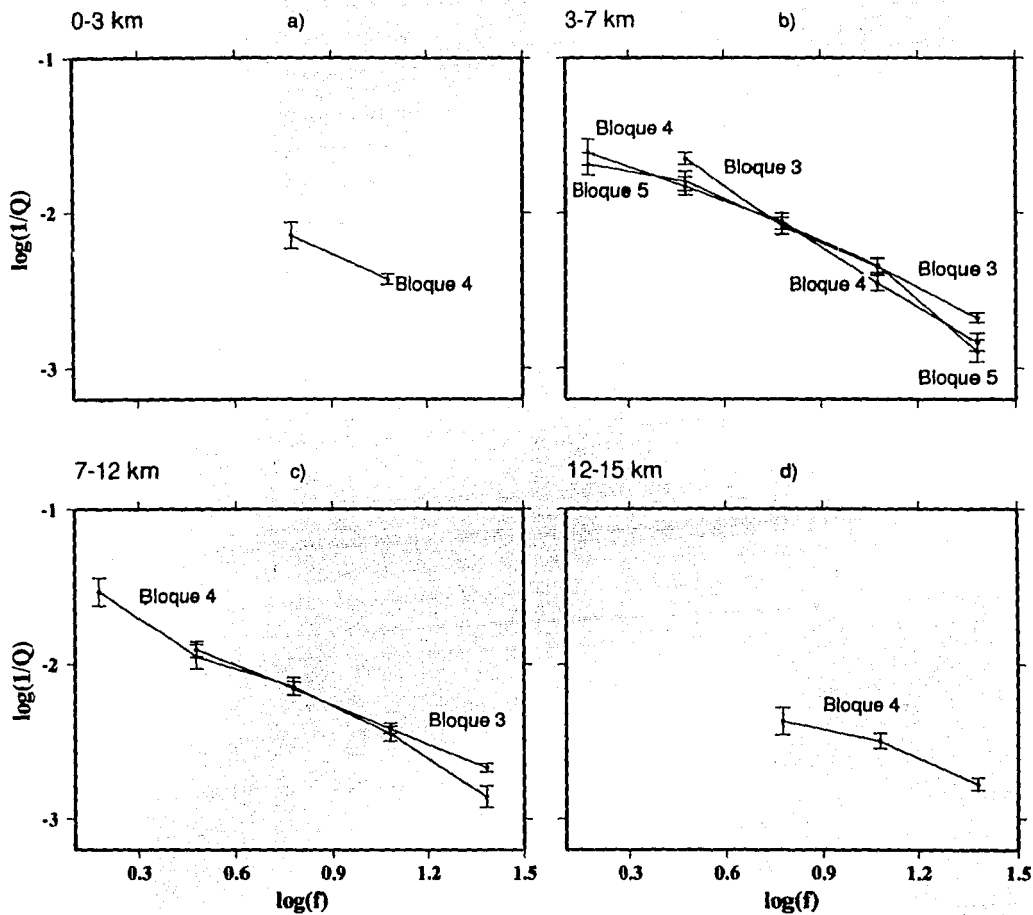


Fig. 5.4.- Relación de Q_c^{-1} con la frecuencia en los diferentes bloques del lado SO de la falla, para los eventos ocurridos en los rangos de profundidad: a) 0-3 km, b) 3-7 km, c) 7-12 km y d) 12-15 km. Los cálculos se hicieron para eventos y estaciones situados en el lado SO y NE de la falla, respectivamente.

Para eventos en el SO y estaciones en el NE de la falla, Q_c^{-1} (Fig. 5.4):

- a) de 3 a 7 km es menor en el bloque 5 que en el 4 para 1.5 y 6 Hz, pero en ambos casos $\text{conf} < 80\%$ (Tabla 4.6) y mayor para 3 ($\text{conf} < 80\%$), 12 y 24 Hz; y
- b) de 7 a 12 km resultó menor en el bloque 4 que en el 3 para 3 ($\text{conf} < 80\%$), 12 y 24 Hz y mayor para 6 Hz, aunque para esta frecuencia los valores son muy cercanos y la confianza del cambio es menor al 80%.

La distribución de Q_c por bloques refleja que Q_c^{-1} al NE:

- a) para el rango 3-7 kms, es menor que al SO en el bloque 5 para todas las frecuencias y en el 4 para 3 y 6 Hz ambos con $\text{conf} < 80\%$ (Tabla 4.7), mayor en el 4 para 12 ($\text{conf} < 80\%$) y 24 Hz y en el 3 para todas las frecuencias;
- b) de 7 a 12 kms, es mayor que al SO en los bloques 4 y 3 para todas las frecuencias.

Para los bloques no comparados se carece de datos.

Los resultados obtenidos a ambos lados de la falla evidencian que los agentes dispersores no se concentran uniformemente ni con la profundidad ni lateralmente. De acuerdo a estas observaciones en el lado NE hay una mayor atenuación en los bloques 5 y 3 que en los bloques 4 y 2 en el rango de profundidad 3-7 km. Esta relación se invierte en el rango 7-12 km, donde los bloques 5 y 3 son menos atenuantes que el 4.

En el lado SO de la falla se mantiene que los bloques 5 y 3 son más atenuantes que el 4 en el rango de profundidad 3-7 km, lo que quiere decir

que a ambos lados de la falla hay una mayor concentración de los agentes atenuantes en los bloques 5 y 3 que en el 4.

Asimismo, en el rango 7-12 km el bloque 4 es más atenuante que el 3 para las bajas frecuencias. Esto se observa en el lado SO debido posiblemente a diferencias en los agentes dispersores de uno y otro bloque.

Por otra parte para eventos y estaciones en un mismo lado de la falla asumimos que las ondas no han cruzado el plano de falla y cuando están en lados diferentes sí, aunque cabe aclarar que el muestreo se hace para un elipsoide con focos en el hipocentro y la estación y por tanto se muestrea parte en ambos lados. Sin embargo, haciéndose la comparación se observa que para cuando las ondas no han cruzado la falla en el lado NE Q_c^{-1} :

- a) en el rango 0-3 kms, es menor en el bloque 5 para 12 Hz y mayor para 3, 6 y 24 Hz que cuando la han cruzado, aunque para 12 Hz la confianza es menor al 80% (Tabla 4.8);
- b) de 3 a 7 kms, es menor en el 5 para 1.5, 12 y 24 Hz y mayor para 3 y 6 Hz. En el 4 es menor para 3 Hz y mayor para 6 (conf<80%), 12 y 24 Hz. Mayor para 6 y menor para 12 y 24 Hz (conf<80%) en el bloque 2.
- c) en el rango 7-12 kms, es mayor en el bloque 5 para 3, 6, 12 y 24 Hz, aunque para 3 y 12 Hz la confianza es menor al 80%. Es mayor en el 4 para 3, 6 y 12 Hz y menor para 24 Hz y menor en el 3 para 3, 6, 12 y 24 Hz, pero conf<80% para 3 y 24 Hz.
- d) en el rango 12-15 kms, resultó menor en el bloque 1 para 1.5 y 6 Hz y mayor para 3, 12 y 24 Hz, con confianza mayor al 80% sólo para 3 Hz,

aunque cabe señalar que los cálculos en este caso no se hicieron bajo las mismas condiciones.

En el bloque SO, cuando las ondas no han cruzado la falla Q_c^{-1} resultó:

a) en el rango 0-3 kms, menor que cuando la han cruzado en el bloque 4 para 6 y 12 Hz, pero la confianza es menor al 80% para 12 Hz (Tabla 4.8);

b) de 3 a 7 kms, es mayor en el bloque 5 para todas las frecuencias, aunque para 1.5, y 12 Hz la confianza es menor al 80%. Es menor en el 4 para 3 (conf<80%), 6 y 12 Hz y mayor para 24 Hz, y en el 3 es menor para 3 y 12 Hz y mayor para 6 y 24 Hz, pero la confianza es menor al 80% para 6 y 12 Hz. Se puede ver que estadísticamente no hay diferencia para la mayoría de las frecuencias;

c) en el rango 7-12 kms, menor en el bloque 4 para 3, 6 y 12 Hz y mayor para 1.5 y 24 Hz, aunque para esta última conf<80%, en el 3 es menor para 3,6,12 y 24 Hz; y

d) de 12 a 15 kms, mayor para 6 Hz y menor para 12 y 24 Hz en el bloque 4. Se observa que en este rango de profundidad, la diferencia sí es significativa.

En las Figuras 5.1 a 5.4 se puede observar que Q_c^{-1} disminuye con la frecuencia tanto al NE como al SO.

Los resultados al NE y al SO de la falla evidencian que en el rango de profundidad 3-7 km, el bloque 5 es más atenuante en el SO que en el NE. En el bloque 4 las ondas a bajas frecuencias son más atenuadas en el SO que en el NE, lo cual refleja diferencias en las heterogeneidades en ambos

lados. Este comportamiento se invierte en el rango de profundidad 7-12 km ya que el NE es más atenuante que el SO tanto en el bloque 4 como en el 3.

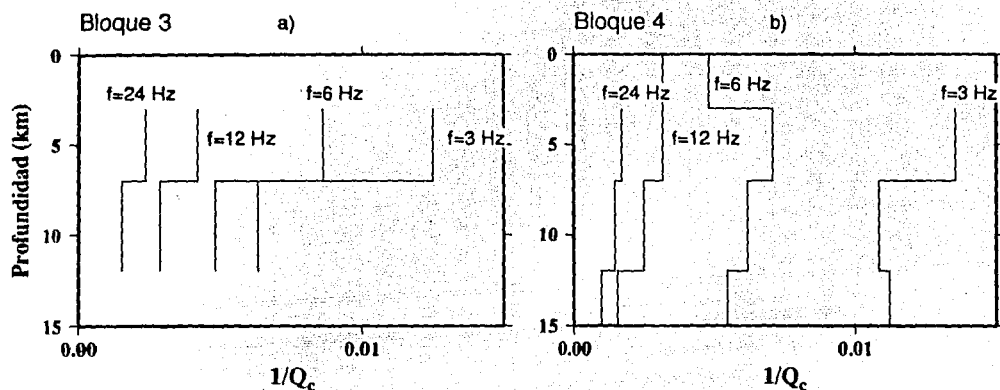


Fig. 5.5.- Variaciones de Q_c^{-1} con la profundidad a diferentes frecuencias en los bloques a)3 y b)4 al SO de la falla.

En el lado SO, Q_c^{-1} disminuye con la profundidad (Fig. 5.5) lo que indica una menor heterogeneidad conforme aumenta la profundidad. Cabe notar que conforme aumentamos la profundidad, el volumen mostrado por las ondas coda aumenta. En el bloque 4 para la frecuencia de 3 Hz se encontró que Q_c^{-1} es mayor en el rango de profundidad de 12-15 km que en el de 7-12 km, aunque los valores son muy cercanos entre sí y la confianza de este cambio es menor al 80% (Tabla 4.9). Asimismo, Q_c^{-1} es mayor en el bloque 4 para la frecuencia de 6 Hz en el rango 3-7 km que en el de 0-3 km

de profundidad, sin embargo se tiene que considerar que el valor en este último se obtuvo utilizando un solo evento.

En el lado NE, Q_c^{-1} tiene el siguiente comportamiento con la profundidad (Fig. 5.6). En el bloque 5 aumenta conforme aumenta la profundidad a la frecuencia de 1.5 Hz de los 7 a los 12 km de profundidad, disminuye para la de 3 Hz, a 6 y 12 Hz aumenta entre los 3 y los 7 km y luego disminuye de los 7 a los 12 km. Para la frecuencia de 24 Hz aumenta de los 7 a los 12 km de profundidad, pero la confianza de este cambio es menor al 80%. En el bloque 4 aumenta con la profundidad de los 7 a los 12 km, excepto para las altas frecuencias a las cuales disminuye. En el bloque 3 disminuye con la profundidad de los 7 a los 12 km pero aumenta de los 12 a los 15 km excepto para las altas frecuencias a las cuales disminuye, aunque la confianza es menor al 80%. En el bloque 2 aumenta de los 7 a los 12 km para las frecuencias de 12 y 24 Hz. Si consideramos que el comportamiento observado de Q_c^{-1} es real podría significar que los agentes dispersores no están distribuidos uniformemente con la profundidad en la zona.

Por su parte la falla tiene mayores efectos atenuantes principalmente en las bajas y medias frecuencias. Sus efectos son diferentes en cada bloque y en cada rango de profundidad. Esto pone también en evidencia diferencias en las características de los agentes dispersantes o atenuantes en cada bloque. Principalmente estos agentes pueden ser la concentración de fracturas, las variaciones o

heterogeneidades litológicas y las variaciones o anomalías de densidad y de velocidad presentes en la zona.

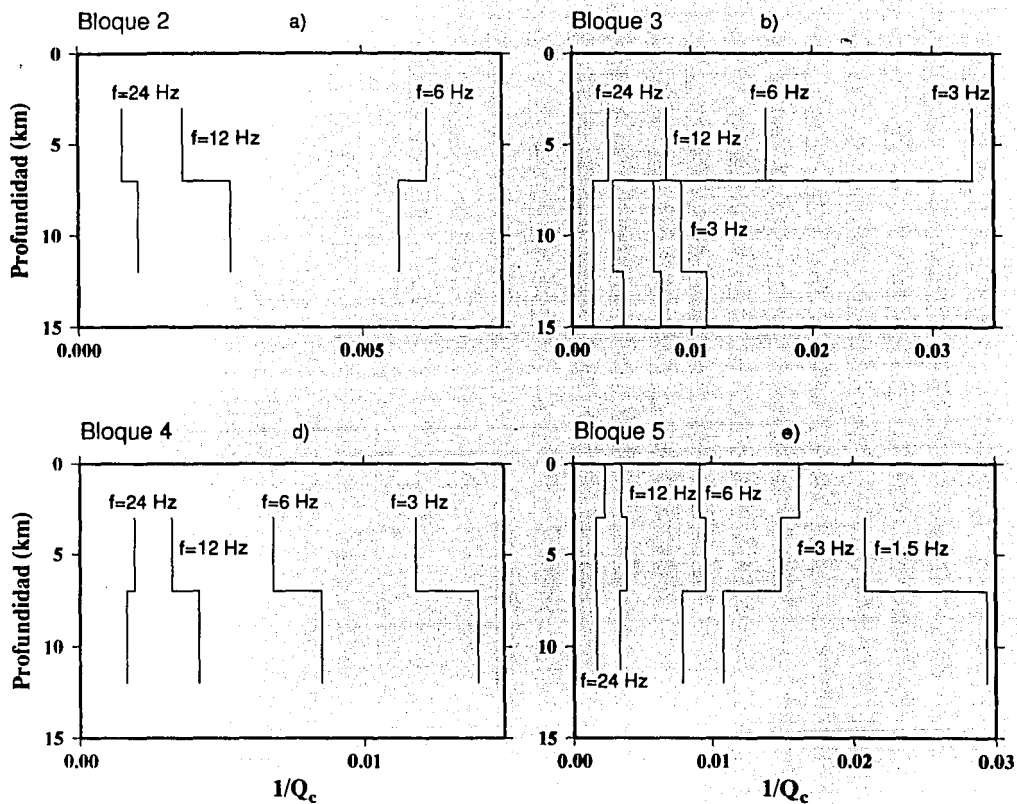


Fig. 5.6.- Variaciones de Q_c^{-1} con la profundidad a diferentes frecuencias en los bloques a)2, b)3, c)4 y d)5 en el lado NE de la falla.

En las Figuras 4.20 a 4.25 se muestra la variación de Q_c^{-1} con la distancia para cada bloque a diferentes frecuencias. El comportamiento mostrado evidencia posiblemente efectos de sitio, los cuales al parecer son diferentes de una estación a otra afectando las ondas a bajas frecuencias.

5.2.- Interpretación de los Resultados

La sismicidad puede reflejar el grado de fracturamiento presente en una zona, la Figura 5.7 presenta los mapas de sismicidad del área de Parkfield por rango de profundidad. La sismicidad se concentra en la parte NO del área, en los bloques 4 y 5 y en el rango de profundidad de 3 a 12 kms. Además la mayor sismicidad se observa en la parte NE de la falla, especialmente en el bloque 5.

El hecho que el bloque 5 presente una mayor sismicidad que el bloque 4 en el rango de profundidad 3-7 km en el NE (Fig. 5.7), evidencia un mayor fracturamiento en esta parte asociado posiblemente a una mayor fragilidad y menor capacidad de acumular grandes cantidades de esfuerzo en los materiales presentes. Esta observación está de acuerdo con la distribución de velocidades del área (Fig. 3.4). El gradiente de velocidad es mayor en el bloque 5 que en el 4 lo cual puede implicar variaciones litológicas mayores, diferentes estados de esfuerzo, mayor fracturamiento, etc. Q_c^{-1} en este caso puede estar relacionada con cada uno de estos factores dispersantes principalmente con el fracturamiento y

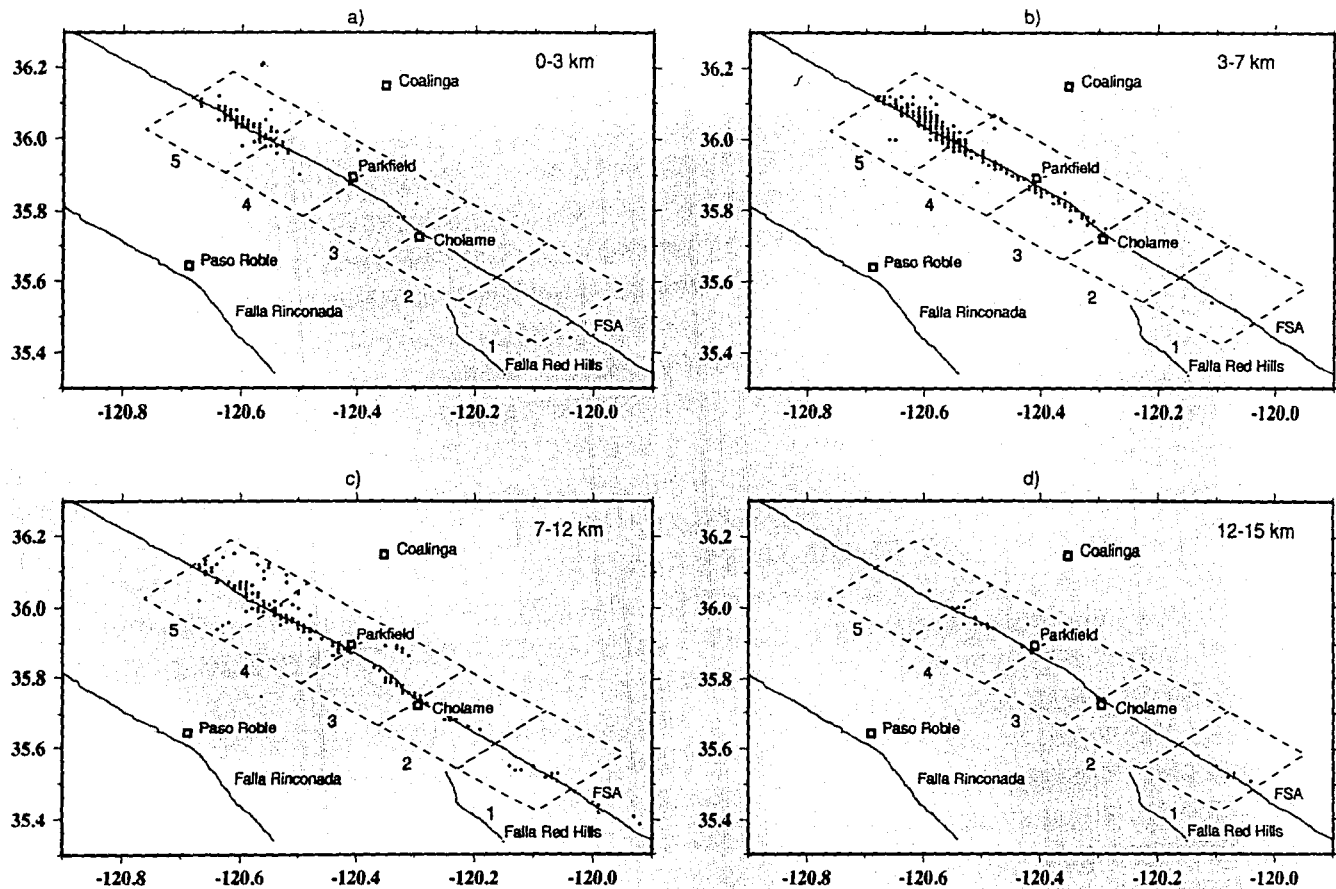


Fig. 5.7.- Mapas de sismicidad del área de Parkfield para los rangos de profundidad: a) 0-3 kms; b) 3-7 kms; c) 7-12 kms; y d) 12-15 kms. Los círculos representan los epicentros y los rectángulos a los lugares señalados. La Falla de San Andrés se denota por FSA y los números corresponden a los bloques en que se dividió la zona de estudio.

las heterogeneidades litológicas y que sea menor para 24 Hz en el bloque 5 que en el 4 debe estar relacionado con las dimensiones de las fracturas y/o heterogeneidades. De acuerdo a Jin y Aki [1989], en la litosfera existe una mayor correlación entre Q_c^{-1} y el grado de fracturamiento asociado con la sismicidad, que entre Q_c^{-1} y las variaciones de velocidades. El cambio brusco en la distribución de velocidades en la zona obtenida por Michael y Eberhart-Phillips [1993] (Fig. 4.3) está más relacionado a los cambios litológicos que al fracturamiento presente. Q_c^{-1} es menor en el bloque 4 que en el 3 tal vez por los efectos de la trayectoria. Sin embargo hay que hacer notar que Q_c se obtuvo a partir de un solo evento en el bloque 3 y las ondas coda deben atravesar la falla en su trayectoria a la estación. Esto no ocurre en el bloque 4 y tampoco en el 2.

Al NE para el rango de profundidad 7-12 kms, la sismicidad es mayor en el bloque 5 que en el 4, sin embargo Q_c^{-1} es menor. Esto posiblemente se debe a efectos de trayectoria, en el bloque 5 los eventos utilizados están más alejados de la falla que los utilizados en el 4 lo cual podría influir en las ondas coda. En el bloque 3 donde Q_c^{-1} es menor que en el 4 hay una mezcla de estos casos lo mismo que en el 2.

Asimismo de acuerdo a la sismicidad, no es evidente un mayor fracturamiento en el bloque 5 que en el 4 en el rango 3-7 km de profundidad en el lado SO, pero el gradiente de velocidad es mayor en el bloque 5 que en el 4. De aquí que la mayor atenuación en el 5 coincida con estas variaciones. El bloque 3 presenta posiblemente un mayor fracturamiento que el 4, ya que tiene mayores variaciones de la velocidad

con la profundidad, lo que implica una mayor atenuación de las ondas coda. En el rango 7-12 km de acuerdo a la sismicidad el bloque 4 parece más fracturado que el 3 y por lo tanto se justifica la mayor atenuación observada.

En el caso de la atenuación a ambos lados de la falla en cada bloque, el bloque 5 es menos atenuante en el NE que en el SO esto se debe posiblemente a los efectos que causa el fracturamiento cercano a la falla sobre las ondas de los eventos localizados al SO, los cuales están cercanos a la misma y el volumen de muestreo incluye ambas partes. De acuerdo a Aki y Chouet [1975] Q_c se obtiene para un elipsoide cuyos focos son el hipocentro y la estación y las ondas coda se deben a retrodispersiones desde heterogeneidades en torno al foco y la estación. Es decir tanto en el bloque 5, en el 4 como en el 3 las diferencias en Q_c^{-1} se deben a los efectos del fracturamiento y heterogeneidades cercanas a la falla sobre las ondas, así como a la dirección y trayectoria que siguen estas ondas. Asimismo en el rango 7-12 km tanto en el bloque 4 como en el 3 hay mayor atenuación en el NE que en el SO, en estos casos se combinan los factores de dirección, trayectoria, gradiente de velocidad y propiedades elásticas de los materiales.

Los resultados obtenidos para eventos y estaciones situados en lados diferentes de la falla, están reflejando además de los efectos de la falla sobre las ondas, el nivel de fracturamiento de los bloques que la componen y posiblemente sus características litológicas. Que el lado noreste de la falla sea más atenuante cuando las ondas no cruzan la falla en los bloques

5, y 4 a ciertas frecuencias implica que sólo para algunas frecuencias la falla tiene efectos atenuantes o que las ondas no son sensibles a los cambios en la litología presentes debido tal vez a las dimensiones de los mismos. Por otro lado en el lado SO resultó algo semejante, siempre los mayores efectos se encuentran en el bloque 5.

En cuanto al comportamiento de Q_c^{-1} con la profundidad, éste es irregular debido a que la distribución de las heterogeneidades dispersoras no están distribuidas regularmente y sus dimensiones podrían ser diferentes a lo largo de toda la zona. Al SO de la falla, Q_c^{-1} disminuye con la profundidad en todos los bloques excepto en el 4, de los 3 a los 7 km para la frecuencia de 6 Hz. En este mismo bloque Q_c^{-1} aumenta de los 12 a los 15 km de profundidad para la frecuencia de 3 Hz, esto se correlacionaría con el incremento encontrado en este rango en las variaciones de las velocidades, pero de acuerdo al análisis estadístico este cambio no existe puesto que el grado de confianza es menor al 80% (Tabla 4.9).

En el lado NE, Q_c^{-1} aumenta de los 7 a los 12 km de profundidad en el bloque 2, debido tal vez, a que esta parte está más fracturada que los rangos superiores. En el bloque 3, Q_c^{-1} aumenta de los 12 a los 15 km de profundidad para las bajas y medias frecuencias, lo cual guarda relación con el aumento en las variaciones de velocidad que se observa en este rango. El bloque 4 es más atenuante en el rango de 7-12 que en el de 3-7 km también a las frecuencias bajas y medias debido a que presenta mayor tracturamiento entre los 7 y los 12 km basado en el alto grado de

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

sismicidad en esta región. En el bloque 5 el comportamiento de Q_c^{-1} con la profundidad presenta mayores irregularidades, aumenta de los 3 a los 7 km para las frecuencias medias. De acuerdo a la sismicidad esta es la parte más fracturada y las variaciones de la velocidad disminuyen con la profundidad en este rango. El fracturamiento podría ser responsable del aumento de Q_c^{-1} a cuyas dimensiones sólo son sensibles las ondas a frecuencias medias. Esto se observa aún cuando las ondas cruzan la falla.

Por otro lado, los valores de Q_c^{-1} disminuyen con la frecuencia (Figs. 5.1 a 5.4) pero mantienen un comportamiento irregular con la distancia debido tal vez a efectos de sitio (Figs. 4.20 a 4.25).

Capítulo 6

Conclusiones

En el presente estudio se ha determinado la distribución de Q_c con respecto a la profundidad en el área de Parkfield-California. Se encuentra una distribución de la atenuación relacionada con la variación de la concentración de la sismicidad y con el fracturamiento así como con la distribución de velocidades y heterogeneidades litológicas presentes en la zona.

El bloque NE de la falla presenta una mayor atenuación que el SO excepto en el bloque 5 y en el 4 para las frecuencias 3 y 6 Hz en el rango de profundidad 3-7 km. Esto podría ser debido a las variaciones litológicas las cuales son más evidentes en el NE. El bloque SO está formado por el bloque Saliniano, compuesto principalmente por rocas metamórficas y graníticas, en tanto que el NE está formado por la secuencia del Gran Valle con la ofiolita de Los Rangos Costeros en la base sobreyaciendo el ensamblaje Franciscano.

La mayor atenuación en el lado NE se correlaciona con la distribución de velocidad, donde los gradientes son mayores, y con el grado de fracturamiento evidenciado por la sismicidad. Las excepciones encontradas se deben posiblemente a las dimensiones de las fracturas, las cuales podrían ser menores en la parte NE del bloque 4 que en el SO.

El bloque 4, correspondiente a la ubicación de Middle Mountain, tiene menor atenuación que las partes NO (bloque 5) y SE (bloque 3) que le circundan en el rango de profundidad 3-7 kms a las frecuencias de 3 a 24 Hz.

Cuando las ondas cruzan el plano de falla, éstas son afectadas a determinadas frecuencias debido posiblemente a la sensibilidad de las mismas, a las dimensiones de las heterogeneidades, las fracturas y a los gradientes de velocidad.

La distribución de Q_c^{-1} en el área de Parkfield evidencia que los agentes dispersores no están distribuidos regularmente ni lateralmente ni con la profundidad, que hay una fuerte dependencia de Q_c^{-1} con la frecuencia y la geología local.

BIBLIOGRAFIA

- Agnew, D.C. y Sieh, K., A documentary study of the felt effects of the great California earthquake of 1857, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 68, 1717-1729, 1978.
- Aki, K., Correlogram analyses of seismograms by means of a simple automatic computer, *J. Phys. Earth*, 4, 71-79, 1956.
- Aki, K., Analysis of the seismic coda of local earthquakes as scattered waves, *J. Geophys. Res.*, 71, 615-631, 1969.
- Aki, K. y Chouet, B., Origin of coda waves: attenuation, and scattering effects, *J. Geophys. Res.*, 80, 3322-3342, 1975.
- Aki, K. y Richards, P.G., Quantitative Seismology: Theory and Methods, Cap. 5, *W.H. Freeman y Co.*, 1980.
- Aki, K. y Tsujiura, M., Correlation study of near earthquake waves, *Bull. Earthquake Res.*, 37, 207-232, 1959.
- Aki, K., Tsujiura, M., Hori, M. y Goto, K., Spectral study of near earthquakes waves, *Bull. Earthquake Res.*, 36, 71-98, 1958.

- Bakun, W., History of significant earthquakes in the Parkfield area, *Earthquakes and Volcanoes*, 20, 45-51, 1988.
- Bakun, W., Geophysical instrumentation near Parkfield, *Earthquakes and Volcanoes*, 20, 60-71, 1988.
- Bakun, W., y Lindh, A.G., The Parkfield, California, earthquakes prediction experiment, *Science*, 229, 619-624, 1985.
- 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.
- Eberhart-Phillips, D. y Michael, A., Three-dimensional velocity structure, seismicity, and fault structure in the Parkfield region, central California, *J. Geophys. Res.*, 98, 15737-15758, 1993.
- Ellsworth, W., Earthquakes history, 1769-1989 in the San Andreas fault system, California, *Ed. by R. Wallace, U.S. Geol. Survey Profess. Paper 1515*, 153-187, 1990.
- Irwin, W., Geology and Plate-Tectonic development, in the San Andreas fault system, California, *Ed. by R. Wallace: U.S. Geol. Survey Profess. Paper 1515*, 61-80, 1990.

Jin, A. y Aki, K., Spatial and temporal correlation between coda Q^{-1} and seismicity and its physical mechanism, *J. Geophys. Res.*, 94, 14041-14059, 1989.

Lee, W., Bennett, R.E. y Magher, K.L., A method of estimating magnitud of local earthquake from signal duration, *Nat. Center for Earthquake Res., U.S. Geol. Survey, Menlo Park, Calif.*, 1972.

Lees, J., y Malin, P., Tomographic images of P wave velocity variation at Parkfield, California, *J. Geophys. Res.*, 95, 21793-21804, 1990.

Louie, J., Clayton, R., y LeBras, R., Trhee-dimensional imaging of steeply dipping structure near the San Andreas fault, Parkfield, California, *Geophysics*, 53, 176-185, 1988.

Michael, A. y Eberhart-phillips, Relations amongs fault behavior, subsurface geology, and trhee-dimensional velocity models, *Science*, 253, 1991.

Michelini, A. y McEvelly, T., Seismological studies at Parkfield. I. Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters using cubic B-splines parametrizations, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 81, 524-552, 1991.

Novelo-Casanova, D. y Lee, W., Comparison of techniques that use the single scattering model to compute the quality factor Q from coda waves, *Pageoph*, 135, 1991.

Novelo-Casanova, D. y Monfret, T., CODAQ program, *open file, Instituto de Geofísica-UNAM*, 1993.

Page, B., The Southern Coast Ranges, in The geotectonic development of California, I, cap. 13, ed. by *W.G. Ernst, Rubey*, 1981.

Phillips, W.S. y Aki, K., Site amplification of coda waves from local earthquakes in central California, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 76, 627-248, 1986.

Powell, R., Foreword, Geological Society of America, Memoir 178, vii-xix, 1993.

Sato, H., Energy propagation including scattering effects single isotropic scattering approximation, *J. Phys. Earth*, 25, 27-41, 1977.

Scheiner, J. y Landers, T.E., Short-period coda of a local event at Lasa, seismic discrimination, *Semiannu. Tech. Sum.*, 42, 1974.

Sheldlock, K., Brocher, T., y Hardings, S., Shallow structure and deformation along the San Andreas fault in Cholame valley, California, based on high-resolution reflection profiling, *J. Geophys. Res.*, 95, 5003-5020, 1990.

Sieh, K., Slip along the San Andreas fault associated with the great 1857 earthquake, *Bull. Seim. Soc. Am.*, 68, 1421-1448, 1978.

Sims, J., Chronology of displacement on the San Andreas fault in central California: Evidence from reversed positions of exotic rock bodies near Parkfield, California, *Geological Society of America, Memoir* 178, 231-256, 1993.

Soloviev, S.L., Seismicity of Sakhalin, *Bull. Earthquake Res.*, 43, 95-102, 1965.

Spiegel, M., Probabilidad y Estadística, Cap. 6 y 7, *McGraw-Hill Book Co.*, 1975.

Stewart, S. y O'Neill, E., Seismic travel times and near-surface crustal velocity structure bounding the San Andreas fault zone near Parkfield, California, *U.S. Geol. Survey Profess. Paper* 800-C, C117-C125, 1972.

Stuart, W., Seismic quiescence at Parkfield due to detachment faulting, *Nature*, 349, 1991.

Tsumura, K., Determination of earthquake magnitude from total duration of oscillation, *Bull. Earthquake Res.*, 45, 7-18, 1967.

Turcotte, D. y Schubert, G., Geodinamics: Aplications of continuum Physics to geological problems, *John Wiley y Sons, inc.*, 1982.

Udias, A. y Mezcuca, J., Fundamentos de Geofísica, Cap. 9, *Editorial Alhambra, S.A.*, 1986.

Valdez-González y Novelo-Casanova, D., QCODA program, *open file, Instituto de Geofísica-UNAM*, 1991.

Wallace, R., General features in the San Andreas fault system, California, *Editada por R.E. Wallace, W.S. Geol. Survey, Profess. Paper 1515*, 3-12 1990.

ANEXO 1

Sismos más importantes asociados al Sistema de Fallas de San Andrés en California y Nevada de
1769 a Abril de 1994.

Sismos importantes asociados al sistema de fallas "San Andrés" en California y Nevada de 1769 a Abril de 1994*

Fecha (Año, mes y día)	Tpo. de Origen (GMT)	Longitud Oeste (Grados y Min)	Latitud Norte (Grados y Min.)	M	Localidad
1769/07/28		118 00	34 00	6.00	Cuenca de Los Angeles
1800/11/22	21:30	117.18	33 00	6.50	Región de San Diego
1808/06/21		122 30	37 48	6.0?	Región de San Francisco
1812/12/08	15:00	117 39	34 22	7.00	Wrightwood
1812/12/21	19:00	119 54	34 12	7.00	Canal Santa Bárbara
1827/09/24	04:00	119 00	34 00	5.50	Región de Los Angeles
1836/06/10	15:30	122 12	37 48	6.75	Falla Hayward
1838/06/?	P.M.	122 24	37 36	7.00	Pen. San Francisco
1852/11/29	20:00	115 00	32 30	6.50	Volcano Lake, B.C.
1855/07/11	04:15	118 06	34 06	6.0?	Región de Los Angeles
1856/02/15	13:25	122 18	37 30	5.75	Pen. San Francisco
1857/01/09+	16:00	120 18	35 42	8.25	Gran terr. de Fort Tejon
1857/09/03	03:05	120 00	39 18	6.25	Nevada Occ. o S. Nevada
1858/11/26	08:35	121 54	37 30	6.25	Región San José
1858/12/16	10:00	117 30	34 00	6.00	Región de S. Bernardino
1860/03/15	19:00	119 30	39 30	6.50	R. de Cdad. Carson, Nev.
1861/07/04	00:11	122 00	37 48	5.75	Valle San Ramón
1862/05/27	20:00	117 12	32 42	6.00	Región de San Diego
1864/02/26	13:47	121 42	37 06	6.00	Sur Mont. Santa Cruz
1864/03/05	16:49	122 00	37 42	5.75	Este de B. San Fco.
1865/10/08	20:46	122 00	37 00	6.50	Sur Mont. Santa Cruz
1866/07/15	06:30	121 18	37 30	6.00	Oeste Valle S. Joaquín
1868/10/21	05:10	119 42	39 18	6.00	Cdad. Virginia, Nev.
1868/10/21	15:53	122 06	37 42	7.00	Falla Hayward
1869/12/27	01:55	119 42	39 24	6.25	Falla Olinghouse, Nev.?
1869/12/27	10:00	119 48	39 06	6.00	Región C. Carson, Nev.
1870/02/17	20:12	122 06	37 12	6.00	Los Gatos
1871/03/02	21:05	124 12	40 24	6.00	Cabo Mendocino
1872/03/26	10:30	118 06	36 42	7.60	Valle Owens
1872/03/26	14:06	118 12	36 54	6.75	Valle Owens
1872/04/03	12:15	118 12	37 00	6.25	Valle Owens
1872/04/11	19:00	118 30	37 30	6.75	Valle Owens
1872/05/03	01:00	115 00	33 00	5.75	Valle Imperial ?
1872/11/12	00:00	117 ?	39 ?	6.00	Región de Austin, Nev. ?
1873/11/23	05:00	124 00	42 00	6.75	Ciudad Crescent
1875/01/24	12:00	120 30	40 12	6.00	Lago Honey
1875/11/15	22:30	115 30	32 30	6.25	Valle Imperial ?
1878/05/09	04:25	124 00	40 06	6.00	Región Punta Gorda
1881/02/02	00:11	120 30	36 00	5.75	Parkfield
1881/04/10	10:00	121 24	37 24	6.00	Oeste Valle S. Joaquín
1882/03/06	21:45	121 12	36 54	5.75	Hollister
1883/09/05	12:30	119 54	34 12	6.25	Canal Santa Bárbara
1884/01/28	07:30	123 36	41 06	5.75	Montes Klamath
1884/03/26	00:40	122 12	37 06	6.00	Montes Santa Cruz
1885/01/31	05:45	120 36	40 24	5.75	Susanville

Sismos importantes asociados al sistema de fallas "San Andrés" en California y Nevada de 1769 a Abril de 1994
(Continuación)

Fecha (Año, mes y día)	Tpo. de Origen (CMT)	Longitud Oeste (Grados y Min)	Latitud Norte (Grados y Min.)	M	Localidad
1885/04/12	04:05	121 00	36 24	6.25	Rango Diablo Sur
1887/06/03	10:48	119 48	39 12	6.50	R. Cdad. Carson, Nev.
1888/04/29	04:48	120 42	39 42	6.00	Valle Mohawk
1889/05/19	11:10	121 54	38 00	6.25	Antioch
1889/06/20	06:00	120 42	40 30	6.00	Sisaville
1889/09/30	05:20	118 42	37 12	5.75	Región Bishop
1890/02/09	12:06	116 18	33 24	6.50	R. F. S. Jac. o Elsinore ?
1890/04/24	11:36	121 36	36 54	6.25	Brecha Pajaro
1890/07/26	09:40	124 12	40 30	6.25	Cabo Mendocino
1891/07/30	14:10	115 00	32 00	6.00	R. delta Río Colorado
1892/02/24	07:20	115 38	32 33	7.00	Laguna Salada, B.C.
1892/04/19	10:50	122 00	38 24	6.50	Vacaville
1892/04/21	17:43	121 54	38 30	6.25	Winters
1892/05/28	11:15	116 12	33 12	6.50	F. S. Jacinto o Elsinore?
1892/11/13	12:45	121 30	36 48	5.75	Hollister
1893/05/19	00:35	119 24	34 06	5.75	Cañón Pico
1894/07/30	05:12	117 36	34 18	6.00	R. Lytle Greek
1894/09/30	17:36	123 42	40 18	6.00	R. Cabo Mendocino
1894/10/23	23:03	116 48	32 48	5.75	Este de San Diego
1896/08/17	11:30	118 18	36 42	6.00	Sureste de Sierra Nevada
1897/06/20	20:14	121 30	37 00	6.25	Gilroy
1898/03/31	07:43	122 24	38 12	6.50	Isla Mare
1898/04/15	07:07	123 48	39 12	6.50	Mendocino
1899/04/16	13:40	126 0?	41 00	7.00	Oeste de Eureka
1899/07/07	20:10	121 30	37 12	5.75	Morgan Hill
1899/07/22	20:32	117 30	34 18	5.75	R. Lytle Greek
1899/12/25	12:25	117 00	33 48	6.40	San Jacinto y Hemet
1901/03/03+	07:45	120 30	36 00	6.40	Parkfield
1903/01/24	05:27	115 00	31 30	6.60	R. delta Río Colorado
1903/06/11	13:12	121 54	37 24	5.50	San José
1903/08/03	06:49	121 48	37 18	5.50	San José
1906/04/18	13:12	122 30	37 42	8.25	Gran terremoto de 1906
1906/04/19	00:30	115 30	32 54	6.20	Valle Imperial
1906/04/23	09:10	124 00	41 00	6.40	Arcata
1907/09/20	01:54	117 06 ?	34 12?	5.30	R. San Bernardino
1908/11/04	08:37	117 00 ?	36 00 ?	6.00?	R. Valle Muerto
1909/10/29	06:45	124 12	40 30	5.80	Cabo Mendocino
1910/03/11	06:52	121 48	36 54	5.80	Watsonville
1910/03/19	00:11	125 00	40 00 ?	6.00	Oeste de Cabo Mendocino
1910/05/15	15:47	117 24	33 42	5.50	Man. Cal. Glen Ivy
1910/08/05	01:31	127 00	42 00	6.60	Oeste de Ciudad Crescent
1911/07/01	22:00	121 45	37 15	6.50	Falla Calaveras
1914/02/18	18:17	119 48	39 30	5.50?	Región de Truckee
1914/04/24	08:34	119 48	39 30	6.00	Región de Truckee
1915/05/06	12:09	126 00	40 00	6.20	Oeste de Cabo Mendocino

Sismos importantes asociados al sistema de fallas "San Andrés" en California y Nevada de 1769 a Abril de 1994
(Continuación)

Fecha (Año, mes y día)	Tpo. de Origen (CMT)	Longitud Oeste (Grados y Min)	Latitud Norte (Grados y Min.)	M	Localidad
1915/06/23	03:59	115 30	32 48	6.00	Valle Imperial
1915/06/23	04:56	115 30	32 48	5.90	Valle Imperial
1915/10/03	06:52	117 30	40 30	7.30	Valle Peasant, Nev.
1915/11/21	00:13	115 00	32 00	7.10	Volcano Lake, B.C.
1915/12/31	12:20	126 00	41 00	6.50	Oeste de Eureka
1916/02/03	05:03	117.48	41 00	5.90	Norte de V. Pleasant, Nev.
1916/10/23	02:44	118 54	34 54	5.30	Región de Paso Tejón
1916/11/10	09:11	116 00	35 30	6.10	Sur de Valle Muerto
1918/04/21	22:32	117 00	33 48	6.90	San Jacinto
1918/07/15	00:23	125 00	41 00	6.50	Oeste de Eureka
1922/01/26	09:31	126 00	41 00	6.00	Oeste de Eureka
1922/01/31	13:17	125 30	41 00	7.30	Oeste de Eureka
1922/03/10+	11:21	120 30	36 00	6.30	Parkfield
1923/10/22	09:04	124 30	40 30	7.20	Cabo Mendocino
1923/07/23	07:30	117 18	34 00	6.00	Región de S. Bernardino
1925/06/04	12:02	125 00	41 30	6.00	Oeste de Eureka
1925/06/29	14:42	119 48	34 18	6.30	Santa Bárbara
1926/10/22	12:35	122 21	36 37	6.10	Bahía Monterrey
1926/10/22	13:35	122 11	36 33	6.10	Bahía Monterrey
1926/12/10	08:38	126 00	40 35	6.00	Oeste de cabo Mendocino
1927/09/18	02:07	118 45	37 30	6.00	Región Bishop
1927/11/04	13:50	120 48	34 42	7.30	Suroeste de Lompoc
1932/06/06	08:44	124 30	40 45	6.40	Eureka
1932/12/21	06:10	118 00	38 45	7.20	Monte Cedar, Nev.
1933/01/05	06:51	117 44	38 46	5.90	Monte Cedar, Nev.
1933/03/11	01:54	117 58	33 37	6.30	Long Beach
1933/06/25	20:45	119 20	39 04	6.10	Yerington, Nev.
1934/01/30	20:16	118 24	38 18	6.30	Monte Excelsior, Nev.
1934/06/08+	04:47	120 30	36 00	6.00	Parkfield
1934/07/06	22:48	125 45	41 15	6.50	Oeste de Eureka
1934/12/30	13:52	115 30	32 15	6.50	Laguna Salada, B.C.
1934/12/31	18:45	114 45	32 00	7.00	Delta Río Colorado
1935/02/24	01:45	115 12	31 59	5.30	Delta Río Colorado
1936/06/03	09:15	125 30	40 00	5.90	Oeste de Cabo Mendocino
1937/03/25	16:49	116 25	33 28	6.00	Dorsal Buck
1940/02/08	08:05	121 15	39 45	6.00	Chico
1940/05/19	04:36	115 30	32 44	7.10	Valle Imperial
1940/12/07	22:16	115 05	31 40	5.50	Delata Río Colorado
1941/02/09	09:44	125 24	40 42	6.60	Oeste Cabo Mendocino
1941/04/09	17:08	114 00	31 00	5.30	Gulfo de California
1941/05/13	16:01	126 24	40 18	6.00	Oeste de Cabo Mendocino
1941/07/01	07:50	119 35	34 22	5.90	Carpenteria
1941/09/14	16:43	118 44	37 34	5.80	Lugar de Tom
1941/09/14	18:39	118 44	37 34	6.00	Lugar de Tom
1941/10/03	16:13	124 48	40 24	6.40	Oeste Cabo Mendocino

Sismos importantes asociados al sistema de fallas "San Andrés" en California y Nevada de 1769 a Abril de 1994
(Continuación)

Fecha (Año, mes y día)	Tpo. de Origen (CMT)	Longitud Oeste (Grados y Min)	Latitud Norte (Grados y Min.)	M	Localidad
1942/10/21	16:22	116 05	33 03	6.50	Montañas Fish Creek
1942/12/03	09:44	119 18	39 42	5.90	Norte de Wadsworth, Nev.
1945/05/19	15:07	126 54	40 24	6.20	Oeste de Cabo Mendocino
1945/09/28	22:24	126 42	41 54	6.00	Oeste de Ciudad Crescent
1946/10/03	13:49	118 03	35 44	6.30	Paso Walker
1947/04/10	15:58	116 33	34 59	6.40	Manix
1948/12/04	23:43	116 23	33 56	6.50	Desert Hot Springs
1948/12/29	12:53	120 05	39 33	6.00	Verdi, Nev.
1949/03/24	20:56	126 00	41 18	6.20	Oeste de Eureka
1949/05/02	11:25	115 41	34 01	5.90	Monte Pinto
1951/10/08	04:10	124 30	40 15	6.00	Oeste de Cabo Mendocino
1951/12/26	00:46	118 18	32 48	5.90	Isla San Clemente
1952/07/21	11:52	119 01	35 00	7.70	Sismo de Kern County
1952/07/21	12:05	119 00	35 00	6.40	Kern County
1952/07/23	00:38	118 35	35 22	6.10	Kern County
1952/07/29	07:03	118 51	35 23	6.10	Bakersfield
1952/11/22	07:46	121 12	35 44	6.00	Bryson
1954/10/12	23:33	119 01	35 00	5.90	O. de la Dorsal Wheeler
1954/03/19	09:54	116 11	33 17	6.20	Arroyo Salado
1954/07/06	11:13	118 32	39 25	6.60	Monte Rainbow, Nev.
1954/07/06	22:07	118 30	39 18	6.40	Monte Rainbow, Nev.
1954/08/24	05:51	118 27	39 35	6.80	Stillwater, Nev.
1954/08/31	22:20	118 30	39 30	6.30	Stillwater, Nev.
1954/10/24	09:44	123 47	31 30	6.00	E. de Santo Tomás, B.C.
1954/11/12	12:26	115 55	31 30	6.30	E. de Santo Tomás, B.C.
1954/11/25	11:16	125 38	40 16	6.50	Oeste de Cabo Mendocino
1954/12/16	11:07	118 12	39 19	7.10	Pico Fairview, Nev.
1954/12/16	11:11	118 00	39 30	6.80	Valle Dixie, Nev.
1954/12/21	19:56	123 47	40 56	6.60	Este de Arcata
1956/02/09	14:32	115 55	31 45	6.80	San Miguel, B.C.
1956/02/09	15:24	115 55	31 45	6.10	San Miguel, B.C.
1956/02/14	18:33	115 30	31 30	6.30	San Miguel, B.C.
1956/02/15	01:20	115 30	31 30	6.40	San Miguel, B.C.
1956/10/11	16:48	125 46	40 40	6.00	Oeste de Cabo Mendocino
1956/12/13	13:15	115 00	31 00	6.00	Costa O. del Golfo de Cal
1959/03/23	07:10	118 01	39 36	6.30	Valle Dixie, Nev.
1959/06/23	14:35	118 49	39 05	6.10	Schurz, Nev.
1960/08/09	07:39	127 04	40 19	6.20	Oeste de Cabo Mendocino
1966/06/28+	04:26	120 30	36 00	6.00	Parkfield
1966/08/07	17:36	114 30	31 48	6.30	Golfo de California
1966/09/12	16:41	120 09	39 25	6.00	Truckee
1968/04/09	02:28	116 08	33 11	6.50	onte Borrego
1968/06/26	01:42	124 16	40 14	5.40	Punta Gorda
1971/02/09	14:00	118 24	34 25	6.50	San Fernando
1973/02/21	14:45	119 02	34 04	5.20	Punta Mugu

Sismos importantes asociados al sistema de fallas "San Andrés" en California y Nevada de 1769 a Abril de 1994
(Continuación)

Fecha (Año, mes y día)	de Origen (CMT)	Longitud Oeste (Grados y Min)	Latitud Norte (Grados y Min.)	M	Localidad
1979/08/06	17:05	121 31	37 07	5.70	Lago del Coyote
1979/10/15	23:16	115 18	32 36	6.50	Valle Imperial
1980/01/24	19:00	121 47	37 50	5.80	Livermore
1980/05/27	16:33	118 50	37 36	6.10	Lagos Mammoth
1980/05/25	16:49	118 54	37 39	5.90	Lagos Mammoth
1980/02/25	19:44	118 49	37 33	5.80	Lagos Mammoth
1980/05/27	14:50	118 48	37 29	6.00	Lagos Mammoth
1980/06/09	03:28	115 05	32 12	6.40	Victoria, B.C.
1980/11/08	10:27	124 30	41 07	7.20	Oeste de Eureka
1981/04/26	12:09	115 39	33 08	6.00	Westmorland
1981/09/04	15:50	119 07	33 40	5.90	Norte Isla Sta. Bárbara
1981/09/30	11:53	118 52	37 35	5.80	Lagos Mammoth
1983/05/02	23:42	120 19	36 14	6.50	Coalinga
1983/07/22	02:39	120 25	36 14	5.70	Coalinga
1984/04/24	21:15	121 39	37 19	6.10	Morgan Hill
1984/09/10	03:14	127 09	40 23	6.70	Zona de Fract. Mendocino
1984/11/23	18:08	118 36	37 27	5.70	Valle Round
1985/08/04	12:01	120 10	36 08	5.90	Norte Kettleman Hills
1986/07/08	09:20	116 36	34 00	6.00	Norte Palm Springs
1986/07/20	14:29	118 26	37 34	5.60	Valle Chalfant
1986/07/21	14:42	118 26	37 32	6.20	Valle Chalfant
1986/07/31	07:22	118 22	37 28	5.20	Valle Chalfant
1987/10/01	14:42	118 05	34 03	5.80	Whittier Narrows
1987/11/24	01:53	115 47	33 04	6.20	Falla Elmore Ranch
1987/11/24	13:16	115 51	33 01	6.60	Superstition Hills
1989/10/18	00:04	121 53	37 02	7.10	Loma Prieta
1990/02/28	23:43	118 04	34 07	5.70	Sur de Pasadena
1991/06/28	14:43	118 00	34 16	5.60	Zona norte de Pasadena
1991/08/17	19:29	124 23	40 01	6.10	Oeste de Cabo Mendocino
1992/03/08	03:43	124 06	40 15	5.40	Cabo Mendocino
1992/04/23	04:50	116 31	34 04	6.10	Desierto Hot Springs
1992/04/25	18:06	124 19	40 15	7.20	Oeste de Cabo Mendocino
1992/04/26	07:41	124 37	40 22	6.50	Oeste de Cabo Mendocino
1992/04/26	11:18	124 41	40 25	6.60	Oeste de Cabo Mendocino
1992/06/05	21:46	124 23	40 27	5.20	Oeste de Cabo Mendocino
1992/06/28	11:57	116 39	34 39	7.30	Falla Camp Rock
1992/06/28	15:05	117 14	34 16	6.50	Paso Cajón
1992/06/29	14:13	116 24	34 07	5.40	Falla Monte Pinto
1992/06/29	16:01	116 30	33 58	5.50	Desierto Hot Springs
1992/06/30	14:38	116 22	34 00	5.10	Desierto Hot Springs
1992/07/09	01:43	116 43	34 30	5.30	Falla Camp Rock
1992/09/15	08:47	116 40	34 29	5.20	Falla Camp Rock
1992/12/04	02:08	116 54	34 22	5.20	Falla Helendale
1993/05/17	23:20	118 06	36 41	6.10	Valle Owens
1994/01/17	12:30	118 38	34 26	6.60	Falla San Gabriel

Sismos importantes asociados al sistema de fallas "San Andrés" en California y Nevada de 1769 a Abril de 1994
(Continuación)

Fecha (Año, mes y día)	Tpo. de Origen (CMT)	Longitud Oeste (Grados y Min)	Latitud Norte (Grados y Min.)	M	Localidad
1994/01/17	23:33	118 42	34 13	5.80	Falla San Gabriel
1994/01/19	21:09	119 07	34 01	5.30	Falla Costera Malibu
1994/03/20	21:20	118 41	34 19	5.30	San Fernando

* Los datos con ? carecen de precisión. Los eventos de 1769 a 1989 fueron tomados de Ellsworth [1990] y de 1990 a Abril de 1994 del catálogo del Centro Nacional de Información de Terremotos (National Earthquakes Information Center) de Los Estados Unidos de América.

+Sismos ocurridos en el área de Parkfield.

ANEXO 2

Parámetros sísmicos de los eventos utilizados en el presente estudio.

Parámetros sísmicos de los eventos utilizados en este estudio*

Fecha (a-me-di)	Tiempo de Origen (h-min-seg)	Longitud (Grados)	Latitud (Grados)	profundidad (km)	Magnitud	RMS (seg)
840405	2036 07.06	-120.29	35.74	10.94	1.4	0.07
840412	0212 46.02	-120.62	36.07	1.94	1.8	0.07
840420	1115 32.28	-120.55	36.00	5.20	1.4	0.04
840502	2139 18.47	-120.57	35.99	2.48	1.3	0.04
840510	1213 40.93	-120.34	35.79	8.45	1.4	0.03
840510	1220 25.93	-120.34	35.79	8.25	1.1	0.03
840511	1753 11.64	-120.47	35.93	4.72	1.3	0.05
840512	0408 51.03	-120.56	36.01	5.01	1.8	0.04
840513	2012 51.45	-120.48	35.93	5.43	0.6	0.04
840520	2047 28.57	-120.58	36.02	5.83	1.7	0.11
840530	1623 09.06	-120.33	35.79	3.93	1.1	0.03
840606	0033 43.42	-120.61	36.06	1.85	1.4	0.03
840609	1615 53.55	-120.44	35.86	7.42	0.7	0.01
840616	0625 53.13	-120.63	36.08	4.24	1.1	0.04
840620	0840 53.82	-120.67	36.11	3.37	2.0	0.05
840620	2101 36.50	-120.55	36.00	5.79	1.3	0.05
840621	2333 50.64	-120.59	36.03	7.41	2.3	0.09
840622	1606 51.41	-120.47	35.92	5.21	1.3	0.04
840623	0343 23.47	-120.57	36.03	5.22	1.6	0.04
840624	1949 52.26	-120.56	36.00	4.67	1.1	0.05
840629	0936 37.86	-120.46	35.92	4.64	1.4	0.04
840715	1840 08.46	-120.60	36.04	0.04	1.9	0.10
840729	1709 31.96	-120.56	35.98	2.86	1.1	0.06
840805	1121 01.98	-120.59	36.04	4.49	2.2	0.09
840809	1557 50.56	-120.53	35.98	11.66	2.1	0.05
840811	0148 33.54	-120.53	35.98	11.65	1.4	0.04
840811	0534 38.97	-120.53	35.98	11.49	1.3	0.04
840811	0703 59.69	-120.43	35.90	11.07	1.0	0.08
840812	0655 15.68	-120.53	35.98	11.25	1.7	0.05
840813	0552 58.92	-120.52	35.97	7.97	1.4	0.05
840814	2242 35.05	-120.58	36.03	1.44	1.1	0.06
840814	2316 44.00	-120.58	36.03	3.58	1.2	0.05
840816	0503 11.49	-120.60	36.06	9.56	1.5	0.08
840823	0112 56.72	-120.65	36.10	7.72	1.2	0.06
840901	2347 39.37	-120.56	36.00	5.04	1.5	0.06
840903	1740 15.70	-120.56	36.00	4.25	1.3	0.05
840904	0313 10.48	-120.66	36.10	6.85	1.3	0.08
840905	2031 03.81	-120.40	35.85	4.71	2.0	0.07
840905	2035 31.09	-120.40	35.86	3.85	1.2	0.05
840908	0543 53.53	-120.35	35.81	5.12	0.8	0.03

Parámetros sísmicos de los eventos utilizados en este estudio (Continuación)

Fecha (a-me-di)	Tiempo de Origen (h-min-seg)	Longitud (Grados)	Latitud (Grados)	profundidad (km)	Magnitud	RMS (seg)
840910	1651 00.87	-120.56	36.01	5.08	1.8	0.07
840920	1827 56.66	-120.57	36.02	5.60	1.6	0.07
840924	1856 32.72	-120.48	35.93	5.21	1.6	0.07
840927	2100 08.12	-120.43	35.89	10.83	1.2	0.07
841002	1838 06.43	-120.56	36.00	3.94	1.6	0.06
841006	0029 16.93	-120.55	35.99	5.39	1.6	0.07
841008	2126 34.93	-120.56	36.01	5.80	1.5	0.04
841012	1426 26.95	-120.65	36.10	4.64	1.1	0.05
841014	2141 48.47	-120.50	35.90	0.02	0.8	0.20
841022	0538 42.96	-120.46	35.91	5.18	0.5	0.04
841105	0224 38.43	-120.63	36.07	1.51	1.9	0.12
841105	0229 13.64	-120.63	36.07	2.82	2.0	0.10
841106	0154 08.97	-120.58	36.03	4.62	1.3	0.08
841117	1347 51.17	-120.53	35.97	6.07	1.0	0.05
841118	0352 23.37	-120.60	36.05	9.02	2.4	0.09
841118	1621 17.96	-120.67	36.10	3.28	1.8	0.08
841124	1243 41.39	-120.52	35.97	11.63	2.0	0.70
841124	1859 53.80	-120.58	36.03	4.71	1.1	0.07
841127	2338 13.12	-120.47	35.93	4.78	1.5	0.06
841128	1822 39.15	-120.59	36.04	8.17	1.7	0.08
841129	1122 00.92	-120.48	35.93	4.72	1.0	0.06
841205	0117 56.87	-120.61	36.06	6.27	2.0	0.07
841205	2232 52.02	-120.54	35.99	4.94	1.1	0.06
841208	1801 31.76	-120.64	36.09	3.89	1.6	0.07
841220	2013 38.83	-120.53	36.00	14.69	1.0	0.03
841220	2349 52.66	-120.60	36.06	4.14	0.6	0.05
841221	0026 38.42	-120.57	36.03	1.17	0.3	0.05
841221	2147 46.97	-120.56	36.01	5.64	1.3	0.05
841221	2232 28.45	-120.57	36.01	5.63	1.5	0.08
841222	2158 04.92	-120.41	35.86	4.88	1.2	0.04
841223	1312 07.46	-120.54	35.99	3.54	0.8	0.03
841224	1205 28.65	-120.59	36.04	8.31	1.3	0.06
841224	1207 42.37	-120.58	36.04	8.41	1.5	0.05
841225	0459 14.03	-120.32	35.78	4.45	0.6	0.02
841227	0848 50.17	-120.26	35.71	11.44	1.6	0.05
841229	2344 06.26	-120.59	36.06	7.92	0.9	0.06
841230	1914 58.24	-120.55	36.00	5.52	0.8	0.02
850105	0903 16.69	-120.58	36.03	1.80	1.1	0.10
850110	0644 51.71	-120.60	36.06	4.73	1.3	0.07
850112	0118 16.20	-120.60	36.06	2.13	1.0	0.03

Parámetros sísmicos de los eventos utilizados en este estudio (Continuación)

Fecha (a-me-di)	Tiempo de Origen (h-min-seg)	Longitud (Grados)	Latitud (Grados)	profundidad (km)	Magnitud	RMS (seg)
850112	0700 41.73	-120.58	36.05	4.38	0.7	0.06
850117	1355 41.93	-120.55	36.01	5.07	0.7	0.04
850118	0641 45.62	-120.37	35.82	6.38	0.7	0.02
850119	0142 27.69	-120.33	35.78	7.77	1.1	0.02
850120	2008 15.50	-120.59	36.05	10.62	0.9	0.08
850121	0056 20.47	-120.55	36.00	3.94	1.0	0.05
850121	0352 53.18	-120.33	35.78	8.03	1.2	0.03
850121	1948 50.27	-120.32	35.76	7.15	0.5	0.03
850125	0044 28.01	-120.40	35.86	4.40	1.1	0.03
850129	1619 28.33	-120.59	36.04	4.80	1.3	0.07
850130	2023 49.77	-120.64	36.07	4.53	2.7	0.09
850131	0903 52.25	-120.54	35.99	5.09	0.9	0.02
850201	0256 21.42	-120.56	36.01	5.60	1.9	0.06
850201	0457 34.10	-120.53	35.98	7.42	1.8	0.06
850202	0113 21.70	-120.64	36.09	3.65	1.5	0.08
850209	2153 29.24	-120.59	36.04	6.30	1.7	0.05
850210	1204 52.87	-120.64	36.09	3.08	1.2	0.06
850212	1337 49.09	-120.67	36.11	4.25	1.7	0.07
850214	1223 15.83	-120.43	35.88	11.07	0.9	0.05
850214	1329 18.24	-120.56	36.01	5.31	2.6	0.08
850214	1356 41.46	-120.56	36.00	5.61	1.3	0.03
850216	0804 01.32	-120.57	36.03	5.50	1.5	0.05
850219	0747 36.80	-120.66	36.10	8.55	1.4	0.04
850224	0628 46.41	-120.43	35.89	10.34	1.3	0.07
850224	0644 16.78	-120.55	36.00	4.30	1.2	0.04
850225	1348 58.27	-120.57	36.02	5.52	1.2	0.05
850226	1243 05.53	-120.57	36.02	5.68	1.6	0.09
850302	1433 10.89	-120.56	36.00	6.22	1.0	0.01
850304	2339 00.28	-120.40	35.86	4.74	0.6	0.02
850308	1240 13.38	-120.62	36.07	1.89	1.4	0.10
850308	1649 56.29	-120.33	35.89	11.65	1.1	0.05
850310	0321 00.36	-120.62	36.06	1.22	0.7	0.06
850312	1044 59.75	-120.52	35.97	11.33	0.8	0.05
850312	1206 40.70	-120.53	35.98	4.06	0.6	0.02
850314	0200 00.41	-120.60	36.06	10.05	1.4	0.05
850315	1237 01.47	-120.52	35.98	11.50	1.7	0.06
850316	2319 32.98	-120.56	36.02	4.23	0.9	0.07
850320	2159 13.51	-120.55	36.08	0.01	1.4	0.18
850322	0601 15.42	-120.52	35.97	4.56	0.7	0.05
850322	0601 39.90	-120.52	35.97	4.76	1.1	0.05

Parámetros sísmicos de los eventos utilizados en este estudio (Continuación)

Fecha (a-me-di)	Tiempo de Origen (h-min-seg)	Longitud (Grados)	Latitud. (Grados)	profundidad (km)	Magnitud	RMS (seg)
850323	1550 55.39	-120.54	35.98	4.75	1.0	0.04
850326	0236 03.43	-120.65	36.11	5.32	1.4	0.06
850326	2254 09.79	-120.53	35.98	4.28	0.6	0.02
850327	1254 30.20	-120.55	36.00	4.50	1.7	0.05
850407	1813 14.57	-120.56	36.02	10.70	1.4	0.08
850409	0428 00.09	-120.24	35.70	9.62	1.8	0.05
850409	1332 03.39	-120.24	35.70	9.52	1.9	0.04
850409	1456 47.00	-120.23	35.70	9.90	1.8	0.04
850411	1653 38.36	-120.48	35.93	5.30	0.8	0.05
850415	1011 22.73	-120.59	36.04	5.30	1.4	0.09
850417	0918 55.87	-120.56	36.01	6.91	0.8	0.05
850419	0848 06.68	-120.36	35.82	6.88	1.0	0.05
850422	2318 34.29	-120.57	36.02	5.49	1.9	0.07
850425	1634 50.27	-120.60	36.05	4.94	1.2	0.07
850427	1648 09.47	-120.31	35.76	7.69	1.2	0.02
850428	1733 33.33	-120.31	35.76	7.84	1.0	0.02
850428	1946 48.72	-120.31	35.76	7.71	1.2	0.01
850429	0254 08.29	-120.59	36.04	6.13	1.2	0.05
850504	1838 03.11	-120.58	36.03	5.03	2.2	0.09
850506	2040 21.31	-120.32	35.78	3.97	1.6	0.05
850507	0001 52.15	-120.43	35.87	9.35	1.1	0.04
850507	0523 48.05	-120.59	36.04	6.10	1.9	0.06
850518	1506 45.22	-120.50	35.96	11.49	1.7	0.06
850521	1324 20.30	-120.34	35.79	9.77	3.1	0.06
850525	0030 23.01	-120.48	35.94	10.58	1.4	0.05
850526	1310 09.66	-120.59	36.05	4.41	0.8	0.05
850526	2119 52.94	-120.55	36.00	4.55	1.3	0.06
850530	0122 49.24	-120.55	36.00	3.34	1.0	0.02
850530	1221 56.80	-120.55	36.00	4.56	1.5	0.03
850601	2155 56.76	-120.55	36.01	5.81	0.9	0.04
850604	1016 18.06	-120.56	36.01	5.05	1.1	0.04
850604	1409 39.63	-120.56	36.00	4.98	2.1	0.09
850607	1839 23.29	-120.52	35.97	7.47	0.9	0.05
850608	0145 59.38	-120.52	35.97	7.76	2.0	0.05
850610	1510 53.42	-120.56	36.01	5.02	1.0	0.06
850612	1555 07.55	-120.52	35.97	11.55	1.4	0.05
850613	0719 00.12	-120.55	36.00	3.58	1.0	0.04
850624	0852 45.49	-120.59	36.04	6.46	2.0	0.08
850625	1858 15.19	-120.57	36.02	5.29	1.6	0.06
850626	1622 15.26	-120.57	36.02	0.18	1.0	0.03

Parámetros sísmicos de los eventos utilizados en este estudio (Continuación)

Fecha (a-me-dí)	Tiempo de Origen (h-min-seg)	Longitud (Grados)	Latitud (Grados)	profundidad (km)	Magnitud	RMS (seg)
850629	0347 53.32	-120.62	36.07	3.21	0.9	0.05
850705	0819 38.05	-120.60	36.05	4.41	1.8	0.10
850712	0047 21.93	-120.55	36.00	4.75	3.4	0.06
850713	0109 31.13	-120.55	36.00	4.37	1.9	0.04
850713	1713 00.10	-120.55	36.00	3.62	1.6	0.05
850715	0718 24.81	-120.47	35.92	5.63	1.0	0.05
850717	1718 58.58	-120.55	36.00	4.41	1.3	0.03
850721	0615 05.66	-120.55	36.00	4.18	1.1	0.04
850725	0457 27.29	-120.51	35.96	3.21	1.3	0.05
850803	0305 11.98	-120.58	36.04	4.47	1.2	0.06
850804	0347 11.00	-120.59	36.04	2.45	1.4	0.08
850805	0236 09.34	-120.58	36.05	3.79	0.9	0.05
850808	0458 42.06	-120.55	36.00	5.34	2.0	0.06
850808	0622 48.07	-120.62	36.07	5.94	1.0	0.08
850810	0359 04.32	-120.56	36.01	5.23	1.0	0.06
850815	0154 19.48	-120.57	36.03	5.42	1.3	0.06
850820	2255 32.72	-120.55	36.00	4.08	1.0	0.01
850821	1112 44.34	-120.56	36.01	5.96	0.8	0.03
850824	0032 49.91	-120.55	36.00	3.71	1.2	0.03
850825	0730 35.80	-120.54	35.99	5.68	1.5	0.06
850825	2106 29.51	-120.57	36.03	4.84	1.2	0.06
850827	1127 20.32	-120.61	36.07	4.88	1.2	0.08
850830	2004 41.76	-120.59	36.05	0.99	1.4	0.04
850902	1453 48.03	-120.32	35.78	4.04	1.6	0.05
850914	0012 46.56	-120.57	36.03	0.97	1.6	0.06
850917	1343 06.65	-120.56	36.01	5.61	1.4	0.05
851008	0540 02.27	-120.59	36.04	0.81	1.7	0.10
851008	2012 34.70	-120.33	35.79	8.47	1.3	0.04
851010	0717 41.09	-120.58	36.04	5.07	1.3	0.08
851016	1139 08.57	-120.41	35.86	3.98	1.1	0.03
851017	0506 03.93	-120.57	36.02	5.75	1.4	0.07
851018	0734 11.53	-120.59	36.04	3.38	1.3	0.12
851018	0803 30.57	-120.59	36.04	5.35	1.3	0.08
851023	0317 09.69	-120.56	36.01	5.27	0.9	0.04
851101	0205 59.97	-120.57	36.01	4.15	1.5	0.08
851104	2253 04.60	-120.34	35.80	9.57	1.9	0.05
851106	0615 57.47	-120.59	36.04	3.29	1.0	0.06
851117	2051 21.68	-120.62	36.07	7.85	1.2	0.05
851118	1007 26.71	-120.66	36.10	7.97	1.2	0.06
851118	1404 13.68	-120.65	36.11	8.41	1.6	0.07

Parámetros sísmicos de los eventos utilizados en este estudio (Continuación)

Fecha (a-me-di)	Tiempo de Origen (h-min-seg)	Longitud (Grados)	Latitud (Grados)	profundidad (km)	Magnitud	RMS (seg)
851118	1420 11.40	-120.65	36.11	8.20	1.4	0.06
851121	1110 57.39	-120.49	35.94	10.55	0.9	0.04
851125	1114 23.79	-120.55	36.00	2.15	1.3	0.05
851127	1529 24.02	-120.55	36.00	4.24	1.0	0.04
851128	0159 22.88	-120.33	35.88	9.13	1.8	0.07
851207	0618 50.81	-120.61	36.06	3.40	1.2	0.09
851208	1426 41.44	-120.57	36.02	5.24	1.2	0.07
851208	1856 26.48	-120.55	36.00	5.64	1.2	0.04
851214	1442 39.43	-120.55	36.00	5.32	1.7	0.06
851215	0014 29.82	-120.55	36.00	5.55	1.9	0.07
851215	0607 57.62	-120.55	36.00	5.82	1.4	0.07
851216	0157 56.48	-120.55	36.00	5.25	1.9	0.06
851216	0746 43.48	-120.55	36.00	5.02	1.0	0.04
851217	2056 00.91	-120.57	36.01	4.11	1.6	0.07
851219	1254 18.23	-120.63	36.08	4.90	1.1	0.08
851221	1402 54.66	-120.59	36.04	3.28	1.1	0.07
851224	1902 56.50	-120.57	36.02	3.31	1.0	0.12
851225	1630 36.46	-120.62	36.07	4.01	1.0	0.06
860102	0825 21.05	-120.50	35.95	5.87	1.2	0.04
860106	1029 57.56	-120.59	36.04	6.00	1.1	0.07
860112	0439 25.42	-120.64	36.09	3.98	1.6	0.08
860118	0139 47.56	-120.61	36.07	6.59	1.3	0.05
860122	1154 26.21	-120.67	36.11	4.74	1.6	0.07
860122	1341 43.62	-120.58	36.03	6.10	1.4	0.04
860124	1819 59.93	-120.59	36.04	6.14	2.1	0.06
860128	0710 04.41	-120.52	35.97	11.07	2.4	0.09
860131	0128 01.55	-120.55	36.00	4.39	1.1	0.04
860131	2051 58.66	-120.55	36.00	4.20	1.0	0.04
860201	0346 51.54	-120.52	35.97	11.50	1.3	0.06
860207	1250 18.98	-120.66	36.10	4.67	1.8	0.07
860208	2246 00.03	-120.55	36.00	3.99	1.4	0.02
860208	2249 46.08	-120.56	36.00	4.52	1.7	0.04
860209	0807 10.02	-120.55	36.00	4.06	1.3	0.03
860212	0214 58.74	-120.58	36.02	6.09	1.4	0.04
860212	0227 42.95	-120.57	36.03	5.16	1.2	0.07
860213	2326 57.28	-120.58	36.05	4.78	1.4	0.06
860216	1527 41.84	-120.60	36.05	6.65	1.4	0.08
860219	1801 59.42	-120.57	36.01	5.43	1.5	0.09
860224	0144 25.95	-120.56	36.00	4.22	2.2	0.08
860226	1606 57.06	-120.55	36.00	5.61	1.5	0.05

Parámetros sísmicos de los eventos utilizados en este estudio (Continuación)

Fecha (a-me-di)	Tiempo de Origen (h-min-seg)	Longitud (Grados)	Latitud (Grados)	profundidad (km)	Magnitud	RMS (seg)
860304	1746 40.40	-120.58	36.03	5.66	2.8	0.09
860305	1739 22.73	-120.57	36.03	5.39	1.7	0.10
860308	0331 42.52	-120.56	36.01	5.65	1.4	0.06
860308	2139 51.34	-120.67	36.11	8.45	1.6	0.08
860311	1824 46.67	-120.56	36.01	4.74	1.1	0.11
860322	1431 43.12	-120.67	36.12	7.32	2.5	0.13
860402	0555 43.11	-120.52	35.97	11.02	2.4	0.06
860404	1137 18.35	-120.56	36.00	4.59	1.0	0.03
860407	1215 59.33	-120.60	36.06	8.16	1.2	0.04
860416	1221 03.84	-120.37	35.83	6.59	1.5	0.06
860417	1127 42.34	-120.32	35.76	6.99	1.0	0.02
860419	1910 36.91	-120.54	35.98	4.43	1.9	0.07
860422	0349 26.50	-120.34	35.80	3.61	1.8	0.07
860426	2036 47.54	-120.60	36.05	4.61	2.9	0.11
860429	0019 55.86	-120.56	36.01	5.62	1.0	0.05
860503	1008 48.27	-120.61	36.06	4.68	1.0	0.07
860504	1802 42.37	-120.54	35.98	1.00	1.0	0.16
860504	1938 10.48	-120.61	36.08	3.49	1.4	0.04
860504	2358 47.68	-120.55	36.00	3.92	1.0	0.02
860506	1308 47.71	-120.67	36.11	3.54	1.9	0.08
860510	0803 01.86	-120.57	36.02	5.46	1.5	0.07
860512	0956 37.55	-120.56	36.01	5.39	2.6	0.07
860513	0607 09.80	-120.56	36.01	4.93	0.9	0.06
860516	1533 49.60	-120.56	36.02	3.87	1.1	0.06
860517	1303 05.33	-120.54	36.00	5.68	1.1	0.04
860519	0744 46.12	-120.59	36.05	4.82	1.0	0.07
860519	1801 09.21	-120.57	36.01	5.02	2.1	0.08
860520	0819 44.13	-120.56	36.00	5.33	2.1	0.07
860606	2221 53.29	-120.53	35.97	7.69	1.3	0.06
860607	0259 54.64	-120.54	35.99	5.20	1.0	0.02
860609	1854 56.90	-120.57	36.01	4.54	1.3	0.05
860610	0612 26.44	-120.57	36.03	5.57	1.7	0.06
860611	1007 12.63	-120.48	35.93	5.21	1.0	0.05
860618	1618 25.84	-120.59	36.06	4.35	1.4	0.03
860620	2134 31.03	-120.57	36.02	5.00	1.6	0.06
860620	2235 06.40	-120.56	36.03	4.24	1.0	0.03
860623	2121 58.15	-120.55	36.01	5.59	1.2	0.04
860711	0736 27.36	-120.55	36.00	5.51	1.0	0.06
860713	0252 40.37	-120.56	36.02	3.39	1.0	0.03
860713	0946 16.06	-120.48	35.94	5.58	1.1	0.04

Parámetros sísmicos de los eventos utilizados en este estudio (Continuación)

Fecha (a-me-di)	Tiempo de Origen (h-min-seg)	Longitud (Grados)	Latitud (Grados)	profundidad (km)	Magnitud	RMS (seg)
860720	2347 10.12	-120.57	36.02	5.68	1.4	0.07
860813	0230 51.82	-120.60	36.04	4.54	1.5	0.12
860901	1905 23.19	-120.58	36.02	5.21	2.3	0.09
860902	0436 58.52	-120.61	36.07	6.56	1.9	0.09
860903	1057 27.40	-120.58	36.04	8.83	1.5	0.06
860903	2210 22.14	-120.48	35.93	5.66	1.5	0.04
860904	0421 11.13	-120.61	36.07	6.52	1.3	0.10
860909	1513 52.56	-120.62	36.07	3.21	2.3	0.10
860909	1635 56.11	-120.48	35.93	5.82	1.5	0.04
860910	1744 19.90	-120.59	36.03	4.80	2.1	0.10
860910	1802 35.50	-120.58	36.04	4.99	1.7	0.08
860914	0447 38.50	-120.57	36.02	5.86	1.9	0.07
860915	0538 00.76	-120.42	35.87	5.04	0.9	0.03
860916	0705 10.84	-120.57	36.01	4.54	1.5	0.12
860916	1046 51.67	-120.65	36.10	8.34	1.4	0.06
860921	0521 26.35	-120.32	35.77	7.91	1.2	0.01
860922	1307 33.16	-120.57	36.02	5.46	1.6	0.07
860925	1202 16.85	-120.60	36.06	4.74	1.9	0.08
860928	0330 49.08	-120.58	36.04	5.30	1.3	0.09
861002	0805 37.37	-120.55	36.00	3.76	1.1	0.03
861009	0737 35.77	-120.43	35.89	10.63	1.2	0.08
861018	2017 30.52	-120.63	36.09	3.55	1.4	0.07
861022	1500 17.47	-120.63	36.08	5.14	2.7	0.09
861025	1431 59.86	-120.29	35.75	10.32	1.2	0.02
861101	0028 20.28	-120.58	36.05	4.77	1.3	0.06
861109	0447 53.83	-120.29	35.74	10.46	1.4	0.05
861116	2340 38.79	-120.59	36.04	3.57	1.3	0.11
861119	0030 19.45	-120.47	35.93	5.19	1.8	0.04
861202	1128 06.77	-120.30	35.74	12.09	2.0	0.05
861207	1937 02.66	-120.59	36.04	3.13	1.1	0.12
861213	1653 20.30	-120.58	36.04	4.54	1.3	0.07
861219	0639 24.74	-120.42	35.87	4.42	1.4	0.02
861221	2053 15.68	-120.58	36.04	4.30	1.1	0.06
861222	1628 59.30	-120.61	36.08	5.89	1.3	0.07
861223	2133 34.99	-120.47	35.93	5.73	1.1	0.04
861224	2219 33.49	-120.47	35.92	5.56	1.5	0.07
861224	2230 16.22	-120.47	35.92	5.44	1.4	0.06
861227	1933 31.65	-120.57	36.04	10.69	1.1	0.03
861229	0828 06.63	-120.55	36.00	3.58	1.2	0.02
861231	0400 49.15	-120.52	35.97	11.77	1.2	0.04

Parámetros sísmicos de los eventos utilizados en este estudio (Continuación)

Fecha (a-me-dí)	Tiempo de Origen (h-min-seg)	Longitud (Grados)	Latitud. (Grados)	profundidad (km)	Magnitud	RMS (seg)
870101	1229 53.22	-120.50	35.95	14.62	1.0	0.06
870102	0147 13.09	-120.49	35.95	13.32	1.2	0.03
870106	1504 23.98	-120.55	36.00	4.28	1.4	0.04
870106	2113 35.05	-120.58	36.04	1.42	1.0	0.01
870107	0042 33.94	-120.56	36.00	4.09	1.3	0.07
870112	0248 18.03	-120.62	36.07	3.34	1.8	0.09
870122	1909 20.08	-120.56	36.01	5.85	1.9	0.07
870123	0219 24.95	-120.56	36.01	5.70	1.4	0.06
870201	0559 52.69	-120.58	36.05	4.21	1.1	0.04
870201	1125 33.06	-120.51	35.96	5.80	2.1	0.06
870201	1143 32.25	-120.51	35.96	5.48	1.0	0.05
870202	0909 36.55	-120.55	36.00	3.13	1.0	0.03
870203	1252 27.46	-120.57	36.02	5.84	1.4	0.06
870212	2158 24.64	-120.59	36.06	4.29	1.4	0.04
870214	1638 28.69	-120.56	36.01	5.28	1.0	0.08
870215	0856 04.45	-120.34	35.79	10.35	1.8	0.05
870215	1517 04.94	-120.57	36.02	5.43	1.8	0.06
870220	1453 10.54	-120.61	36.06	6.46	1.8	0.08
870220	2033 38.16	-120.40	35.85	4.43	1.5	0.05
870221	0252 17.21	-120.61	36.06	6.32	2.2	0.10
870221	1958 47.91	-120.43	35.88	10.16	1.7	0.06
870314	1417 00.46	-120.52	35.97	11.02	1.9	0.06
870322	1902 28.78	-120.55	36.00	4.21	1.3	0.04
870322	1944 22.76	-120.55	36.00	4.25	1.6	0.03
870327	1303 00.54	-120.52	35.97	11.62	1.7	0.06
870328	0018 23.94	-120.55	36.01	5.84	1.0	0.05
870406	1551 25.44	-120.43	35.89	10.07	1.2	0.07
870413	0659 09.57	-120.55	36.00	5.31	2.7	0.06
870413	1554 54.04	-120.57	36.03	4.56	1.4	0.06
870413	1825 05.45	-120.55	36.00	5.21	1.3	0.04
870416	2204 07.68	-120.58	36.04	5.12	1.4	0.07
870417	2323 49.04	-120.67	36.11	3.88	1.6	0.06
870420	1237 25.33	-120.35	35.80	9.76	1.2	0.05
870420	2146 59.71	-120.47	35.93	10.21	1.4	0.07
870421	1348 27.67	-120.34	35.79	9.21	1.0	0.04
870426	0008 19.84	-120.46	35.92	6.70	1.1	0.04
870426	2304 10.55	-120.59	36.04	4.57	2.3	0.13
870428	1916 55.94	-120.52	35.97	11.54	2.6	0.07
870501	1226 45.16	-120.59	36.05	9.15	1.0	0.06
870503	1828 03.93	-120.55	36.00	5.24	2.0	0.07

Parámetros sísmicos de los eventos utilizados en este estudio (Continuación)

Fecha (a-me-di)	Tiempo de Origen (h-min-seg)	Longitud (Grados)	Latitud (Grados)	profundidad (km)	Magnitud	RMS (seg)
870504	0310 03.64	-120.55	36.00	5.23	1.6	0.06
870507	0310 02.16	-120.48	35.93	4.89	1.6	0.06
870512	1103 00.56	-120.51	35.96	8.89	1.2	0.05
870516	0442 14.31	-120.55	36.00	4.42	1.3	0.04
870518	0556 48.95	-120.61	36.06	6.46	1.7	0.09
870519	0018 51.39	-120.48	35.94	13.89	1.3	0.04
870519	1026 28.43	-120.62	36.05	0.66	2.3	0.11
870522	1926 27.12	-120.55	36.00	3.73	1.4	0.03
870530	1358 09.22	-120.56	36.00	4.51	1.8	0.06
870531	1451 54.03	-120.56	36.01	6.71	1.0	0.04
870531	1603 41.24	-120.55	35.99	5.58	1.6	0.07
870605	0540 50.71	-120.62	36.08	4.28	1.4	0.07
870605	1953 00.03	-120.65	36.09	4.10	1.7	0.08
870608	1014 33.08	-120.65	36.10	7.85	1.9	0.07
870608	1020 54.77	-120.65	36.10	8.00	1.3	0.06
870608	2210 11.33	-120.56	36.01	6.13	1.0	0.04
870609	0029 12.50	-120.56	36.01	4.78	1.2	0.04
870615	0919 47.31	-120.58	36.05	4.79	1.3	0.06
870616	1846 14.22	-120.52	35.96	2.28	1.1	0.07
870618	0142 58.23	-120.51	35.96	3.24	1.3	0.07
870623	1933 57.74	-120.55	36.00	4.42	1.4	0.11
870628	0349 16.30	-120.56	36.01	5.12	1.3	0.06
870702	2200 58.84	-120.56	36.00	5.15	1.5	0.08
870703	0731 18.51	-120.60	36.06	6.66	1.2	0.06
870706	0906 05.67	-120.57	36.02	4.98	1.4	0.06
870708	2207 12.10	-120.38	35.84	3.64	1.3	0.03
870709	2122 24.95	-120.38	35.84	4.15	2.5	0.08
870710	0504 45.53	-120.44	35.90	10.31	0.8	0.07
870718	1830 17.92	-120.48	35.92	5.09	1.5	0.03
870721	2244 47.11	-120.57	36.04	4.92	1.2	0.05
870807	0425 56.12	-120.49	35.95	10.49	2.5	0.09
870815	1604 52.78	-120.07	35.53	13.08	2.8	0.06
870815	1752 55.49	-120.07	35.53	12.43	2.7	0.05
870828	2039 11.68	-120.52	35.98	10.75	2.3	0.07
870902	0747 55.84	-120.56	36.03	4.07	1.3	0.05
870902	0749 08.57	-120.57	36.03	4.84	1.4	0.06
870906	0437 15.35	-120.54	35.98	4.57	1.1	0.06
870908	1031 44.03	-120.43	35.89	10.68	1.2	0.07
870908	2245 01.66	-120.60	36.06	7.03	1.9	0.09
870918	1050 28.22	-120.47	35.92	5.64	1.6	0.06

Parámetros sísmicos de los eventos utilizados en este estudio (Continuación)

Fecha (a-me-di)	Tiempo de Origen (h-min-seg)	Longitud (Grados)	Latitud (Grados)	profundidad (km)	Magnitud	RMS (seg)
870918	1050 40.30	-120.47	35.92	5.69	1.9	0.06
870919	0002 31.38	-120.47	35.92	5.69	2.2	0.07
870919	0235 25.60	-120.47	35.92	5.31	1.1	0.04
870919	0347 57.35	-120.47	35.92	5.16	1.1	0.06
870921	1046 25.56	-120.47	35.92	5.28	1.0	0.05
870922	0031 03.15	-120.51	35.96	7.46	1.6	0.05
870925	1146 53.51	-120.47	35.93	4.95	1.0	0.06
870926	1743 50.68	-120.47	35.93	5.02	1.2	0.03
870926	1744 19.82	-120.47	35.93	5.02	1.3	0.04
870929	1148 20.60	-120.29	35.75	6.05	1.7	0.06
871007	0221 09.37	-120.51	35.96	11.22	1.3	0.05
871020	0333 57.56	-120.43	35.89	6.27	0.8	0.06
880106	0703 36.79	-120.51	35.97	11.75	1.0	0.04
880302	0146 38.89	-120.55	36.00	5.57	1.0	0.05
880523	0951 23.40	-120.52	35.97	11.13	2.0	0.06
880603	2036 57.61	-120.64	35.94	9.43	1.2	0.04
880821	1410 07.80	-120.55	35.99	4.90	1.0	0.07
880826	1312 05.13	-120.51	35.97	11.05	1.1	0.06
880909	1604 35.86	-120.67	36.11	3.37	2.0	0.09
880916	0418 48.22	-120.56	36.01	5.32	1.3	0.05
880926	0437 22.51	-120.49	35.94	10.17	1.7	0.07
880927	0425 12.82	-120.64	35.94	8.52	2.3	0.08
881002	0208 59.58	-120.57	36.01	5.45	1.2	0.07
881003	1151 08.54	-120.56	36.01	5.47	1.1	0.06
881005	2220 11.39	-120.58	36.04	3.89	1.2	0.05
881007	0517 29.65	-120.57	36.01	5.32	1.5	0.09
881025	1442 53.88	-120.60	36.05	6.69	1.2	0.08
881028	0745 50.64	-120.57	36.02	5.38	1.6	0.07
881028	1108 59.92	-120.57	36.03	5.50	1.0	0.08
881031	1815 28.01	-120.40	35.85	5.12	1.4	0.05
881101	2115 28.88	-120.55	36.00	4.10	1.2	0.03
881102	0344 43.46	-120.55	36.00	4.22	1.3	0.04
881102	1133 44.76	-120.41	35.87	5.77	1.8	0.08
881115	0223 53.16	-120.56	36.01	5.51	1.8	0.08
881125	1118 18.72	-120.35	35.80	10.23	2.1	0.07
881206	0327 56.02	-120.54	35.99	5.45	1.8	0.06
881207	1233 45.79	-120.57	36.01	6.75	0.9	0.08
881208	1804 25.75	-120.55	36.00	5.06	1.1	0.05
881210	1122 30.60	-120.54	35.99	5.24	0.8	0.02
881210	1430 20.96	-120.55	36.00	4.67	1.7	0.04

Parámetros sísmicos de los eventos utilizados en este estudio (Continuación)

Fecha (a-me-dí)	Tiempo de Origen (h-min-seg)	Longitud (Grados)	Latitud. (Grados)	profundidad (km)	Magnitud	RMS (seg)
881211	0733 30.66	-120.55	36.00	4.32	1.0	0.02
881222	0822 31.60	-120.43	35.89	10.28	1.3	0.05
881226	2306 47.29	-120.58	36.04	4.95	1.4	0.07
890129	1533 41.43	-120.53	35.98	11.18	1.3	0.06
890210	2350 09.02	-120.47	35.92	5.36	2.2	0.10
890214	2102 14.79	-120.47	35.93	5.54	0.8	0.03
890217	0307 05.64	-120.28	35.73	9.31	1.5	0.06
890218	0746 07.63	-120.38	35.82	6.33	2.0	0.09
890228	1019 50.13	-120.47	35.92	5.83	1.8	0.06
890308	2305 48.51	-120.58	36.03	4.79	1.7	0.13
890313	1934 22.47	-120.56	36.02	5.67	1.5	0.05
890313	2145 06.66	-120.56	36.02	5.37	1.3	0.04
890316	0012 09.85	-120.52	35.97	10.69	1.8	0.09
890328	0947 28.49	-120.50	35.95	7.16	2.1	0.07
890330	0458 24.72	-120.57	36.02	5.78	1.4	0.05
890412	1909 06.87	-120.57	36.03	5.55	1.3	0.07
890419	2122 57.48	-120.53	35.98	11.17	1.0	0.03
890505	0229 47.78	-120.52	35.97	10.82	2.0	0.08
890527	1016 36.69	-120.67	36.12	7.04	2.4	0.13
890617	1119 33.77	-120.58	36.03	1.35	1.4	0.10
890705	1648 22.16	-120.59	36.04	4.97	2.0	0.10
890728	1733 34.09	-120.56	36.01	4.86	1.0	0.06
890729	0039 55.71	-120.37	35.82	6.84	1.6	0.08
890731	1535 25.49	-120.60	36.05	0.72	1.3	0.08
890802	0742 58.80	-120.48	35.93	5.08	1.1	0.06
890806	2100 34.53	-120.56	36.00	5.23	2.5	0.09
890807	0354 50.97	-120.56	36.00	5.19	2.1	0.07
890808	0119 07.00	-120.48	35.93	4.79	0.9	0.03
890810	1600 34.10	-120.48	35.93	5.17	1.8	0.06
890812	1050 57.88	-120.55	36.00	4.37	1.4	0.03
890819	1008 08.83	-120.56	36.01	5.66	1.6	0.06
890825	0610 33.09	-120.56	36.00	5.63	1.6	0.07
890825	0747 59.37	-120.48	35.93	4.95	0.9	0.05
890904	1212 36.28	-120.60	36.05	4.52	1.8	0.11
890906	1838 04.23	-120.52	35.97	7.42	1.4	0.05
890927	0005 39.44	-120.52	35.97	4.58	1.0	0.08
891001	1530 01.84	-120.57	36.01	5.17	1.0	0.09
891005	1209 28.26	-120.53	35.98	4.44	1.4	0.06
891005	2113 46.99	-120.61	36.07	3.07	1.5	0.05
891009	1500 18.75	-120.59	36.04	5.04	1.5	0.09

 Parámetros sísmicos de los eventos utilizados en este estudio (Continuación)

Fecha (a-me-di)	Tiempo de Origen (h-min-seg)	Longitud (Grados)	Latitud (Grados)	profundidad (km)	Magnitud	RMS (seg)
891223	2213 54.39	-120.31	35.77	4.48	2.1	0.09
900125	0226 53.43	-120.57	36.02	5.53	1.5	0.05
900125	0838 16.26	-120.51	35.96	10.99	1.8	0.07
900131	1033 01.94	-120.47	35.92	5.69	1.1	0.05
900208	0819 27.18	-120.58	36.04	4.64	1.2	0.08
900729	0239 30.73	-120.52	35.96	7.59	1.9	0.06
900805	2151 30.64	-120.52	35.96	10.42	1.0	0.05
900820	0816 03.28	-120.53	35.98	12.09	1.1	0.04
900930	1717 17.73	-120.53	35.98	7.29	1.8	0.07
901001	0224 11.50	-120.53	35.95	8.78	1.1	0.10
901116	0205 15.72	-120.52	35.97	7.87	1.1	0.04
901116	2345 07.87	-120.52	35.97	7.60	1.1	0.04
901128	0342 54.79	-120.50	35.95	13.49	2.2	0.08
901130	0428 08.09	-120.50	35.95	10.65	1.9	0.07
901130	1708 21.69	-120.50	35.94	10.85	0.9	0.06
901204	1313 58.95	-120.50	35.95	11.03	1.8	0.07
901206	0525 58.42	-120.50	35.95	10.83	1.5	0.06

*Estos datos fueron tomados del catálogo del USGS en Menlo Park, California.