

23  
2ºj



# Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE CIENCIAS



## Geometría de la Placa de Cocos en la Región del Río Balsas, Guerrero.

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
F I S I C O  
P R E S E N T A  
JAIME DOMINGUEZ RIVAS



MEXICO. D. F.

1991

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## INDICE

RESUMEN.	1
INTRODUCCION.	3
I. MARCO TEORICO.	
1.1 Sismologfa.	5
1.2 Fundamentos Ffsicos de la Sismologfa.	5
1.3 Programa HYPO71.	8
1.3.1 M3todo de Geiger.	8
1.4 Fundamentos del mecanismo focal.	10
II. DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO.	
2.1 Ubicaci3n.	16
2.2 Tect3nica Regional.	16
III. RED DE CARACOL.	
3.1 Antecedentes.	23
3.2 Base de datos y procesamiento.	23
3.3 Estadfsticas.	25
IV. METODOLOGIA.	
4.1 Antecedentes.	34
4.2 Relocalizaci3n.	34
4.3 Mecanismos focales.	38
V. ANALISIS DE RESULTADOS.	43
VI. CONCLUSIONES.	53
VII. BIBLIOGRAFIA.	55
AGRADECIMIENTOS.	58
APENDICE.	59

## INTRODUCCION.

Al revisar algunos artículos de sismología donde se estudia la tectónica de las costas del Pacífico mexicano, en especial en las costas del estado de Guerrero (LeFevre y McNally, 1985; Hanus y Vanek, 1977-78; Molnar y Sykes, 1969; Suárez et.al., 1990a), se encuentra que no existe una definición clara de la interfase entre las placas de Cocos y de Nortamérica más allá de la zona de Benioff.

Debido a la disposición de información de sismicidad ocurrida en el estado de Guerrero desde septiembre de 1987, con datos generados por la red telemétrica del Instituto de Geofísica (IGF-UNAM), decidimos estudiar los sismos alrededor del río Balsas, al norte del estado, con el fin de continuar los trabajos realizados en la Costa Grande realizados por Suárez et.al. (1990) y Araujo (1991). Uno de los objetivos fundamentales es determinar con detalle la geometría y el estado de esfuerzos de la placa en subducción bajo el cauce del río Balsas. Este problema es de interés porque no existen, hasta la fecha, evidencias claras que nos permiten establecer que sucede en el sur de México con la placa de Cocos después de la zona de contacto, y porqué puede existir una relación entre la subducción de la placa de Cocos con la formación del Eje Volcánico Mexicano.

Algunos artículos en los que se ha estudiado la tectónica del estado de Guerrero (Johnson y Harrison, 1990, y DeMets y Stein, 1989), sugieren la existencia de una falla geológica paralela al río Balsas, que posiblemente esté influyendo en el régimen de esfuerzos que producen los sismos en esta región. Por este motivo, es de interés determinar también si hay sismicidad cortical que refleje la actividad de esa supuesta falla.

Además de la Red Telemétrica operada por el IGFUNAM, en la

Costa Grande de Guerrero, existe otra red al norte de Guerrero operada por CFE para monitorear la sismicidad del proyecto hidroeléctrico del Caracol. Las dos redes trabajan simultáneamente desde septiembre de 1987. Los datos registrados por estas redes, además de algunas estaciones del SSN, se utilizarón para efectuar el trabajo que a continuación se presenta.

## I. MARCO TEORICO

### 1.1 SISMOLOGIA.

La sismología es la rama de la geofísica que se ocupa de la medición, y análisis de los movimientos ocurridos en la superficie de la Tierra debido a la propagación de ondas elásticas en su interior, captados por los sismógrafos. A estos registros, sean analógicos o digitales, se les dá el nombre genérico de sismogramas. A grandes rasgos, un sismómetro está constituido por un masa suspendida (péndulo) de un marco fijo al suelo. Debido a su inercia la masa es relativamente independiente del movimiento del marco. Cuando el marco se mueve por las ondas de un terremoto, la inercia de la masa hace que ésta quede estacionaria con respecto al movimiento del marco de forma que este movimiento relativo es registrado. Este registro se hace, por ejemplo, mediante una pluma (estilite) en papel enrollado en un tambor que gira. La posición del sismómetro puede ser horizontal o vertical.

En los sismógrafos modernos, el movimiento relativo entre el péndulo y el marco produce una señal eléctrica que es amplificada electrónicamente, imprimiéndose después en el sismograma. Actualmente las señales eléctricas son registradas digitalmente en una cinta magnética o en una computadora, facilitando así el manejo y análisis de los registros sísmicos.

### 1.2 FUNDAMENTOS FISICOS DE LA SISMOLOGIA.

Al ocurrir un terremoto se emiten ondas elásticas (ondas sísmicas), que se propagan en un medio sólido-elástico (la Tierra). Las ondas elásticas se dividen en ondas de cuerpo (volumétricas) y ondas superficiales. Las primeras pueden ser de dos tipos: longitudinales (ondas P o primarias, fig. 1), que son ondas elásticas de compresión y transversales (ondas S o secundarias, fig. 1), ondas elásticas de cizalla. Este tipo de ondas fueron descubiertas teóricamente por Poisson al crear la teoría de la elasticidad en 1828. Poisson mostró que en un cuerpo elástico e isotrópico pueden propagarse dos tipos de señales con velocidades  $V_p$  (velocidad de las ondas P) y  $V_s$  (velocidad de las ondas S) con la característica que  $V_p > V_s$ . Las velocidades se expresan por medio de los módulos de elasticidad (K, módulo de

compresión;  $\mu$ , módulo de desplazamiento) y la densidad  $\rho$  del medio; matemáticamente quedan descritas por las siguientes fórmulas:

$$V_p = \sqrt{(K + 4/3\mu)/\rho} \quad \text{y} \quad V_s = \sqrt{\mu/\rho}$$

Las velocidades  $V_p$  y  $V_s$  en general aumentan proporcionalmente con la profundidad (cuando el sólido tiene una relación de Poisson de  $\sigma = 0.25$ , con  $\lambda$  (coeficiente de Lamé) =  $\mu$  (módulo de rigidez), por lo que el cociente  $V_p/V_s$  es  $\sqrt{3}$ ). Por eso los rayos sísmicos reales tienen trayectorias curvas en el interior de la Tierra, es decir, la Tierra se comporta como una lente refringente.

El segundo tipo de ondas, las superficiales, se utilizan para la investigación de las capas exteriores de la Tierra (corteza y manto superior). Las ondas superficiales son de dos tipos: ondas Rayleigh y ondas Love (fig. 1). En las ondas Rayleigh, el desplazamiento de las partículas del suelo se halla en el plano vertical describiendo una elipse en sentido contrario a la propagación de las ondas. Las ondas Love, formadas por ondas S polarizadas horizontalmente ( $S_H$ ), tiene un desplazamiento de las partículas en el plano horizontal paralelo al vector de propagación de las ondas. En las ondas superficiales el valor del desplazamiento es máximo en la superficie de la Tierra, disminuyendo exponencialmente con la profundidad.

Por tener la mayor velocidad, al principio de un sismograma se registra la onda P directa y posteriormente se registran fases reflejadas y refractadas de las ondas P. A continuación llega la fase de las ondas S, que se caracteriza por ser mayor amplitud y de período más largo que las ondas P. A partir de los tiempos de las ondas P y S registradas en varias estaciones sismológicas se obtiene información que se procesa para saber como, cuando y donde ocurrió el sismo que produjo las ondas registradas en los sismogramas. En especial se obtiene la localización de su foco o hipocentro (El hipocentro se representa como un punto en el interior de la Tierra, aunque las ondas sísmicas son producidas por fallas geológicas, con dimensiones de decenas a miles de kilómetros de longitud).

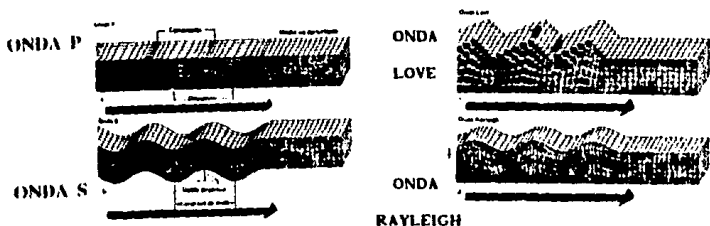


Fig 1 El diagrama ilustra el desplazamiento producido por los diferentes tipos de ondas sísmica (Bott, 1986).

De acuerdo con los datos obtenidos por la sismología, la Tierra se divide en tres zonas principales: la corteza, el manto y el núcleo. La corteza está separada del manto por una frontera bien marcada, llamada discontinuidad de Mohorovičić. En la cual las velocidades  $V_p$ ,  $V_s$ , y la densidad  $\rho$  cambian de valores promedio de 3.5 a 6.2 km/s, 2.0 a 3.6 km/s y 2800 a 3500 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente (Bott, 1984). El espesor de la corteza varía de ~10 km en los océanos hasta 90 km regiones montañosas de los continentes, en el Himalaya, por ejemplo. Al examinar la Tierra como un todo, la corteza terrestre se representa en forma de una capa homogénea con un espesor promedio de ~35 km. La corteza se compone principalmente por óxidos de silicio y óxidos de aluminio, 61.4 % y 15.5 % respectivamente (Bott, 1984).

Más abajo de la corteza, en el intervalo de profundidades de 35 y 2885 km existe el manto, constituido principalmente por óxidos de silicio (44.6 %), y óxidos de magnesio (36.2 %) (Bott, 1984).

La parte central de la Tierra se divide en dos zonas, núcleo exterior y núcleo interior. El primero se ubica en el intervalo de profundidades de 2886-5156 km, el segundo a 5156-6371 km. El límite entre el manto y el núcleo refleja las ondas P y S y refracta claramente las ondas P. La velocidad de las ondas P



desciende bruscamente de 13.6 km/s en el manto inferior a 8.1 km/s en el núcleo; la velocidad de las ondas transversales se reduce respectivamente de 7.3 km/s a cero; la densidad crece de 5.5 a 10 g/cm<sup>3</sup>. La nulidad de  $V_p$  se debe a que  $\mu$  es cero, ya que el núcleo exterior posee propiedades de un líquido. En la frontera del núcleo exterior y el núcleo interior existe un aumento de  $V_p$ , de 9 a 11 km/s.  $V_s$  crece de 0 a 3 km/s (Bott, 1984).

### 1.3 PROGRAMA HYPOT1.

El programa hypo71 (Lee y Lahr, 1978) se usa para determinar el hipocentro, magnitud y parámetros focales de sismos locales. Además, proporciona una estimación de la calidad del hipocentro. El programa hypo71 está constituido por un programa principal y 17 subrutinas. El método que utiliza para determinar los hipocentros es el de Geiger (Geiger, 1912), el cual se describe brevemente a continuación.

#### 1.3.1 METODO GEIGER

Sean  $X_i$ ,  $Y_i$ ,  $Z_i$  las coordenadas de la primera estación;  $T_i$  el tiempo observado y  $t_i$  el tiempo teórico calculado para una determinada estructura de velocidad desde una primera solución prueba. Si el tiempo residual se define como:

$$R_i = T_i - t_i \quad (1)$$

$R_i$  es pequeño y puede expresarse como una expansión de Taylor dada por:

$$R_i = dt + (\partial t_i / \partial x) dx + (\partial t_i / \partial y) dy + (\partial t_i / \partial z) dz + e_i \quad (2)$$

Entonces, el tiempo de viaje y las derivadas pueden obtenerse del modelo de corteza propuesto. Así se obtiene el vector de ajuste ( $dt$ ,  $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$ ) por mínimos cuadrados, es decir, que para todas las estaciones se cumple

$$\sum e_i = \text{un mínimo} \quad (3)$$

Una solución se obtiene al resolver en forma iterativa el siguiente sistema de ecuaciones, consecuencia de aplicar la condición 3 a la ecuación 2:

$$\begin{aligned} ndt + \sum a_i dx + \sum b_i dy + \sum c_i dz &= \sum R_i \\ \sum a_i dt + \sum a_i^2 dx + \sum a_i b_i dy + \sum a_i c_i dz &= \sum a_i R_i \\ \sum b_i dt + \sum a_i b_i dx + \sum b_i^2 dy + \sum b_i c_i dz &= \sum b_i R_i \quad (4) \\ \sum c_i dt + \sum a_i c_i dx + \sum b_i c_i dy + \sum c_i^2 dz &= \sum c_i R_i \end{aligned}$$

donde

$$a_1 = \partial t_1 / \partial x, \quad b_1 = \partial t_1 / \partial y, \quad c_1 = \partial t_1 / \partial z \quad (5)$$

El tiempo de origen mejorado y el hipocentro quedan expresados después de cada iteración por:

$$t + dt, \quad y \quad (x + dx, \quad y + dy, \quad z + dz) \quad (6)$$

En el caso del intervalo de datos S-P,  $T_1$  y  $t_1$  quedan dentro de los intervalos S-P observado y calculado respectivamente. Al no existir una dependencia del tiempo origen, la ecuación queda como:

$$R_1 = (\partial t_1 / \partial x) dx + (\partial t_1 / \partial y) dy + (\partial t_1 / \partial z) dz + e_1 \quad (7)$$

y por consiguiente las ecuaciones (4) se modifican.

Puesto que las ecuaciones (4) son un sistema de ecuaciones lineales con cuatro incógnitas ( $dt, dx, dy, dz$ ), pueden resolverse por el método de inversión de matrices. En la práctica, la matriz está condicionada. En Hypo71 se introduce un método para encontrar el vector de ajuste. En lugar de realizar el procedimiento tradicional (equivalente a una regresión múltiple simple), se usa una regresión múltiple paso a paso. La ecuación 2 define el tiempo residual  $R_1$  como función de  $dt, dx, dy, dz$ . Primero se ejecuta un análisis estadístico para ver cual debe ser la variable independiente incluida en la regresión, las ecuaciones (4) son puestas en función de alguna de las variables. Después, el vector de ajuste se obtiene al resolver la matriz no condicionada. Finalmente, la convergencia tiene un hipocentro solución. Para ejecutar el hypo71 se requiere de la siguiente información:

1) ARCHIVO DE CONTROL. En este archivo se proporcionan los parámetros con los cuales va a trabajar el hypo71; por ejemplo, la máxima cantidad de iteraciones, el valor máximo para terminar las iteraciones. Además, se incluye la lista de estaciones, el retraso por efecto topográfico o "delay" (tiempo en que la onda P tarda en recorrer la altura sobre el nivel de mar, de cada una de las estaciones sismológicas) para cada una de ellas.

Para este trabajo se seleccionó el archivo de control (tabla 1), con el modelo de velocidades para el estado de Guerrero (Ligorria, 1989).

2) ARCHIVO DE DATOS. Este archivo incluye la información obtenida de los sismogramas como es nombre de la estación, fecha,

polaridad de las ondas P, tiempo de llegada de P y S, el peso asignado a cada fase, duración de cada y sus correspondientes amplitudes.

3) ARCHIVO DE SALIDA: Este archivo contiene principalmente: el nombre de las estaciones, su distancia epicentral, ángulo azimutal, ángulo de incidencia, la hora y el minuto del tiempo de llegada de los datos suministrados, los segundos de la llegada de P y S, los tiempos observados y calculados de P y S, el modelo de delays, los tiempos residuales de P y S, el peso asignado por la computadora a cada fase P y S, el número de fases, el rms, las incertidumbres en la vertical y horizontal, la cobertura de las estaciones y la calidad de la localización asignada por el programa en base a todos los parámetros anteriores.

#### 1.4 FUNDAMENTOS DEL MECANISMO FOCAL.

El primer modelo mecánico del origen de los terremotos fue propuesto por H. F. Reid (1910) para explicar las observaciones hechas durante el terremoto de San Francisco de 1906. Su teoría sugiere que las deformaciones elásticas se van acumulando en una región hasta que se supera la resistencia del material. En este momento es cuando se produce una fractura, con movimientos relativos a ambos lados con la consecuente relajación de los esfuerzos acumulados.

El primer paso en la determinación de la geometría del mecanismo de fractura es calcular el plano sobre el cual ésta se produce. Este plano se define espacialmente por el azimut de la traza, el buzamiento y la dirección del deslizamiento sobre él. En este proceso se considera a la Tierra como un medio elástico homogéneo y el foco sísmico como un punto en el que actúa un par doble de fuerzas que representa la fractura.

El método más elemental para determinar la orientación del mecanismo de los terremotos basado en el desarrollo de la teoría de fuentes puntuales utiliza la polaridad de las observaciones del primer impulso de las ondas P. La teoría predice que las distribuciones de las amplitudes, para los sistemas puntuales de un par de fuerzas o un doble par de fuerzas, sin momento resultante, es en ambos casos de cuatro cuadrantes con polaridad alternante.

El método consiste en separar por dos planos ortogonales las observaciones en estos cuatro cuadrantes alternantes, de compresiones y dilataciones. El método, sin embargo, no permite distinguir cual de los dos planos ortogonales es el que realmente corresponde a la fractura.

La esfera focal resultante es de radio unitario, con centro en el foco del terremoto. Desde el centro a la superficie las ondas se propagan de acuerdo a las ecuaciones que se han desarrollado para un medio homogéneo. Para emplear este concepto se reduce la posición de los distintos puntos sobre la superficie de la Tierra a puntos equivalentes sobre la superficie de la esfera focal. Cada punto o estación, a distancia angular  $\Delta$  del epicentro y azimut  $\phi$  se proyecta sobre la esfera focal siguiendo la trayectoria del rayo (fig. 2), quedando definido por sus coordenadas polares  $i_h$  y  $\phi$ , donde

$i_h$  es el ángulo de incidencia en el foco, medido desde la vertical;

$\phi$  es el azimut de la estación con respecto al epicentro; éste es el ángulo horizontal que forma la dirección del rayo con el norte geográfico.

Estos ángulos tienen valores entre  $0^\circ \leq i_h \leq 180^\circ$  y  $0^\circ \leq \phi \leq 360^\circ$  y se calculan a partir de las coordenadas del foco y de la estación.

Normalmente para la obtención práctica del mecanismo focal de un terremoto se utiliza una proyección estereográfica de la esfera focal que es la proyección de ésta sobre un plano. Los dos tipos de proyecciones estereográficas generalmente usadas son la de Wulf y la de Schmidt.

Se llama movimiento de compresión cuando el desplazamiento de la onda está en la dirección del foco al punto de observación y dilatación si es en sentido contrario, del punto de observación hacia el foco. Por convención, la compresión se define en la componente vertical como un desplazamiento hacia arriba, en las componentes horizontales se define opuesto a la dirección del epicentro. En una dilatación el movimiento vertical es hacia abajo y el horizontal hacia el epicentro.

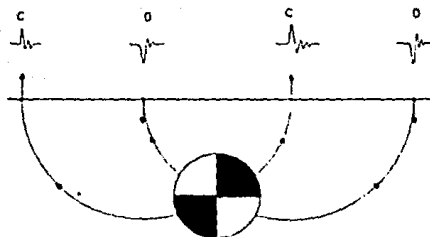


Fig 2 Se muestra cuales con los desplazamientos que ocurren alrededor del foco, y estos como se observan en la superficie, alrededor del epicentro (Bolt, 1986).

El método gráfico consiste en dibujar sobre una proyección de la esfera focal las observaciones utilizando un símbolo distinto según se trate de compresiones o dilataciones. En principio solo un hemisferio puede presentarse en la proyección, dado que las observaciones del otro pueden reducirse a éste debido a la simetría del problema (Kasahara, 1981).

Una vez representadas las observaciones sobre la proyección de la esfera focal se separan las compresiones y dilataciones por dos planos ortogonales. En la proyección esto se realiza de forma gráfica dibujando primero uno de los planos y situando su polo. El segundo plano debe ser ortogonal al primero, y por lo tanto debe pasar por el polo de éste. Situados los dos polos (ejes X, Y) de los planos se pasa por ellos un círculo máximo y sobre él, a  $45^\circ$  de los ejes X, Y, se sitúan los ejes P y T, de forma que el eje T quede en el cuadrante de las compresiones y el P en el de las dilataciones.

XYZ, es el sistema de ejes de fuerzas X y Y; y están localizados en los polos de los planos nodales A y B (fig 3).

PTB, es el sistema de ejes principales de esfuerzos de tensión (T), presión (P) e intermedio (B) respectivamente. El eje T está en el plano XY y a  $45^\circ$  del eje X. El eje P está a  $45^\circ$  del eje X (fig. 3).

Para definir la orientación de los dos sistemas anteriores se

utiliza el sistema de ejes geográficos en las direcciones norte, este y nadir.

Del diagrama se determinan fácilmente los ángulos de los ejes X, Y, T y P, y los ángulos de los planos A y B. Sin embargo, de los dos planos obtenidos no es posible distinguir cuál de ellos es el plano de falla y cuál el auxiliar, habiendo de recurrir para ello a otro tipo de consideraciones geológicas, la distribución de réplicas, observaciones de deformación del terreno durante el terremoto y análisis sismológicos basado en el estudio de las amplitudes de las ondas internas y superficiales.

Un inconveniente que presenta el uso de la polaridad de la onda P para la determinación del mecanismo focal es que es necesario contar con un número adecuado de observaciones y una buena distribución azimutal de las mismas. Esto generalmente no ocurre para terremotos de magnitud moderada. Para paliar este problema, se recurre con frecuencia a la técnica de soluciones compuestas, es decir, el mecanismo se determina con observaciones de varios terremotos de un mismo tipo y región.

Al presentar las observaciones de los distintos terremotos sobre una proyección de la esfera focal, es posible separar las compresiones y las dilataciones, con solo unas pocas inconsistencias y así se obtienen los planos de falla. La solución obtenida se denomina solución compuesta y corresponde la mecanismo de todos los terremotos empleados.

En aquellos casos en que existan más de un mecanismo en el grupo de terremotos utilizado, los datos aparecerán mezclados y no se pueden separar fácilmente en forma gráfica; es necesario un procedimiento estadístico que permita separar los sismos en distintos grupos según su mecanismo.

Puesto que el modelo que representa el mecanismo de un sismo es un falla, al existir distintos tipos de falla estos darán origen a representaciones distintas al proyectarlos sobre la esfera focal. Por lo tanto, es importante conocer las proyecciones correspondientes a los distintos tipos de fallas.

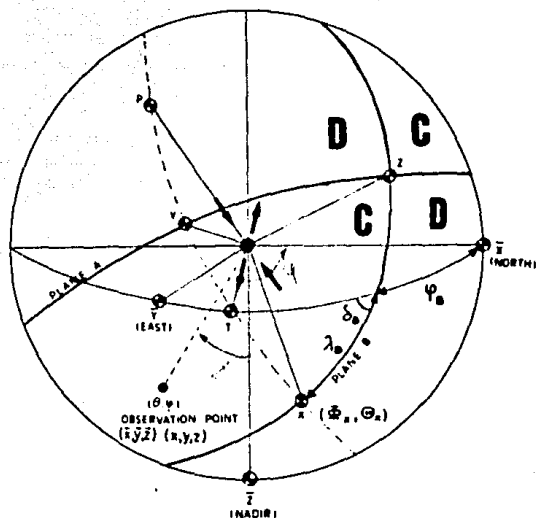


Fig.3 Definición de los sistemas XYZ y PT sobre la esfera focal (Catedras de Geofísica, 1985).

Las fallas pueden clasificarse como:

**Fallas de rumbo.**- El deslizamiento ocurre en la dirección de la traza (plano sobre el que se deslizan los dos bloques) de la falla.

**Falla inversa.**- El deslizamiento es en la dirección opuesta al buzamiento (inclinación sobre la horizontal del plano de falla); estas fallas muestran los ejes principales de esfuerzos de presión en sentido horizontal.

**Falla normal.**- El deslizamiento es en la dirección del buzamiento y corresponden a ejes principales de tensión horizontales.

En la práctica el tipo de fallas que se encuentran son combinaciones de las tres fallas mencionadas anteriormente.

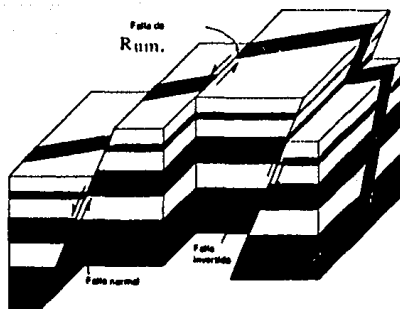


Fig 4 Se ilustran los primeros tres tipos de movimiento de falla (Bolt, 1986).



## II. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

### 2.1 UBICACION.

En el año 1986 se inició el proyecto de la red telemétrica con el fin de estudiar la brecha de Guerrero. En septiembre de 1987 la red empezó a funcionar regularmente. Con los datos obtenidos desde entonces a la fecha se han elaborado mapas en los que se observan dos zonas de actividad sísmica. La primera de ellas, a lo largo de la Costa Grande, muestra dos bandas de sísmicidad paralelas a la costa (fig. 5). La segunda región se ubica al norte del estado de Guerrero y presenta otra banda de sísmicidad en la región del Río Balsas, delimitada por las coordenadas  $102.0^{\circ}$  a  $99.4^{\circ}$  W y  $17.7^{\circ}$  a  $18.5^{\circ}$  N. El objetivo de este trabajo es estudiar esa parte del estado de Guerrero. Consideramos que es de gran interés, ya que no es claro si esta actividad corresponde a un sistema superficial de fallas o esta asociada a la placa inferior en subducción, cuya geometría no es clara en esta zona.

### 2.2 TECTÓNICA REGIONAL

El sur de la República Mexicana forma parte del cinturón Circumpacífico. Este se caracteriza por su actividad volcánica y sísmica. Por ende, el estado de Guerrero forma parte de este cinturón y en él convergen la placa de Cocos y la placa Norteamericana, la primera subduciendo bajo la segunda. La localización de placa se muestra en la figura 6.

La actividad sísmica más importante se registra en la zona costera del estado de Guerrero. Ahí han ocurrido terremotos importantes. Por ejemplo, en 1908 ocurrió un sismo de magnitud 7.8 ( $M_s$ ) (Singh y Nishenko, 1987). Sin embargo, también se han localizado sismos al interior de magnitud moderada. Uno de ellos ocurrió el 6 de julio de 1964 en Tlapehuala ( $m_b=6.3$ ,  $M_s=7.2$ ), y el último de este tipo ocurrió el 12 de agosto de 1989 cerca del río Balsas ( $m_b=5.3$ ) (González, 1986).



En la región costera, se ha estudiado la actividad sísmica de la costa grande de Guerrero (Suárez et.al, 1990 y Araujo, 1991). Ellos encuentran, utilizando la distribución epicentral de la sísmicidad y los mecanismos focales, el contacto de las placas de Cocos y Norteamérica (región sísmogénica) y el estado de esfuerzo producto de la subducción. Los mecanismos que se determinan en los trabajos anteriores a lo largo de la costa son de falla inversa a bajo ángulo, típicos de subducción. En estos mismos trabajos, los autores también estudian otra franja de actividad sísmica paralela a la costa y al interior del estado de Guerrero. Los resultados sugieren que esta sísmicidad se ubica dentro de la placa de Cocos, y que los mecanismos son de falla inversa a profundidades someras (32 a 38 km), de falla normal para sismos con profundidades mayores a 40 km. Los autores concluyen que la actividad en la primera banda es producto del contacto de la placas de Cocos y Norteamericana; la segunda banda se origina por la deformación interna que sufre la placa de Cocos durante el proceso de subducción (fig 7).

Más al interior del continente existe una tercera franja de sísmicidad, adyacente al río Balsas. Se caracteriza por tener escasa actividad sísmica en comparación a las dos bandas costeras. El terremoto de mayor intensidad ocurrido en la segunda mitad del presente siglo, el 6 de julio de 1964 (18.28 N, 100.41 W,  $M_s = 7.2$ ), en Tlapehuala, Guerrero; González (1986), y Molnar y Sykes (1969) (fig 8) determinan para este evento un mecanismo de falla normal, a una profundidad de 55 km.

Para el sismo ocurrido del 25 de septiembre de 1966, cerca del sismo de Tlapehuala, (18.31°N, 100.8°W, prof = 55 km), el mecanismo determinado (Molnar y Sykes, 1969) presenta características de falla normal (fig 8).

También se mencionan dos sismos (Burbach et.al., 1984) en la misma región, uno el 2 de febrero de 1968 y el otro de julio de 1978 con profundidades de 67.7 y 59 km respectivamente. Estos autores presentan mecanismos focales de falla normal y los consideran producto de la deformación de placa (fig 8). Además, no indican la geometría de la placa de Cocos bajo del Balsas, ya que los autores no consideran que los datos hipocentrales de

suficiente buena calidad.

Además de los estudios realizados para indagar el estado de esfuerzos imperante en el subsuelo del estado de Guerrero, utilizando los mecanismos focales y sus correspondientes ejes de esfuerzos, existen trabajos recientes en los se ha estudiado la sismicidad asociada a fracturas, que indican la existencia de una falla de grandes dimensiones paralela a la trinchera; (Hanuš y Vanek, 1977-78) la llaman *Falla de Huacana-Escuintla*, se inicia en  $19.7^{\circ}\text{N}$ ,  $103.4^{\circ}\text{W}$  y quizá termine en  $11.9^{\circ}\text{N}$ ,  $85.1^{\circ}\text{W}$  (fig. 9); pasando por Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua, su longitud es de 2250 km.

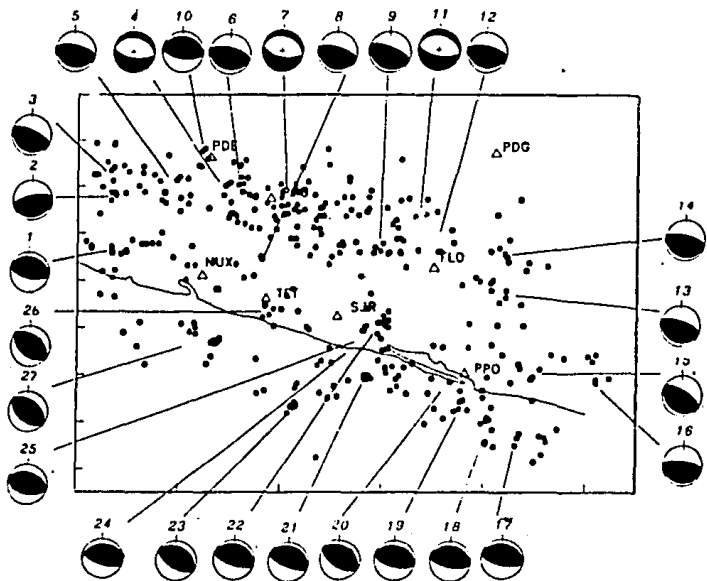


Fig. 7 Mecanismos focales de las dos bandas de sismicidad en la costa grande de Guerrero (Tomada de Araujo, 1991).

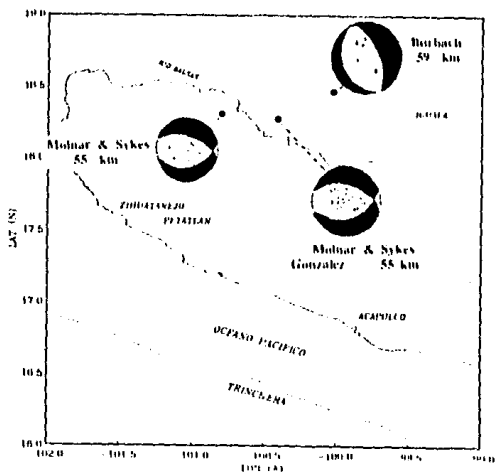


Fig.8 Algunos eventos estudiados por varios autores, localizados al norte de Guerrero.

Otros estudios realizados (DeMets y Stein, 1989) con base en imágenes de satélite, sugieren la existencia de una falla paralela a la costa llamada la *Falla Chapala-Oaxaca*, que forma la frontera entre los bloques de Guerrero y Michoacán, el primero al norte del segundo. De acuerdo a esta interpretación se trata de una falla de tipo sinistral con una velocidad de desplazamiento de 0.5 cm/año (fig. 10). Su origen se atribuye a la subducción de la placa de Cocos bajo la placa Norteamericana.

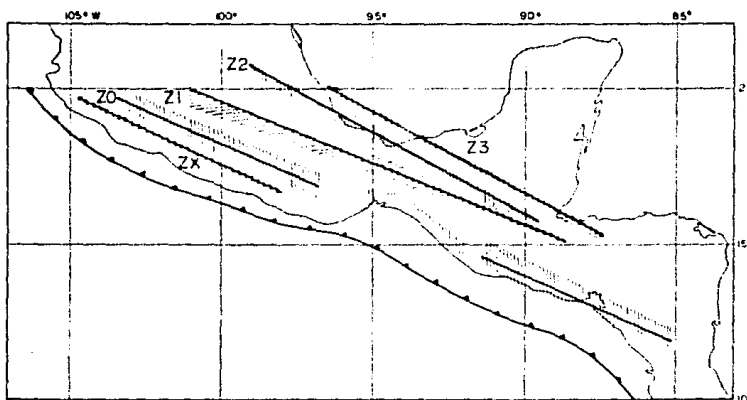


Fig. 38. Posición de las fracturas inducidas por subducción. ZX, Chumucuco-Omitépec I. Z., Z0 la Huastaca-Iscuintla I. Z., Z1, Los Azules-Río Salado I. Z., Z2 Tondolote-I Chichonal I. Z., Z3, Tecoluitla-Chiltepec I. Z. Axis of the Middle America Trench denoted by a line with saw-teeth.

Fig. 9. Falla paralela a la trincheras, propuesta por Hanus y Vanak (1977-78).

El más reciente estudio (Johnson y Harrison, en prensa), basado en imágenes de satélite (Landsat Thematic Mapper), sugiere que el origen de la *falla Chapala-Oaxaca* (fig 10) es volcánico. Estos autores sugieren que tiene una longitud de más de 550 km. Interpretan que inicialmente el sentido de la falla era dextral y que después se reactivó en sentido siniestral hace 7 millones de años, debido principalmente a los cambios en el movimiento de la placa del Pacífico.

Por lo anteriormente escrito arriba, se decidió estudiar a detalle la región antes mencionada para ver si se puede obtener información adicional que indique que proceso tectónico está produciendo los sismos cercanos al río Balsas. Los mecanismos de sismos importantes muestran en todos los casos fallas normales. Es importante averiguar si algunos de los sismos registrados por la Red Telemétrica de la costa grande y por la del Caracol se

producen por actividad cortical debida al desplazamiento de la falla mencionada por Johnson y Harrison, o bien tienen lugar en el interior de la placa de Cocos.

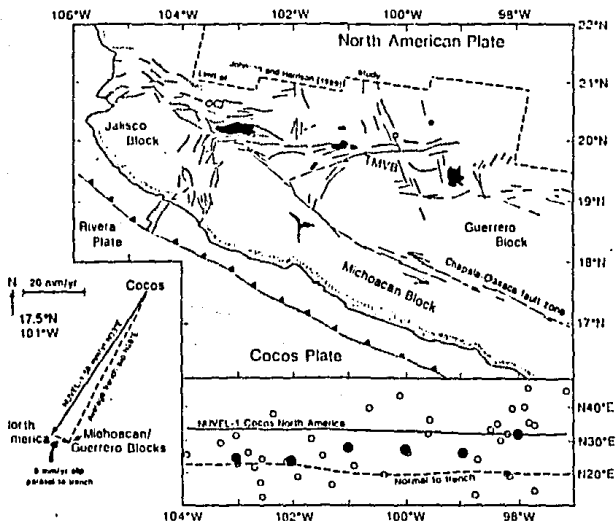


Fig. 10. Ubicacion de la falla Chapala-Oaxaca y su desplazamiento lateral, tomada el articulo de Demets y Stein, 1989.

Para iniciar el estudio sismológico de la región del río Balsas, se decidió analizar inicialmente los registros de la red del Caracol de la CFE, ubicada sobre el Balsas, cerca de Iguala, Guerrero.

### III. RED DE CARACOL.

#### 3.1 ANTECEDENTES.

En 1986 se instaló una red de 5 sismómetros Ranger y 5 sismógrafos MEQ-800 para medir la actividad sísmica del norte del estado de Guerrero, ya que en esta región se encuentra el proyecto hidroeléctrico Carlos Ramírez Ulloa (El Caracol), de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). La red estaba bajo la supervisión del Instituto de Ingeniería de la UNAM hasta diciembre de 1987; después se hizo cargo de ella la Oficina de Instrumentación Sísmica de la Subgerencia de Ingeniería Experimental de la CFE.

La presa hidroeléctrica está ubicada aproximadamente en las coordenadas  $17.95^{\circ}\text{N}$  y  $100.0^{\circ}\text{W}$ . La ubicación de las estaciones se muestra en la tabla I (fig 11). A partir del mes de agosto de 1989 se instaló una sexta estación (CC6) en Zihuatanejo, Guerrero, al oriente del Aeropuerto Internacional de esta ciudad.

#### 3.2 BASE DE DATOS Y SU PROCESAMIENTO.

La CFE nos proporcionó lecturas de los sismos registrados por la red de Caracol, del primero de septiembre de 1987 al 31 de agosto de 1989; con excepción de los meses de enero, marzo, abril y mayo de 1988. Los meses de marzo, abril y mayo de 1988 no se trabajaron, ya que inicialmente se había decidido emplear los datos únicamente para complementar las lecturas de la Red Telemétrica de Guerrero, que no funcionó en los meses mencionados. Tampoco el mes de enero se trabajó porque se perdieron las lecturas en CFE.

El número de sismos registrados en este período por la red de Caracol con más de 6 fases (P y S), fue de alrededor de 2500. Debido a que las estaciones del Caracol no tenían buen control de tiempo, se decidió tomar la diferencia de tiempo entre las ondas P y S (S-P) para relocalizar los eventos, pues se consideró que las localizaciones hechas en la CFE y en el IUNAM eran dudosas por la falta de control de tiempo. Durante la elaboración de este trabajo se utilizó la fase S-P para efectuar las localizaciones, y la estructura de velocidades propuesta en la tabla I, así como los parámetros de convergencia del Hypo71 presentados en la tabla I.



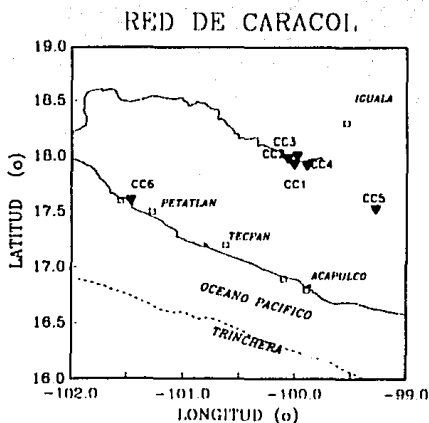


Fig. 11 Ubicación de las estaciones de la red del Caracol de la Comisión Federal de Electricidad.

Para hacer la relocalización se hizo una primera corrida del Hypo71 utilizando las lecturas de la red de Caracol efectuadas en la CFE y el Instituto de Ingeniería. De los hipocentros obtenidos se escogió el mejor localizado como sismo maestro (Dewey, 1971). La selección se hizo considerando el sismo con mejor cobertura, con residuales mínimos y RMS mínimo en las lecturas de P y S. El método de relocalización con sismo maestro, consiste en sumar los residuales de P del sismo seleccionado (maestro), a la columna de corrección de los tiempos de llegada por efecto de altura de las estaciones sísmológicas (delay). Después de efectuar las sumas en cada estación, se procede a hacer las relocalizaciones de los sismos con el nuevo modelo corregido. Para este estudio el sismo maestro seleccionado se presenta en la tabla 2 del apéndice.

La relocalización se realizó con tres diferentes

profundidades de inicio,  $P_i$ : 5, 50 y 120 km; ésto con el fin de ver que tan bien controlada está la profundidad. Los resultados muestran que no en todos los eventos se ofrece una solución única. Por tanto se eliminaron tanto aquellos eventos no presentaron una localización (no convergen) para cualquiera de las tres profundidades de inicio. Hecho lo anterior se obtienen 1014 sismos con hipocentro "estable" (fig 12). El mapa (fig 12a) muestra los epicentros (1014, con  $P_i=50$  km), algunos de ellos presentan alineaciones este-oeste y norte-sur, entorno al embalse del Caracol, debido principalmente a las dificultades que tiene el Hypo71 para encontrar una localización adecuada a las lecturas de P y S de cada sismo. El perfil de la figura 12a muestra que la distribución de profundidades no es uniforme, pues la sismicidad superficial es escasa arriba de 50 km, cerca de 50 km de profundidad existe un alineamiento de los focos, después de  $P_i$  (50 km) los focos se distribuyen uniformemente hasta 150 km de profundidad.

### 3.3 ESTADÍSTICAS.

Para conocer la estabilidad de las soluciones, utilizando diferentes valores de  $P_i$  (profundidad de inicio), se hizo un análisis de regresión de los valores de RMS de las localizaciones contra el número de sismos, para tres casos: 1)  $P_i=5$  km, la distribución muestra una media de aritmética ( $\bar{x}$ ) de 0.2939 con una desviación estandar ( $\sigma$ ) de 0.2117. 2)  $P_i=50$  km,  $\bar{x} = 0.02753$  y  $\sigma = 0.2054$ . 3)  $P_i=120$  km,  $\bar{x} = 0.3099$  y  $\sigma = 0.2148$ . Los valores de  $\bar{x}$  y  $\sigma$  muestran, en general, los sismos convergen mejor con una profundidad inicial de 50 km (fig 13). En la figura 13 se presentan las gráficas respectivas, RMS vs No. sismos para las tres profundidades,  $P_i$ . Como se observa, no existen diferencias notables, sin embargo, se escogió la profundidad de 50 km, para hacer un análisis más detallado de la sismicidad registrada por la Red del Caracol; por ser ligeramente mejor que las dos restantes, la media ( $\bar{x}$ ) y la desviación estandar ( $\sigma$ ) son poco más pequeños.

Primeramente, se realiza una selección de los 1014 sismos (con incertidumbre del hipocentro  $\leq 10$  km) (figs. 13a, b), para ver si existe alguna distribución particular de los hipocentros con

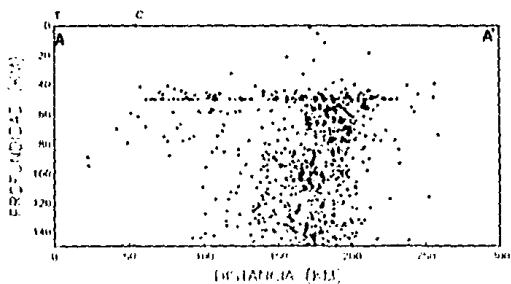
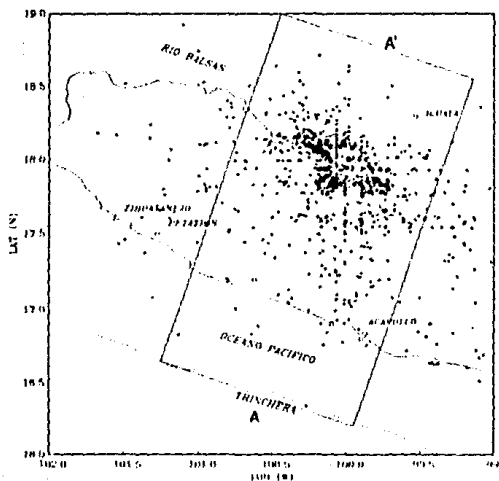


Fig. 12 A) Localización de los sismos que mostraron estabilidad para las tres diferentes profundidades. B) Perfil de la figura 12A.

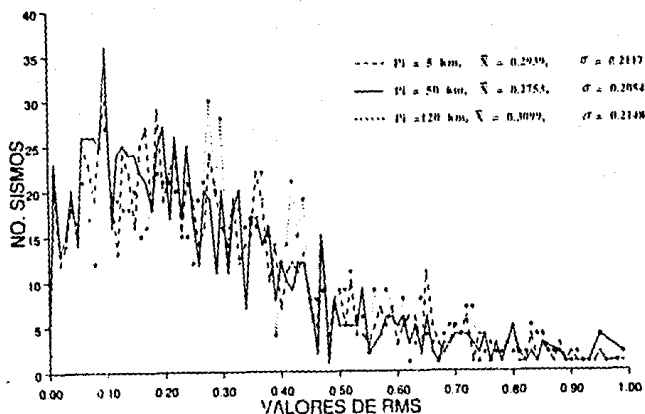


Fig 13 RMS vs No. de sismos con profundidad inicial de 5, 50, y 120 km.

con menor error en la localización. Sin embargo, vistos en planta (fig. 13a) y en perfil (fig. 13b) los sismos muestran que la sismicidad se aglutina en torno a la presa del Caracol, a profundidades focales mayores a 50 km. También se observan tres enjambres o grupos de sismos, a 60, 110, 140 km de profundidad. La figura 13b muestra la ausencia de sismicidad superficial.

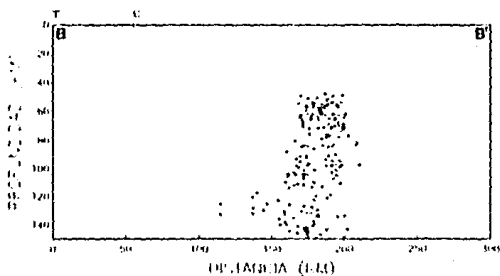
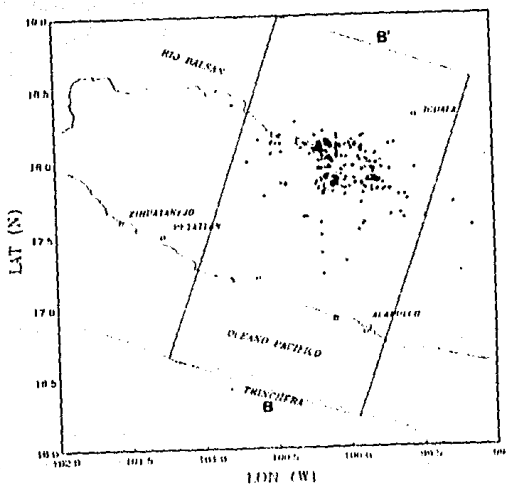


Fig. 14 Ubicación de los sismos que tiene variaciones hipocentrales menores a 10 km. B) Hipocentros de la figura anterior, a lo largo del corte B-B'.

La segunda prueba para determinar la confiabilidad de las localizaciones es la selección de hipocentros utilizando como criterio el valor medio cuadrático (RMS) y el número de fases involucradas en la localización (NP). Antes de iniciar el análisis se eliminaron aquellos eventos cuya profundidad resultante era siempre igual a la profundidad de inicio,  $P_i$ . Los criterios de selección son los siguientes:

Clase  $\alpha$ :  $RMS \leq 0.30$ ,  $np \geq 4$  (fig 15).

Clase  $\beta$ :  $RMS \leq 0.15$ ,  $np \geq 4$  (fig 16).

Clase  $\gamma$ :  $RMS \leq 0.15$ ,  $np = 5$  (fig 17).

En la figura 15a (Sismos tipo  $\alpha$ ) se puede ver que la sismicidad (149 eventos, Tabla 5) también se agrupa entorno a la presa, presentando alineaciones de los epicentros con direcciones este-oeste y norte-sur. Tampoco existen sismos con profundidad somera (fig. 15b), casi todos los eventos tienen una profundidad mayor a los 50 km; también se observa una banda de focos alineada en torno a los 50 km de profundidad.

La figura 16a (ubicación de sismos tipo  $\beta$ ) no muestra diferencias notables con respecto a la fig.15a (77 eventos, tabla 6). Sin embargo, la figura 16b presenta con mayor claridad la banda de 50 km de profundidad. Es importante señalar que la calidad de las localizaciones de los sismos graficados en esta figura y en la anterior (fig 15), es pobre.

La figura 17a (ubicación de sismos tipo  $\gamma$ ) muestra la localización de 11 (Tabla 7) sismos con profundidades de entre 60 y 100 km (fig. 17b).

Es pertinente mencionar que la mayoría localizaciones (~ 70 %) a partir de las lecturas de la Red del Caracol, no presenta valores de incertidumbres horizontal (ERH) y vertical (ERZ). Esto se debe a que como la calidad de los datos es pobre, durante el proceso de iteraciones el programa encuentra incertidumbres demasiado grandes que se salen del formato de impresión (f3.2) del archivo de salida del Hypo71, y aparecen los espacios en blanco. Para las localizaciones que sí presentan incertidumbre en ERH y ERZ (cerca del 90 %), los valores son muy grandes (mayores a 45 km, ver Tabla 5).

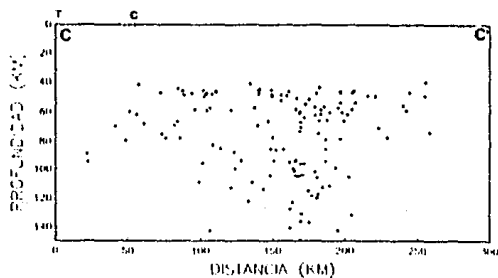
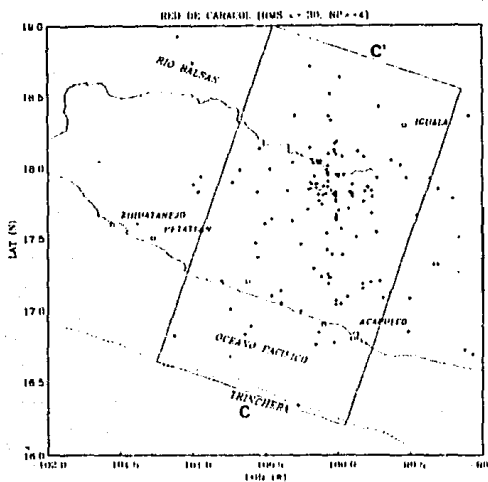


Fig 15 A) Ubicación de los eventos registrados por la red de Caracol con rms  $\leq$  0,30 y np  $\geq$  4. B) Perfil de la fig. 15a.

Para averiguar si las localizaciones obtenidas con Hypo71 son estables, se hicieron modificaciones en los parámetros de control de la Tabla 1. Se escogieron al azar algunos archivos de lecturas de la Red de Caracol, y se ejecutó el hypo71 varias veces haciendo diferentes cambios en los parámetros de control (~ 10 cambios), y las localizaciones obtenidas en este experimento muestran una gran inestabilidad en la solución (localización de los sismos). En particular, los errores son tan grandes que el Hypo71 no puede escribir los valores de error en la dirección horizontal (ERZ) o vertical (ERZ), tal como se muestra en las tablas 5, 6 y 7.

Por todo lo anterior, es imposible llegar a una conclusión definitiva, en cuanto a localización, con los datos proporcionados por la red del Caracol. Como se mencionó arriba, no existía control de tiempo adecuado en las estaciones que la componen. Por ende, la información de la actividad sísmica es incierta. Además del problema del tiempo, los análisis estadísticos aplicados a los resultados obtenidos muestra poca estabilidad de las soluciones por la falta de apertura de la red.

Dado que la red de Caracol no permitió establecer por sí misma cual es la causa y distribución de la actividad sísmica alrededor del Río Balsas, se decidió complementar esta información con datos de la Red Telemétrica del Instituto de Geofísica de la UNAM, de estaciones del Servicio Sismológico Nacional (SSN), y de una red temporal del Instituto de Geofísica establecida el mes de marzo de 1990 en la zona de Petlatán, Guerrero.



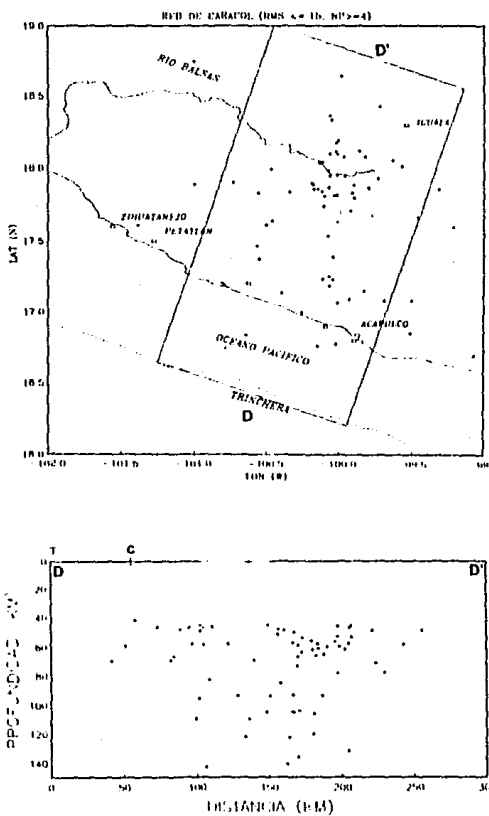


Fig 16. A) Ubicación de los elementos registrados por la red de Caracol con  $rms \leq 0.15$  y  $n_p \geq 4$ . B) Perfil.

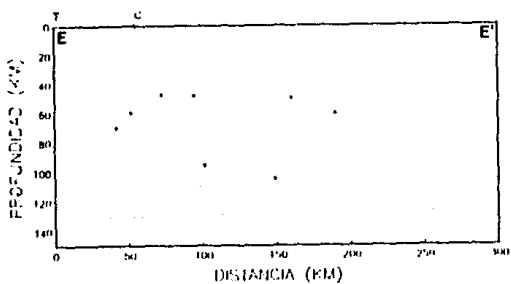
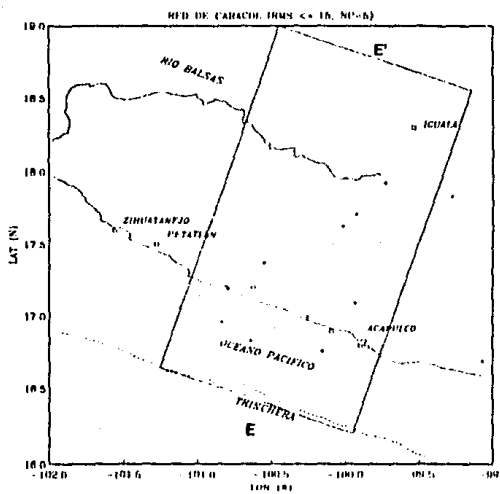


Fig 17 A) Ubicación de los elementos registrados por la red de Caracol con rms  $\leq$  0.15 y np = 5. B) Perfil.

## IV. METODOLOGIA.

### 4.1 ANTECEDENTES.

Como se mencionó en el capítulo anterior, decidió buscar información adicional para poder tener un mejor control en la localización de los eventos que ocurren dentro de la zona de estudio. Esta información se obtuvo en los archivos del SSN, del Instituto de Ingeniería de la UNAM, y en la CFE.

De todos los sismos registrados por la Red Telemétrica se seleccionaron aquellos que tenían latitud mayor a  $17.5^{\circ}$  N. Con esta restricción se encontraron 122 eventos para formar un catálogo de trabajo (tabla 4).

Las estaciones que complementaron a la red telemétrica son las siguientes:

Del Servicio Sismológico Nacional (SSN) (fig. 15), Iguala (III), Tepoztlán (TPM), Acapulco (ACX), Infiernillo (PIM), Pinotepa Nacional (PIO), Morelia (MRX), Popocatepetl (PPM), Tonanzintla (IIT) y ocasionalmente Oaxaca (OXX). También se agregaron lecturas de las seis estaciones de la Red del Caracol de la CFE, con fase S-P (fig. 15), y de una red temporal de 6 estaciones instaladas en mes de marzo de 1990 en la zona de Petatlán, Guerrero (fig 15), Papanoa (PAN), San Miguelito (SMI), El Cayacal (CAY), Petatlán (PET), Vallecitos de Zaragoza (VAZ) y El Mameyal (MAM), con el fin de estudiar la sismicidad de la zona y mejorar la apertura de la Red Telemétrica. Gracias a los datos de esta red fue posible aumentar la cantidad de sismos ubicados dentro de la zona de estudio, pues nos permitió tener más control en la determinación de los hipocentros debido a la cobertura de estaciones. Además, en el mes de marzo ocurrió afortunadamente un número mayor de sismos de los registrados normalmente en promedio (fig 18).

### 4.2 RELOCALIZACION.

Para hacer la relocalización inicialmente agregamos a las lecturas de la red telemétrica lecturas del SSN y de Caracol con



último sucedió algunas ocasiones con datos de la red de Caracol.

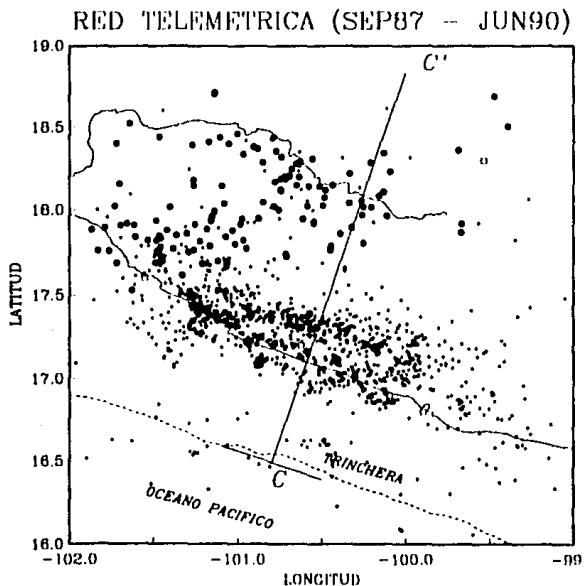


Fig. 19 Localización de los sismos seleccionados para integrar el catálogo de 122 eventos (los círculos más grandes representan a los epicentros de la tabla 4).

La división de los datos en dos perfiles (A-A' y B-B', fig. 20), de los epicentros se hizo considerando la cobertura de estaciones (gap), y la calidad de las localizaciones. El criterio de calidad que usa el Hypo71 toma en cuenta la cobertura de estaciones, el número de fases de P y S con sus correspondientes residuos (reflejo de la calidad de las lecturas). Con base en lo anterior, la calidad asignada puede ser A (Excelente), B (Bueno), C (Regular) y D (Poco confiable). El perfil A-A' contiene hipocentros de calidad C y D, y valores de RMS alrededor de de 0.20. El perfil B-B' contiene hipocentros con calidad B, C y D;

valores de RMS , en general, menores a 0.15. Además la cobertura de estaciones es mejor en la región delimitada por B-B' (fig. 20).

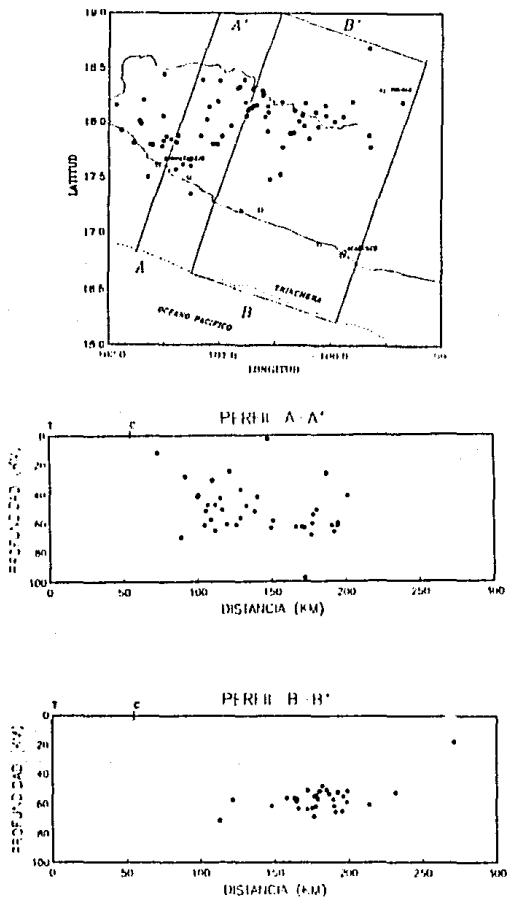


Fig. 20 Sismos relocados con estaciones de CFE y el SSN. Perfil de las secciones A-A' y B-B'.

### 4.3 MECANISMOS FOCALES.

Una vez hecha la relocalización se procedió a hacer los mecanismos focales de cada uno de los sismos estudiados, dado que para algunos mecanismos no hay control de los planos nodales, fue necesario hacer mecanismos compuestos en aquellas regiones en donde los eventos mostraron mecanismos focales con planos nodales parecidos pero poco controlados. Se compararon los mecanismos focales de los sismos relocalizados, uno por uno, y se ligaron las lecturas (polaridades, ángulo azimutal y ángulo de incidencia) de aquellos sismos próximos con mecanismos focales semejantes. Al final se trabajó solamente en la región adyacente al río Balsas, pues los sismos ubicados a la izquierda del mapa de la figura 20 (perfil A-A') carecen de una buena cobertura de estaciones sísmológicas, por lo que sólo se obtienen los mecanismos focales de los sismos localizados dentro del perfil B-B' (figs. 20, 21 y 22).

Del total de 13 mecanismos obtenidos, dos tienen los planos nodales muy bien controlados. El mecanismo del sismo del 12 de agosto de 1989 ( $M_c=4.77$ ) se determinó con polaridades obtenidas de las redes mundial, del SSN, Telemétrica y del Caracol (Mecanismo L, Apéndice). El segundo, del sismo del 30 de marzo de 1990 ( $M_c=3.95$ ), se determinó con 17 polaridades de estaciones de la red temporal, de Caracol y del SSN (Mecanismo M, Apéndice).

En las figuras 21a, 21b, 22a y 22b podemos ver los grupos de sismos que forman los mecanismos focales compuestos (C, D, F, G, H, I, J), los mecanismos focales de un sólo sismo (A, B, E, K, L, M), y mecanismos de sismos ocurridos dentro de la región de estudio, determinados por González (1986) (I,  $18.28^\circ N$ ,  $100.41^\circ W$ , 45 km de profundidad), Molnar y Sykes (1969) (II,  $18.31^\circ N$ ,  $100.8^\circ W$ , 55 km de profundidad) y por Burbach et.al.(1984) (III,  $18.47^\circ N$ ,  $100.03^\circ W$ , 59 km de profundidad).

De los mecanismos obtenidos, ocho presentan fallamiento normal con los ejes de tensión (T) prácticamente horizontales y orientados en la dirección del movimiento de la placa de Cocos. Cinco mecanismos presentan fallamiento inverso, con ejes de presión (P) casi horizontales y en la dirección del desplazamiento

de la placa. Estos trece mecanismos focales los podemos dividir en tres grupos: 1) Cuatro mecanismos con falla inversa, con una profundidad promedio de 62 km. 2) Ocho mecanismos con falla normal, con una profundidad promedio de 56 km. Y 3) Un sismo cortical de fallamiento inverso de poca profundidad (18 km).

Dentro de la región delimitada por el perfil A-A' (figs.20 y 21a) se encontraron dos mecanismos, uno compuesto de falla normal con una profundidad de 54 km (mecanismo I, fig 21a; apéndice), y un mecanismo de un sólo evento singular de falla normal con profundidad de 54 km (mecanismo L, fig 21b; apéndice).

Para el perfil B-B' se determinaron 11 mecanismos alrededor del Río Balsas; 6 de ellos compuestos, 4 de falla normal (mecanismos G, F de la fig 21a; y los mecanismos H, D de la fig 21b; apéndice) con una profundidad promedio de 54 a 58 km, los dos restantes presentan falla inversa con profundidades de 58 y 63 km (C, fig 21b y J, fig 22b; apéndice). En el límite occidental del perfil se localizó el evento con mecanismo de falla inversa con una profundidad de 68.5 km (M, fig 22a).

Al estar procesando los datos se encontró un evento con latitud mayor de  $18.5^{\circ}$  y una profundidad que parecía ser de 40 km. Teníamos la esperanza de que al relocalizarlo se pudiera determinar con precisión la extensión de la placa de Cocos bajo el continente. Sin embargo, se encontró que el sismo es superficial (18 km), con un mecanismo de falla inversa (E, fig 21b).

Los dos sismos más al sur con profundidades de 61 y 57 km (mecanismos A y B, fig 22a; apéndice), presentan mecanismos de falla normal y falla inversa respectivamente. Parecen estar dentro de la zona estudiada por Suárez (1990) y Araujo (1991), en la banda sísmica continental registrada por la Red Telemétrica. Los sismos ubicados dentro de esta franja ocurren aparentemente dentro de la placa de Cocos, y el tipo de mecanismos que presentan son: Falla normal para los eventos profundos (~45 km), y falla inversa para sismos menos profundos (~35 km).

El mecanismo restante (K, fig 22a; apéndice), al igual que los mecanismo compuesto (I, F y G) presenta mecanismo de falla normal, con profundidad de 56 km. Esto concuerda con el



comportamiento general de todos los mecanismos mencionados: Hay aparentemente una zona sísmica doble donde se presentan en la parte inferior mecanismos de falla inversa y en la parte superior sismos con fallamiento normal.

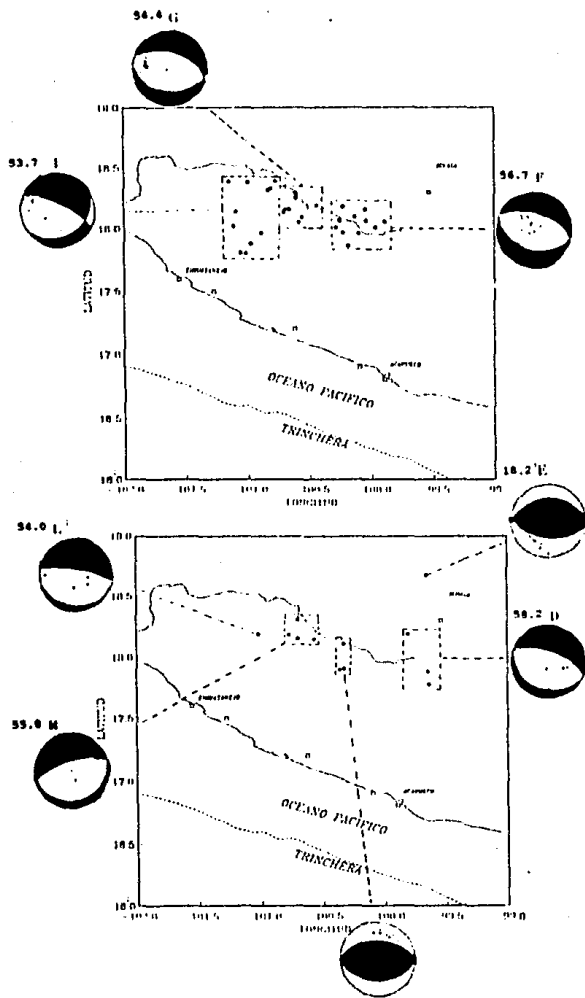
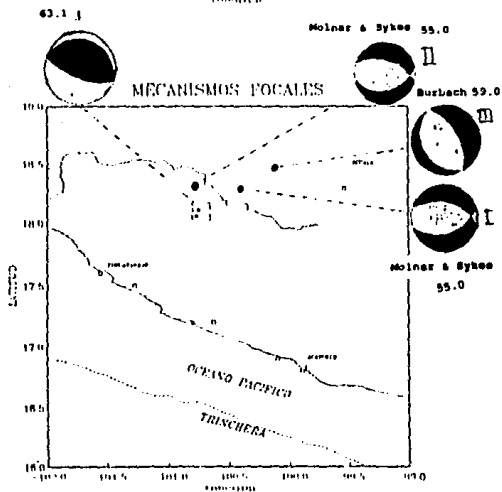
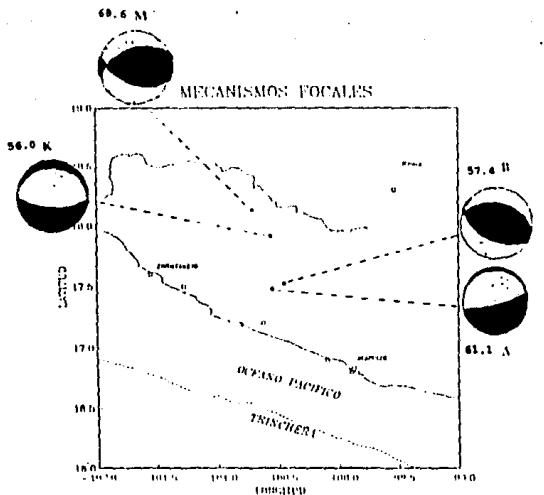


Fig. 21a y 21b, Mecanismos focales de la zona norte del estado de Guerrero, los puntos negros indican la ubicación de los sismos (epicentros).



Figs. 22a y 22b. Algunos de los mecanismos focales de sismos relocitados en este trabajo, y los tres mecanismos determinados por Gonzalez y Molnar y Sykes.

## V. ANALISIS DE RESULTADOS.

La distribución bimodal de mecanismos en dos familias: Fallas normales en la banda superior y fallamiento inverso en la banda inferior, podría interpretarse como resultado de los esfuerzos inducidos al flexionar la placa de Cocos hacia abajo (fig 23). Es claro, sin embargo, que los resultados sugieren que el campo de esfuerzos imperante en la placa de Cocos es el causante de la mayor parte de la sismicidad alrededor del río Balsas, donde no se detectó actividad sísmica superficial. También es importante mencionar la distribución peculiar de los mecanismos focales en planta (figs. 20, 21a, 21b, 22a y 22b), dentro del perfil A-A' (fig. 20), todos los mecanismos focales son de falla normal, y dentro del perfil B-B' (fig 20), se presenta esta zona sísmica doble de mecanismos de falla normal y falla inversa. Esta distribución podría estar relacionada con la brecha de Guerrero, pues el perfil B-B' es perpendicular a ésta, podría ser indicio de una acumulación de esfuerzos en la brecha de Guerrero. Esta diferencia entre los dos perfiles también se observa, si únicamente se toma en cuenta la distribución epicentral de los sismos relocalizados (fig.20). En el perfil A-A' existe una distribución uniforme desde la costa hasta el Balsas, y en el perfil B-B' existe una banda asísmica entre las franjas de la costa y la actividad del Balsas, esta diferencia podría deberse a que se a que las localizaciones en el perfil B-B' son de mejor calidad.

Los hipocentros, en el perfil B-B', delinean una franja de sismicidad con una profundidad promedio de 60 km, y un espesor de alrededor de 20 km. Esta banda refleja una posición casi horizontal de la placa de Cocos, a una distancia de 100 a 200 km de la trinchera, bajo la placa de Norteamérica. La ubicación de la interfase delineada por los hipocentros contenidos en B-B', placa de Cocos y la placa de Norteamérica (fig 23), permite establecer un espesor de la litósfera continental aproximadamente de 40 a 50 km en el estado de Guerrero, si consideramos que los sismos ocurren a una profundidad promedio de 10 km dentro de la placa de

Cocos. Esta interfase no había sido delimitada con claridad (Molnar y Sykes, 1969; y Burbach et al., 1984), pues se carecía de un número suficiente de hipocentros bien localizados para poder efectuar un análisis detallado de la tectónica del área del Balsas.

La geometría de la placa de Cocos en esta región difiere en profundidad y en posición de la mayoría de las placas subducentes en otras partes del mundo, y de la misma placa de Cocos en otras regiones del país (Oaxaca) y de América Central. Por ejemplo, Jiménez y Ponce (1977-78) determinan que la placa de Cocos, en la región de Oaxaca, presenta sismos con profundidades intermedias de entre 50 a 150 km, el estudio del mecanismo de seis grandes sismos indica la existencia de esfuerzos tensionales dentro de la placa de Cocos en esta región. Una diferencia muy importante con la actividad sísmica de río Balsas, es la existencia de sismicidad hasta cerca de 500 km de la trinchera. Además, de la existencia de un campo de esfuerzos tensionales relacionado con la actividad al este del Eje Volcánico (fig 24).

Otro trabajo (Singh et al., 1985) establece la zona de contacto, en el estado de Oaxaca, entre la placa de Cocos y la placa de Norteamérica en el intervalo de profundidades de entre 10 a 20km, con una longitud de 80 km (fig. 25). También se propone una longitud para la placa de Cocos en Oaxaca de 400 km, con un intervalo de profundidades de 5 a 70 km. Sin embargo, este modelo es poco confiable más allá de la zona de contacto, pues la interfase se delinea sólo con los hipocentros de tres sismos (1931, 1973 y 1937). También Sansores (1990) realizó un estudio con microsismicidad, en la costa de Oaxaca, en donde se observan dos nidos de sismicidad (fig. 26) geoméricamente muy semejantes a los determinados con datos de la Red Telemétrica en la costa de Guerrero (Suárez et al., 1990) y Araujo, 1991).

Tomando los datos de los tres trabajos citados anteriormente, es posible delinear tentativamente la frontera de la placa de Cocos y la placa de Norteamérica en la zona de Oaxaca (fig 27). Desgraciadamente hacia el continente no existe suficiente información sísmica confiable, pues no se han realizado

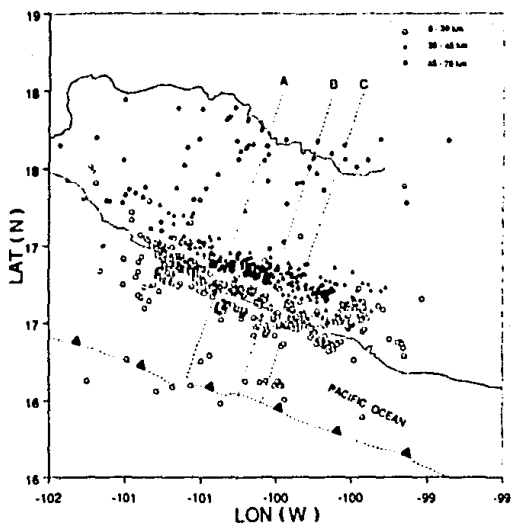


Fig. 23a Ubicación de los perfiles de la figura 23c.

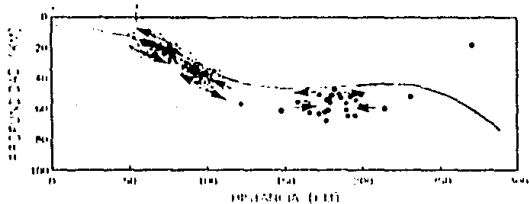


Fig. 23b Resumen esquemático de los esfuerzos que generan la flexión de la placa de Nazca en la región del Huala.

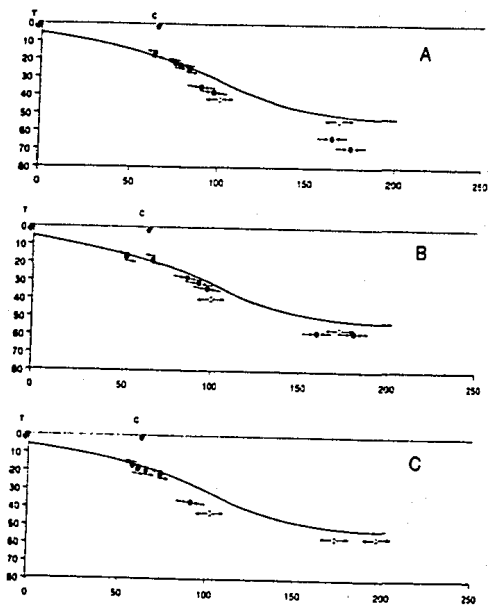
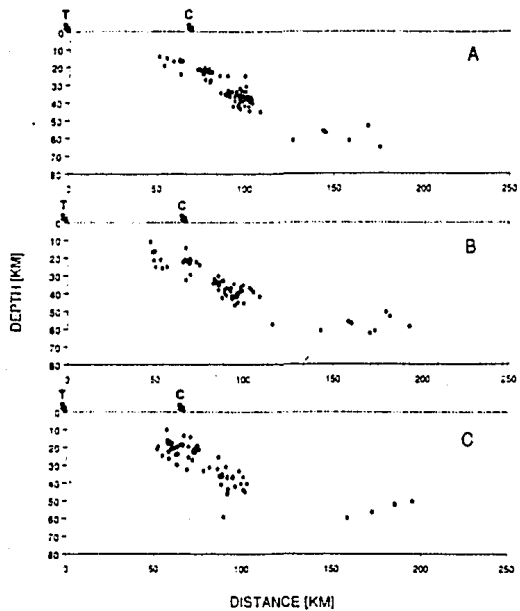


Fig.23b La distribución de los esfuerzos en el perfil A-B nos permite suponer la existencia de flexión de la placa de Cocos. Los mecanismos coherentes corresponden al trabajo de Araujo (1991).

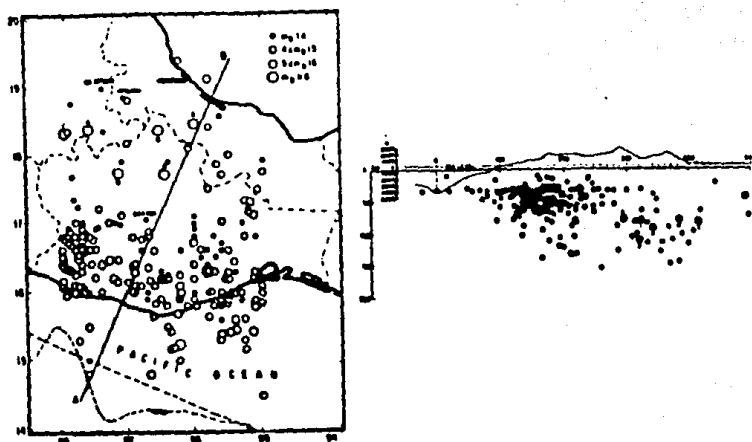


Fig. 24 Sismicidad de 1962 a 1974 en la región de Oaxaca, México. (Fig. tomada del artículo de Jiménez y Poncet).

experimentos sísmológicos de campo que proporcionen datos de lo que sucede con la placa de Cocos en esta región.

La región central de Chile es otra región de subducción de una placa joven donde se ha determinado la geometría de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa de Sudamérica (Pardo y Fuenzalida, 1988). Los autores encuentran actividad sísmica con profundidad intermedia de 100 km, que determinan una subducción para la placa de Nazca en la región de Chile central con pendiente (buzamiento) constante de  $20^\circ$  aproximadamente (fig 28); esta actividad se extiende hasta 650 km de la trinchera.

En el estudio realizado por Suárez et al. (1990b), en Perú Central, se determinó que la placa de Nazca también presenta una geometría casi-horizontal de los 200 a 500 km de la trinchera, con y profundidades cercanas a 100 km (fig 29). Más allá de los 500 km de la fosa, la sismicidad sugiere una flexión de la placa de Nazca; esto se evidencia claramente por la posición de los ejes de



tensión de los mecanismos focales determinados para la zona. La actividad de profundidad intermedia encontrada por Suárez et. al. (1990b), se confirma en el estudio realizado por James y Snokes (1990). Sin embargo, el bloque cuasi-horizontal se extiende hasta 600 km de la trinchera. La flexión de la placa de Nazca a 500 km de la fosa propuesta por Suárez et.al. (1990b), es muy semejante a la propuesta en este estudio para la placa de Cocos en la zona del Balsas. Otro estudio realizado con observaciones de período largo (Hasegawa y Sacks, 1981), al sur del Perú, establece un régimen de esfuerzos semejante al determinados por Suárez et.al. (1990b).

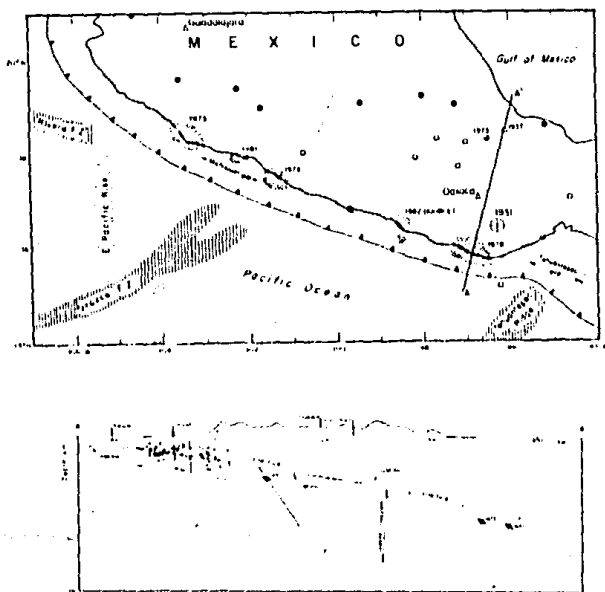


Fig. 25 Mapa que muestra la zona de contacto (zona sombreada) entre las placas de Cocos y Nortamericana, en la región del Pacífico sur mexicano. A-A' es el perfil dibujado en el mapa (tomado de Singh, et.al., 1985).

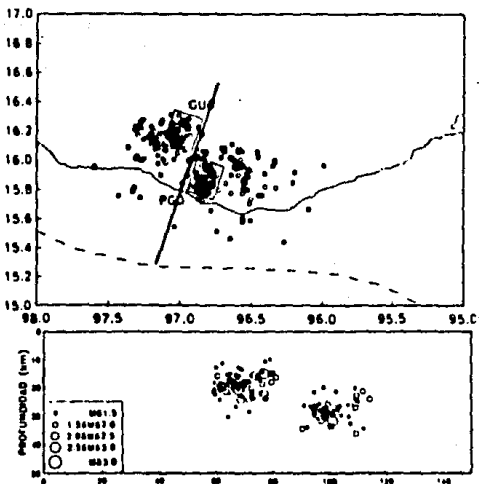


Fig. 26 Microsismicidad de la costa de Oaxaca, anterior al sismo del 29 de noviembre de 1978, y el perfil correspondiente (Sanchez, 1980).

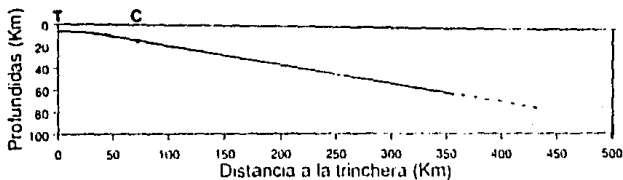


Fig. 27 Geometría de la subducción de la placa de Cocos en el estado de Oaxaca.

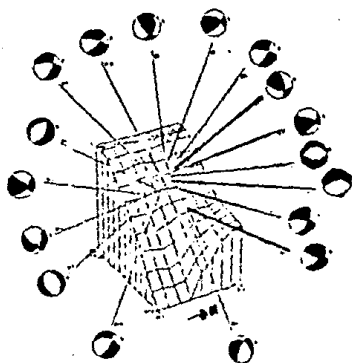


Fig. 28. Geometría de placa de Nazca en Chile central (Tomada del trabajo de Pando y Fuenzalida)

Al hacer una comparación (fig 30) con la geometría de algunas placas en subducción con la geometría de la placa de Cocos en la brecha de Guerrero, se distinguen anomalías en la profundidad y longitud promedio de la placa de Cocos. Casi todas las placas de la figura 30 tiene una longitud horizontal de más de 400 km a partir de la trinchera (T), excepto la placa de Cocos en América Central (CA) y en la zona de Guerrero (G). Si tomamos como factor de comparación la profundidad que alcanzan las placas de la figura 30, también se observa que la placa de Cocos en la región de Guerrero (G) posee la profundidad más somera; un poco menor inclusive a la profundidad alcanzada por la misma placa en la zona de Oaxaca (Ox).

En lo referente a la longitud de la placa de Cocos en la región central de Guerrero, se muestra una extensión horizontal de 200 km desde la trinchera, no existen sismos registrados que nos permitan definir la geometría que sigue la placa de Cocos más allá de los 200 km. Revisando el catálogo del SSN no se encontraron sismos de profundidad intermedia al norte del estado de Guerrero, al norte del río Balsas. Posiblemente la placa de Cocos se flexiona hacia abajo en la región del Balsas, como sugiere la doble banda de sismicidad. Al norte del Balsas es probable que un

segmento asísmico de la placa de Cocos alcance una profundidad de alrededor de 100 km bajo el Eje Volcánico (fig. 31). Esta profundidad promedio de entre 100 y 120 km de la zona sísmica en la región de subducción bajo el Eje Volcánico, se sustenta con base en el trabajo de Isacks y Barazangi (1977), en donde se establece esta relación de cadenas volcánicas con la profundidad del slab en subducción en la diferentes regiones del mundo (fig. 32). Sin embargo, hasta el momento no existen evidencias de una zona sísmica que nos permita identificar claramente la estructura de la placa de Cocos al norte del Balsas.

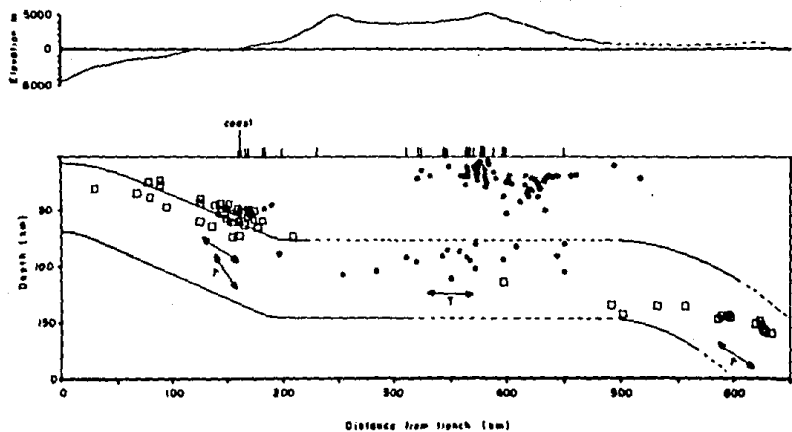


Fig. 29 Perfil de la sismicidad de Peru central, se indica la posible geometría de la placa de Nazca en la zona (Suarez et al. 1976).

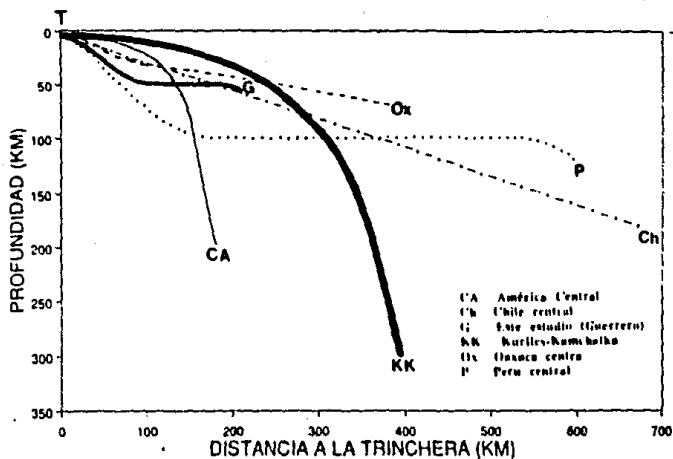


Fig. 30 Comparación de las geometrias de las placas de Cocos y de Nazca en diferentes regiones (KK y CA, Isacks y Nazangl, 1977; Ch, Pardo y Fuenzalida; P, Suarez et al., 1978; Ox, Jimenez y Ponce, Singh, Suarez y Dominguez).

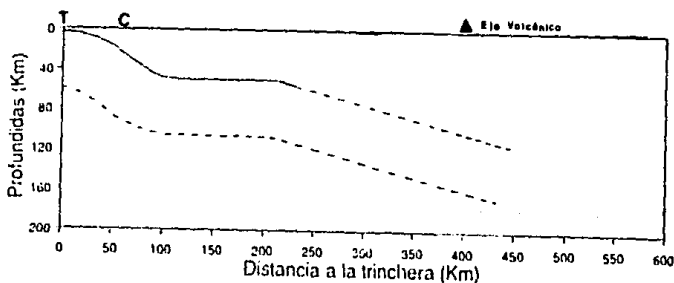


Fig. 31 Posible geometria de la placa de Cocos más allá de 200 km de la fosa de Guerrero.

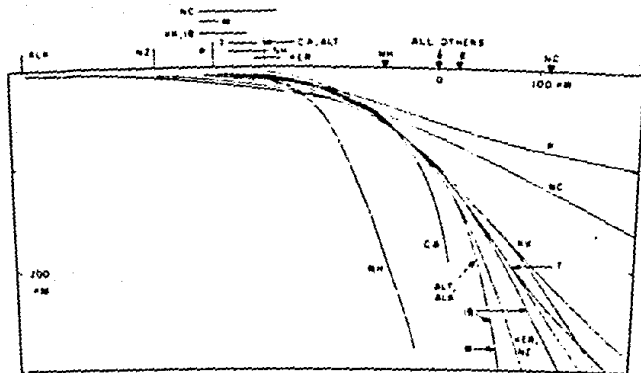


Figure 31. Comparison of the sections of Figure 3. The segment names are abbreviated for clarity: NH = New Hebrides, CA = Central America, ALI = Aleutian, ALA = Alaska, P = Pacific, NZ = New Zealand, T = Tonga, KR = Kurile-Kamoharui, NC = North Chile, F = Fiji. The sections are offset in certain cases with respect to the vertical lines (solid or dashed) to emphasize similarities and differences in the geometry. The central Chile and southern Chile segments are essentially identical to the Fiji and northern Chile segments, respectively, and are not shown.

Fig. 32 Comparación de las interfaces en distintas zonas de subducción en el planeta, y su relación con las diferentes cadenas volcánicas (tomada de Isacks y Barzangi, 1977).

Por último, los resultados indican que la actividad sísmica alrededor del río Balsas es profunda y se debe a la deformación de la placa de Cocos durante el proceso de subducción bajo la placa de Norteamérica, y no a fallamiento cortical asociado al desplazamiento de fallas superficiales, como la de Chapala-Oaxaca, sugerida por Harrison y Johnson (1990).

## VI. CONCLUSIONES.

Del presente trabajo se pueden hacer las siguientes conclusiones:

1. La red del Caracol únicamente permite localizar la actividad abajo del embalse, dentro de la placa de Cocos. El análisis de los datos indica la existencia de falta de control de tiempo en la mayoría de los datos registrados por la red, por lo que las localizaciones no muestran estabilidad al cambiar cualquiera de los parámetros con que efectúa las iteraciones el Hypo71. Por lo anterior, se sugiere ampliar la cobertura de la red.

2. Debido a la apertura actual de la red de Caracol y a la falta de control en el tiempo, solamente permite medir la cantidad de sismos ocurridos en la zona adyacente a la presa.

3. Los hipocentros relocizados con lecturas del SSN, CFE y la Red Telemétrica, indican una trayectoria casi horizontal de la placa de Cocos, entre 100 y 200 km de distancia a la trinchera, a una profundidad de 50 km, lo que permite establecer el espesor de la litósfera continental, para el estado de Guerrero, de 50 km.

4. Los mecanismos focales indican flexión de la placa de Cocos, bajo la región del río Balsas, después de los 200 km de la fosa.

5. La geometría de subducción de la placa de Cocos al norte del estado de Guerrero presenta un comportamiento particular en comparación con la subducción de otras placas, la longitud (200 km) y profundidad ( $\approx$  60 km) son menores a la extensión y profundidad de otras placas subducentes en otras regiones del planeta.

6. No se encontró evidencia alguna del desplazamiento de la falla Oaxaca-Chapala.

7. Es probable que la placa de Cocos se extienda más allá de los 200 km de la fosa, y quizá alcance una profundidad de 100 km a bajo del eje volcánico. Hasta el momento no existen datos que confirmen esta hipótesis.



## BIBLIOGRAFIA

Araujo, A., SISMICIDAD Y MECANISMOS FOCALES EN LA BRECHA DE GUERRERO: MORFOLOGIA DE UNA PLACA JOVEN; Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM, 1991.

Bolt, B. A., TERREMOTOS; ORBIS, España; 1986.

Bott, Martin H.P., THE INTERIOR OF THE EARTH, ITS STRUCTURE, CONSTITUTION AND EVOLUTION, Elsevier, Nueva York, 1984.

Burbach, G.V., C. Frohlich, W.D. Pennington y T.J. Matumoto, SEISMICITY AND TECTONICS OF THE SUBDUCTED COCOS PLATE; J. Geophys. Res., vol. 89-B9, 1984.

DeMets, C. y C. Stein, PRESENT-DAY KINEMATICS OF THE RIVERA PLATE AND THE IMPLICATIONS FOR TECTONICS IN SOUTHWESTERN MEXICO, J. Geophys. Res., 1989.

Geiger, L., PROBABILITY METHOD FOR DETERMINATION OF EARTHQUAKE EPICENTERS FROM ARRIVAL TIME ONLY, (Traducción del alemán del artículo Geiger, 1910.), Bulletin of St. Louis University, vol. 8, 56-71, 1912.

González, J., EARTHQUAKE SOURCE MECHANICS AND TECTONOPHYSICS OF THE MIDDLE AMERICA SUBDUCTION ZONE IN MEXICO, Tesis doctoral, Universidad de California, 1986.

Hanus, V. y J. Vanek, SUBDUCTION OF THE COCOS PLATE AND DEEP ACTIVE FRACTURE ZONES OF MEXICO; Geofis. Int., vol. 17-1, 14-53, 1977-78.

Hasegawa, A. y I.S. Sacks, SUBDUCTION OF THE NAZCA PLATE BENEATH PERU AS DETERMINED FROM SEISMIC OBSERVATION, J. Geophys. Res., vol. 86-B6, 1981.

Isacks, B.L. y M. Barazangi, GEOMETRY OF BENIOFF ZONES: LATERAL SEGMENTATION AND DOWNWARDS BENDING OF SUBDUCTED LITHOSPHERE, Island arcs deep sea trenches and back-arc basins. Serie 1: Maurice Ewing, AGU, 1977.

James, D.E. y J.A. Snoko, SEISMIC EVIDENCE FOR CONTINUITY OF THE DEEP SLAB BENEATH CENTRAL AND EASTERN PERU; J. Geophys. Res., vol. 95-B4, 1990.

Jiménez, Z. y L. Ponce, FOCAL MECHANISM OF SIX LARGE EARTHQUAKES IN NORTHERN OAXACA, MEXICO, FOR THE PERIOD 1928-1973, Geof. Int., vol. 17-3, 379-386, 1977-78.

Johnson, C.A. y C.G.A. Harrison, NEOTECTONICS IN CENTRAL MEXICO; en prensa, 1990.

Kasahara, K., EARTHQUAKES MECHANICS; Cambridge University press, 28-52, 1981.

Lee, W.H.K. y J.C. Lahr, HYPO71 (REVISED): A COMPUTER PROGRAM FOR DETERMINING HYPOCENTER, MAGNITUDE, AND FIRST MOTION PATTERN OF LOCAL EARTHQUAKE, U.S. Geological Survey, junio 1978.

LeFevre, L.V. y McNally, K.C., STRESS DISTRIBUTION AND SUBDUCTION OF ASEISMIC RIDGES IN MIDDLE AMERICA SUBDUCTION ZONE, JGR, mayo de 1985.

Ligorria, J.P., ESTRUCTURA DE LA CORTEZA TERRESTRE POR MEDIO DE SISMICIDAD NATURAL, tesis para obtener el título de ingeniero geofísico, ESIA-IPN, 1989.

Molnar, P. y L.R. Sykes; TECTONICS OF THE CARIBBEAN AN MIDDLE AMERICA REGIONS FROM FOCAL MECHANISMS AN SEISMICITY, Geological Soc. Am. Bull., vol. 8, 1969.

Pardo, M. y A. Fuenzalida, ESTRUCTURA CORTICAL Y SUBDUCCION EN CHILE CENTRAL; Memorias del V Congreso Geológico Chileno, tomo II, 247-265, 1988.

Sansores, L.A., SISMICIDAD, ESFUERZOS Y ATENUACION PREVIOS Y POSTERIORES AL TERREMOTO DEL 29 DE NOVIEMBRE DE 1978, OAXACA ( $M_0=7.8$ ), Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM, 1991.

Singh, S.K., G. Suárez y T. Domínguez, THE OAXACA, MEXICO, EARTHQUAKE OF 1931: LITHOSPHERIC NORMAL FAULTING IN SUBDUCTED COCOS PLATE, *Nature*, 1985.

Singh, S. K. y J. Nishenko, CONDITIONAL PROBABILITIES FOR THE RECURRENCE OF THE LARGE AND GREAT INTERPLATE EARTHQUAKE ALONG THE MEXICAN SUBDUCTION ZONE, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, vol. 77-6, 2095-2114, 1987.

Suárez, G., Monfret, T., Wittlinger, G. y Christian, D., GEOMETRY OF SUBDUCTION AND DEPTH OF THE SEISMOGENIC ZONE IN THE GUERRERO GAP, MEXICO; *Nature*, vol. 345-6273, 336-338, 1990.

Suárez, G., J. Gapnepain, A. Cisternas, D. Hatzfeld, P. Molnar, L. Ocola, S.W. Roecker y J.P. Viode; TECTONIC DEFORMATION OF THE ANDES AND THE CONFIGURATION OF THE SUBDUCTED SLAB IN CENTRAL PERU: RESULTS FROM A MICRO-SEISMIC EXPERIMENT; *Geophys. J. Int.* (1990) 103, 1-12.

Varios autores, Catedras de Geofísica: MECANISMO DE LOS TERREMOTOS Y TECTONICA; editores: Udias, A, D. Muñoz y E. Buforn, Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense de Madrid, España, 1985.

Zharkov, V.N., ESTRUCTURA INTERIOR DE LA TIERRA Y DE LOS PLANETAS; MIR, Moscú; 1985.

## AGRADECIMIENTOS

A la Oficina de Instrumentación Sísmica de la Subgerencia de Ingeniería Experimental de la Comisión Federal de Electricidad, por haberme facilitado las lecturas de la Red del Caracol.

A la Unidad Académica de los ciclos Profesional y de Posgrado del Colegio de Ciencias y Humanidades de la UNAM, por el financiamiento para la publicación del trabajo escrito.

Al personal del Servicio Sismológico Nacional, en particular, a Casiano Jiménez, por haber proporcionado las lecturas de las estaciones de la red a cargo del SSN.

A los doctores, Jorge Lomnitz, Jaime Yamamoto, S. K. Singh y Ramón Zuñiga, por haber aceptado formar parte del jurado y por sus sugerencias y correcciones al trabajo escrito.

A Abel Araujo, por haber procesado las lecturas de la Red Telemétrica.

A Tony Monfret y Mario Parde por sus valiosos comentarios y sugerencias, sin los cuales hubiera sido difícil la llevar a cabo este trabajo.

A Luis Sansores, por los programas de computación para digitalizar y de mecanismo focal.

A Laurato Ponce, por sus comentarios y sugerencias, por haberme mostrado el lado humano de la sismología.

Por último, a Gerardo Suárez, por su dirección, paciencia, tiempo, comentarios y sugerencias durante la realización del trabajo. Además, por su motivación y apoyo económico proporcionados durante mi estancia en el Instituto de Geofísica, sin los cuales no hubiera podido realizar el trabajo de tesis.

APENDICE.

TABLA 1

PARAMETROS DE CONVERGENCIA

RESET TEST( 1)=0.10	Valor de corte para el r.m.s.
RESET TEST( 2)=10.0	Peso para las iteraciones.
RESET TEST( 3)=2.00	Valor critico de la regresion multiple
RESET TEST( 4)=0.05	Valor maximo para terminar el proceso.
RESET TEST( 5)=10.00	Ajuste de profundidad.
RESET TEST( 6)=.25	Valor critico para repetir el proceso.
RESET TEST( 7)=-0.87	} Parametros para calcular magnitud.
RESET TEST( 8)=2.00	
RESET TEST( 9)=0.0035	
RESET TEST(10)=20.	Valor de ajuste para lat. y lon.
RESET TEST(11)=25.	Numero maximo de iteraciones.
RESET TEST(12)=.5	Valor de ajuste de la profundidad.
RESET TEST(13)=2.5	Parametro para calcular 10 puntos en una esfera centrada en el hipocentro calculado, con radio 2*test(13).

LISTA DE ESTACIONES

EST	UBICACION (grados)	ALT (m)	DELAY (seg)		
POG	1722.51N10037.28W	650	+0.11	<b>ESTACIONES DE LA RED TELEMETRICA</b>	
aJR	17 8.28N10028.44W	40	+0.01		
PAP	1718.03N101 2.27W	260	+0.04		
FLO	1713.53N10023.32W	840	+0.14		
NUX	1712.65N10045.28W	80	+0.01		
PDG	1728.32N10010.82W	2560	+0.43		
TET	17 9.70N10037.83W	50	+0.08		
PDE	1727.79N10044.46W	1620	+0.27		
CC1	1756.40 10000.60	0500	+0.08		<b>ESTACIONES DE LA RED DE CARACOL</b>
CC2	1759.58 10004.03	0500	+0.08		
CC4	1801.00 9959.00	1100	+0.19		
CC5	1732.40 9916.68	1000	+0.17		
CC3	1755.80 9953.88	0600	+0.10		
CC6	1736.60 10127.72	0000	0.00		
ACX	1652.00N 9955.00W	0		<b>ESTACIONES DEL SSN</b>	
COL	1910.86N10341.52W	78	0.013		
111	1822.56 9928.08	1750	0.302		
11T	19 1.26N 9818.48W	2205	0.38		
CIP*	1757.72N 9751.24W	0			
MRX	1942.27N10111.50W	1560	0.269		
P10	1623.68N 98 7.62W	20	0.003		
OXM	1917.83N 9941.30W	270			
TPM	1859.00 9903.42	1500	0.259		
UNM	1919.55N 9910.57W	2270	0.391		
P1M	1816.50N10152.90W	8	0.001		
TAC	1924.30N 9911.62W	2290	0.395		
11A	1908.97N 9839.50W	3900			
PPM	19 4.00N 9837.60W	3950			
11J	1944.04N 9945.72W	3900	+0.67		

CAY	1724.35N	101 09.37W	37	0.006
MAM	1735.61N	100 59.61W	550	0.095
PET	1732.55N	101 15.45W	60	0.010
SMI	1738.11N	101 26.52W	150	0.026
VAZ	1755.98N	101 19.11W	540	0.093
PAN	1718.03N	101 02.27W	260	0.045

ESTACIONES  
DE LA  
RED TEMPORAL

6.500	10.100
7.100	18.300
7.400	23.400
8.000	34.000

MODELO Y ESTRUCTURA DE VELOCIDADES.

0065. 50. 300. 1.76      4   0   4   0   1      1 1111

TABLA 2  
SISMO MAESTRO

DATE	ORIGIN	LAT N	LONG W	DEPTH	MAG	NO	DM	GAP	M	RMS	Q	
880209	1853	37.40	17-57.63	100-	0.70	66.0b	1.99	4	2	126	1 0.05 C	
STN	DIST	PRMK	HRMN	P-SEC	TPOBS	TPCAL	DLY/H1	P-RES	P-WT	S-SEC	TSOBS	S-RES
CC1	2.3	IPD9	1853	48.40	11.00	9.17	0.09	-0.04	1.01	55.40	7.00	-0.04
CC2	6.9	IPD9	1853	51.20	13.80	9.21	-0.09	0.07	1.00	58.20	7.00	0.07
CC4	6.9	EPD9	1853	51.60	14.20	9.21	0.19	-0.05	1.00	58.70	7.10	-0.05
CC3	12.5	IPD9	1853	59.80	22.40	9.32	0.10	0.04	0.98	67.00	7.20	0.04

TABLA 3

SISMOS LOCALIZADOS CON LA RED TELEMETRICA  
DENTRO DE LA ZONA DE ESTUDIO

yr	m	hrmn	sec	Lat(N)	Long(W)	depth	mag	np	dl	gap	m	rms	Q
87	923	62923.98	17.960	101.154	31.63	2.86	5	86	342	1	.05	D	
87	928	24440.68	18.522	101.643	61.66	2.99	7	50	343	1	.03	D	
87	928	04339.28	18.289	100.207	42.99	2.82	8	7	323	1	.11	D	
87	930	165358.77	18.204	100.721	75.17	2.78	9	82	320	1	.08	D	
87	10	1225341.42	17.775	100.948	47.24	2.20	12	41	305	1	.15	C	
87	10	4 3 312.07	17.743	100.716	2.89	3.01	4	31	324	1	.09	C	
87	10	410 642.59	17.889	101.181	30.01	2.68	5	67	324	1	.17	D	
87	10	518 744.90	17.841	101.072	45.07	2.11	9	55	317	1	.08	C	
87	10	6212226.35	17.751	101.481	45.45	3.01	7	69	335	1	.07	D	
87	10	9 022 2.59	18.149	101.263	13.37	2.93	5	94	353	1	.19	D	
87	10	11194815.99	17.951	100.873	61.23	7.05	8	16	314	1	.09	D	
87	10	14 92640.44	17.689	101.485	34.95	2.58	7	64	339	1	.24	D	
87	10	252531433.84	17.691	101.063	39.21	1.82	9	42	310	1	.15	C	
87	11	2 93524.11	18.078	100.483	69.25	2.20	5	79	334	1	.38	D	
87	11	1622 221.22	17.799	101.017	50.28	1.82	8	47	316	1	.07	C	
87	11	18 04958.26	18.159	101.702	.50	2.62	6	18	344	1	1.81	D	
87	11	18 32929.57	18.393	101.270	81.52	2.83	8	17	336	1	.06	D	
87	12	4133124.03	17.757	101.477	28.99	3.01	10	69	335	1	.15	D	
87	12	7 53832.87	17.816	101.225	22.52	2.79	7	60	327	1	.09	D	
87	12	23174739.60	17.753	101.296	45.15	2.73	8	67	342	1	.10	D	
88	1	42030 5.98	18.145	100.512	76.18	2.67	7	79	349	1	.08	D	
88	1	113 15356.46	17.923	100.546	96.84	2.32	7	55	333	1	.13	D	
88	1	18154031.13	18.440	101.461	68.24	.00	9	6	352	1	.03	D	
88	2	4225556.17	17.936	101.481	61.86	.00	5	94	350	1	.04	D	
88	2	22 45749.64	18.118	100.743	59.38	2.47	10	72	345	1	.10	D	
88	6	12234855.95	18.023	100.587	54.81	2.66	15	64	311	1	.14	C	
88	6	25213525.44	17.788	101.165	64.48	2.34	7	56	303	1	.17	D	
88	8	27 5 446.84	18.152	100.648	74.75	2.80	9	90	303	1	.15	D	
88	12	30 34311.30	17.684	101.208	33.82	1.84	5	46	319	1	.00	C	
89	1	6 64934.67	17.724	101.456	11.43	2.37	5	65	334	1	0.04	C	
89	1	22 926 7.93	18.190	100.745	29.84	2.21	6	80	341	1	.16	D	
89	1	23 05227.95	18.345	100.127	73.43	2.92	8	17	333	1	.09	D	
89	1	27115628.48	17.948	100.971	21.36	2.64	6	59	347	1	.15	D	
89	2	16 241 8.27	17.850	101.365	16.65	2.74	9	70	333	1	.12	D	
89	2	16192658.14	17.807	100.251	58.02	2.46	8	38	295	1	.17	D	
89	2	171335 1.49	17.909	101.695	23.07	2.03	8	97	342	1	.08	C	
89	2	18 5 458.86	17.765	101.263	31.82	2.65	6	57	326	1	.08	C	
89	2	18154554.15	17.698	101.115	41.68	2.49	8	45	314	1	.05	C	
89	2	19 35811.91	17.697	101.448	56.95	2.72	6	62	334	1	.16	D	
89	2	28212413.05	18.045	100.337	61.15	2.76	8	66	312	1	.07	C	
89	3	214 9 .80	18.047	100.849	13.27	2.13	6	66	342	1	.12	D	
89	3	3224036.14	17.879	101.418	19.34	2.76	8	76	335	1	.16	D	
89	3	10211452.84	17.919	101.657	55.31	3.10	9	95	341	1	.15	D	
89	3	11 85810.32	18.338	100.966	60.93	2.83	7	0	347	1	.46	D	
89	3	1111 931.24	17.915	101.254	56.16	3.10	12	72	312	1	.13	D	
89	3	11111437.68	18.382	100.902	55.44	2.76	12	3	316	1	.29	D	
89	4	11 31943.42	18.146	101.092	63.05	2.75	10	94	311	1	.13	D	

89	41144346.60	18.184	101.263	12.54	2.73	7	12	335	1	.76	D
89	413 74211.89	17.832	101.456	62.30	2.66	9	74	323	1	.13	D
89	418 94335.02	18.237	100.094	18.32	2.33	5	85	336	1	.13	D
89	5 7105554.37	18.112	100.130	21.55	2.37	6	97	343	1	.13	D
89	5 8 32515.03	17.822	100.966	23.62	2.72	7	61	321	1	.14	D
89	515 82934.32	17.728	100.712	43.40	1.92	8	40	305	1	.06	C
89	515144659.22	17.884	101.866	62.20	2.96	6	44	343	1	.30	D
89	525 2 026.42	17.859	101.304	52.76	2.46	7	90	333	1	.15	D
89	613 6 055.24	17.615	101.332	16.88	2.72	6	80	345	1	.14	D
89	725 8 044.36	17.687	101.718	60.49	.00	7	84	346	1	.16	D
89	8 721 020.12	17.781	101.457	49.63	2.80	9	69	337	1	.18	D
89	810232448.79	17.920	99.666	62.25	2.91	10	74	341	1	.30	D
89	811 25851.68	17.819	101.535	19.48	2.88	11	78	339	1	.31	D
89	81122 428.11	17.529	101.632	35.05	2.84	6	9	348	1	.34	D
89	812153244.88	18.038	101.081	67.48	3.20	7	82	306	1	.06	D
89	81411 421.15	17.669	101.066	20.76	2.61	11	41	308	1	.19	D
89	819 6 552.15	17.760	101.767	47.90	2.82	8	93	346	1	.16	D
89	820 1 052.73	17.862	100.388	60.13	3.20	12	59	302	1	.12	C
90	1 520 721.96	18.370	100.880	34.27	2.84	9	1	315	1	.15	D
90	1 7 05551.91	18.023	101.732	39.23	2.96	8	9	343	1	.12	D
90	1 7 11247.20	18.703	101.138	23.68	2.98	7	44	338	1	.08	D
90	1 8232832.91	18.017	101.402	55.46	2.92	9	88	321	1	.31	D
90	1 91140 5.32	18.402	101.052	25.10	2.72	12	9	319	1	.16	D
90	113225827.97	18.003	100.758	54.18	2.40	13	60	293	1	.14	C
90	1141820 2.68	18.030	100.493	61.38	2.44	12	68	296	1	.04	C
90	116 348 .36	18.291	100.631	32.68	2.51	10	92	326	1	.15	D
90	117 15654.66	17.771	101.385	42.14	2.70	9	64	332	1	.18	D
90	12319 556.64	18.312	100.557	64.30	2.95	11	96	312	1	.14	D
90	2 3 717 9.93	17.910	101.616	20.95	2.39	12	91	330	1	.15	D
90	2 4314649.12	18.503	99.393	62.14	3.11	10	41	338	1	.36	D
90	2 5205818.52	18.188	100.712	51.08	2.86	10	80	305	1	.12	D
90	21712 036.74	17.841	101.610	34.93	1.00	7	85	321	1	.13	D
90	217125247.03	18.437	101.107	18.93	2.89	14	15	321	1	.38	D
90	218193340.75	18.435	100.791	65.12	2.84	13	8	317	1	.15	D
90	21919 516.57	18.173	100.777	74.78	2.84	6	79	305	1	.13	D
90	2192243 7.21	17.896	101.789	50.00	2.81	7	4	344	1	.11	D
90	220 02724.84	17.899	100.322	56.76	2.64	9	50	293	1	.05	C
90	220 74738.78	17.870	99.670	48.78	2.74	13	70	339	1	.32	D
90	3 1213632.01	18.086	100.157	56.31	2.75	13	68	315	1	.08	C
90	3 2 71258.25	18.021	100.251	47.87	.00	12	61	307	1	.15	D
90	3 2 818 5.81	18.153	100.432	47.46	2.29	8	80	317	1	.07	C
90	3 2155328.31	18.226	100.335	57.66	2.78	8	85	322	1	.12	D
90	3 313 652.37	18.411	101.168	38.51	2.94	8	24	321	1	.11	D
90	3 4 75438.28	17.975	100.261	57.32	2.70	13	56	303	1	.09	C
90	3 5 1 945.90	18.323	100.741	55.69	2.96	13	95	312	1	.20	D
90	3 623 912.89	18.357	100.771	30.65	2.94	6	99	345	1	2.49	D
90	3 7124043.81	17.789	100.444	58.79	2.69	12	45	272	1	.07	C
90	3 7165619.11	17.818	101.482	44.84	2.87	13	74	325	1	.15	D
90	3 7195930.91	18.289	100.852	60.16	2.83	13	92	312	1	.17	D
90	3 8 04252.67	18.460	101.004	55.49	3.08	11	14	333	1	.19	D
90	3 9132445.64	18.687	99.475	60.22	3.17	6	54	344	1	.21	D
90	3 920 145.67	17.932	100.546	44.21	1.79	4	56	301	1	.04	C
90	310 31129.24	17.916	100.983	16.25	2.58	6	56	348	1	.14	D
90	310 45927.81	18.025	100.785	58.20	2.60	14	62	295	1	.15	C



90	310212340.21	18.400	102.109	57.10	3.16	7	66	349	1	.04	D
90	313 5 219.66	18.126	100.744	48.59	3.20	6	84	332	1	1.56	D
90	313 81825.28	18.143	100.578	47.93	2.77	13	77	303	1	.17	D
90	313105745.18	18.059	100.264	52.25	2.46	8	66	315	1	.11	D
90	314 653 6.81	17.846	101.464	13.09	2.79	12	75	324	1	.15	D
90	314172921.64	18.202	100.637	55.46	2.78	13	83	306	1	.17	D
90	316 9 026.68	18.282	100.653	48.42	2.79	13	91	310	1	.17	D
90	319 92937.01	18.712	101.136	34.91	.00	6	44	351	1	.38	D
90	320 1 324.96	18.019	100.203	74.53	2.68	8	61	315	1	.79	D
90	32022 044.25	17.936	101.159	16.03	2.77	6	69	354	1	.19	D
90	3221521 9.55	17.949	100.615	51.78	2.75	14	55	287	1	.29	D
90	323 2 056.37	17.764	100.449	53.86	2.62	14	43	268	1	.42	D
90	324 9 244.14	18.363	99.684	34.33	3.20	14	12	337	1	.43	D
90	3241124 8.24	17.761	101.832	34.56	2.89	8	30	342	1	.38	D
90	32513 726.49	17.881	101.031	46.29	2.66	12	56	296	1	.43	D
90	3252225 8.15	18.122	100.476	78.17	2.62	9	78	303	1	.28	D
90	327 65615.46	17.992	101.139	14.48	2.72	6	72	353	1	.24	D
90	330 75418.94	18.208	100.693	63.58	3.20	11	83	306	1	.11	D
90	33013 218.89	18.249	100.680	55.29	3.20	13	87	309	1	.19	D
90	331 43551.18	18.401	101.720	34.87	2.68	6	47	353	1	.21	D
90	331205810.71	17.968	100.113	51.08	2.80	8	55	317	1	.16	D

TABLA 4

SISMOS RELOCALIZADOS CON LAS REDES TELEMETRICA,  
DEL SSN Y DEL CARACOL.

yr	m	d	hrmn	sec	Lat(N)	Long(W)	depth	mag	np	dl	gap	m	rms	Q
87	9	23	6	2923.13	18.022	101.112	63.30	3.17	10	89	293	1	0.08	C
87	9	28	10	4340.66	18.177	100.228	58.71	2.94	11	27	213	1	.10	C
87	9	30	16	5358.52	18.292	100.609	62.62	3.47	15	73	243	1	.16	D
87	10	1	22	5340.51	17.797	101.012	56.58	2.40	12	47	260	1	.09	C
87	10	5	18	745.66	17.873	100.971	43.42	2.29	10	52	255	1	.09	C
87	10	11	19	4816.26	17.964	100.892	58.15	2.15	11	58	256	1	.06	C
87	11	2	9	3525.15	18.090	100.558	58.05	2.40	7	61	247	1	.07	C
87	12	7	6	3834.02	17.656	101.258	51.66	3.32	9	46	278	1	0.26	D
87	12	23	17	4739.86	17.874	101.160	47.21	2.88	9	64	298	1	.09	C
88	1	18	15	4031.02	18.442	101.499	18.61	.00	7	50	287	1	.06	C
88	2	4	22	5556.34	17.500	101.646	11.03	4.54	4	96	214	1	.13	C
88	2	22	4	5749.66	18.155	100.662	59.11	2.76	10	73	276	1	.03	C
88	6	12	23	8856.10	18.052	100.586	51.69	2.86	17	55	247	1	.08	C
88	8	27	5	446.93	18.250	100.607	57.16	3.67	11	72	275	1	.19	D
89	1	22	9	26 7.71	18.181	100.768	58.54	2.78	8	79	289	1	.04	C
89	1	23	0	5230.05	18.054	99.892	64.67	3.13	9	20	162	1	.05	C
89	2	16	2	41 7.90	17.868	101.474	23.11	3.08	10	78	301	1	.09	D
89	2	16	19	2657.18	17.858	100.186	59.63	2.36	12	20	167	1	.11	C
89	2	17	13	35 1.43	17.984	101.710	25.53	3.20	9	4	315	1	.08	C
89	2	18	5	457.80	17.613	101.328	63.11	2.72	7	46	294	1	.19	D
89	2	18	15	4554.25	17.801	101.052	37.50	2.49	7	50	300	1	.01	C
89	2	19	3	5812.10	17.844	101.433	32.18	2.95	7	73	302	1	.09	C

89	228	212412.92	18.106	100.327	53.02	2.83	10	38	254	1	.03	C		
89	3	224036.42	17.815	101.383	62.65	3.03	7	68	295	1	.08	D		
89	310	211451.77	18.012	101.724	26.29	4.35	10	7	313	1	.07	C		
89	311	85810.87	18.333	100.816	64.44	2.96	7	96	302	1	.06	C		
89	411	31943.88	18.188	101.014	62.52	3.21	11	98	282	1	.10	D		
89	413	74212.61	17.878	101.367	61.63	3.79	11	73	293	1	.11	D		
89	418	94337.73	18.008	99.968	55.87	2.87	7	11	224	1	.13	D		
89	5	7	105553.94	18.153	100.047	50.35	2.75	7	18	274	1	.07	C	
89	515	144558.00	17.924	101.879	10.00	3.40	8	47	325	1	.14	D		
89	613	173910.83	17.526	100.450	57.36	2.76	10	25	157	1	.06	B		
89	810	232449.37	17.882	99.651	59.79	3.27	14	38	201	1	.10	C		
89	811	25852.51	17.791	101.598	43.62	3.50	15	25	186	1	.11	D		
89	812	153244.21	18.137	101.090	64.40	4.77	7	93	311	1	.04	D		
89	814	114819.94	17.598	101.257	41.81	3.22	14	40	217	1	0.66	D		
89	819	6	652.16	17.808	101.774	29.73	3.49	11	40	222	1	.11	C	
89	820	02752.76	17.899	100.363	55.99	0.00	12	64	305	1	0.11	C		
90	1	5	20	724.72	18.112	100.745	63.33	2.21	14	72	265	1	.30	D
90	2	4	114652.14	18.184	99.361	53.35	3.58	14	24	135	1	.14	B	
90	2	5	205818.91	18.151	100.894	54.13	3.03	12	76	260	1	.09	C	
90	217	115936.79	17.795	101.623	47.50	2.92	11	27	302	1	.19	D		
90	217	125247.62	18.390	101.148	26.03	3.30	18	93	267	1	.15	C		
90	218	193342.04	18.395	100.777	41.32	3.47	17	94	257	1	.12	D		
90	219	2243	9.08	18.055	101.511	52.01	4.01	12	49	267	1	.33	D	
90	220	02724.82	17.905	100.329	56.90	2.80	12	34	215	1	.07	C		
90	220	74538.75	17.776	99.638	54.52	3.63	21	67	160	1	.19	C		
90	3	1	213431.96	18.094	100.134	52.29	2.84	19	18	160	1	.16	C	
90	3	2	71157.76	17.969	100.232	62.43	3.94	22	36	145	1	.26	C	
90	3	4	75237.46	18.011	100.286	61.24	3.04	19	23	160	1	.21	C	
90	3	5	1	846.01	18.309	100.700	60.01	3.66	19	78	191	1	.19	D
90	3	7	123943.76	17.773	100.428	61.13	3.06	16	42	152	1	.08	B	
90	3	7	165518.91	17.830	101.500	42.90	3.19	20	22	249	1	.13	C	
90	3	7	195830.52	18.317	100.838	61.83	3.20	19	66	240	1	.16	C	
90	3	9	04153.32	18.384	100.995	66.04	3.52	18	61	137	1	.11	C	
90	3	9	132346.85	18.678	99.655	18.19	3.34	22	39	116	1	.20	C	
90	3	9	195945.77	17.480	100.544	70.90	1.91	6	21	186	1	0.08	D	
90	310	31029.44	17.347	101.260	12.12	2.48	12	13	227	1	0.16	C		
90	310	45827.11	18.061	100.760	62.80	2.89	21	57	203	1	.18	C		
90	313	81725.27	18.144	100.563	47.78	2.96	20	63	215	1	.16	C		
90	313	105645.20	18.064	100.257	50.58	2.49	12	30	228	1	.12	C		
90	314	652	7.34	17.782	101.515	30.39	3.21	18	18	257	1	.25	C	
90	316	85926.34	18.290	100.607	54.72	2.90	16	85	236	1	.11	C		
90	319	92836.25	18.154	101.930	29.83	3.57	8	69	333	1	0.43	D		
90	320	1	224.45	18.062	100.043	51.77	2.86	11	8	225	1	.15	D	
90	322	1520	9.77	17.917	100.559	55.97	3.07	19	53	169	1	.19	C	
90	324	134246.14	18.188	99.806	61.01	3.80	23	35	128	1	.23	B		
90	325	2224	8.35	18.185	100.438	65.07	2.84	15	53	223	1	.35	D	
90	327	65516.13	17.566	101.394	27.88	2.29	10	9	201	1	.15	C		
90	330	75219.58	18.131	100.710	68.54	3.95	26	67	66	1	.38	B		
90	331	43451.31	18.203	101.688	2.74	2.89	10	49	339	1	.25	D		
90	331	205810.42	17.960	100.106	56.42	2.79	11	6	178	1	.12	C		

TABLA 5

SISMOS TIPO α

yr	m	dhrmn	sec	Lat(N)	Long(W)	depth	mag	np	dl	gap	rms	eh	ez		
87	9	414	029.00	18.032	100.165	113.12	2.54	4	11	333	0.19	0.00	0.00		
87	9	8	03013.50	18.113	100.025	60.26	1.56	4	12	308	0.14	0.00	0.00		
87	9	15	44749.50	18.000	98.948	59.41	3.04	4	62	267	0.22	0.00	0.00		
87	9	16	142118.60	18.126	100.028	66.12	2.51	4	13	250	0.16	0.00	0.00		
87	9	22	32518.40	17.683	99.771	140.81	2.23	4	30	212	0.01	0.00	0.00		
87	9	23	172129.50	17.857	99.313	46.21	2.78	4	35	250	0.07	0.00	0.00		
87	9	30	146	0.20	16.851	99.510	66.57	3.15	4	80	318	0.04	0.00	0.00	
87	10	4	417	4.70	17.917	98.986	66.21	2.88	4	52	301	0.17	0.00	0.00	
87	10	4	193448.30	17.942	100.946	66.34	3.29	4	99	341	0.29	0.00	0.00		
87	10	5	815	2.10	17.204	99.715	84.97	3.08	5	59	288	0.22	52.50	38.50	
87	10	17	1450	7.50	17.988	100.675	46.30	2.87	4	71	339	0.20	0.00	0.00	
87	10	23	203536.20	17.865	99.796	120.03	2.74	4	13	173	0.03	0.00	0.00		
87	10	25	539	2.80	18.188	100.006	53.78	1.87	4	19	321	0.04	0.00	0.00	
87	11	21	75354.00	18.366	99.097	73.93	2.72	4	93	304	0.30	0.00	0.00		
87	11	9	91956	8.60	17.903	100.729	93.76	3.45	4	71	353	0.08	0.00	0.00	
87	11	14	8	222.20	17.932	99.732	60.19	2.73	5	18	203	0.09	23.30	5.00	
87	12	6	03542.20	17.932	99.368	105.55	2.77	4	56	352	0.18	0.00	0.00		
87	12	8	9	3	1.30	18.008	98.768	82.63	3.01	5	75	203	0.14	4.10	2.90
87	12	10	72712.80	17.134	100.393	68.97	3.35	4	98	315	0.08	0.00	0.00		
87	12	11	84922.80	17.908	100.069	51.36	1.77	4	7	279	0.18	0.00	0.00		
87	12	11	113	216.80	18.079	99.825	61.62	1.71	4	18	316	0.10	0.00	0.00	
87	12	19	1716	9.50	17.995	100.470	59.59	2.25	4	43	350	0.10	0.00	0.00	
87	12	20	164824.20	17.648	100.012	77.33	2.60	5	32	253	0.17	58.00	25.60		
87	12	22	14259.00	17.885	100.155	95.93	2.65	4	17	299	0.20	0.00	0.00		
87	12	23	92434.60	17.828	100.554	45.14	2.09	4	55	350	0.11	0.00	0.00		
87	12	25	1855	1.00	17.838	99.813	118.58	2.21	4	14	340	0.19	0.00	0.00	
87	12	30	214031.00	17.010	100.744	61.80	3.31	5	29	324	0.16	56.80	170.90		
87	12	31	154259.00	17.572	99.972	113.86	2.43	4	41	255	0.27	0.00	0.00		
88	2	9	185337.40	17.956	100.012	66.04	1.99	4	2	131	0.01	0.00	0.00		
88	2	10	74659.00	17.632	100.315	57.10	2.25	4	47	340	0.24	0.00	0.00		
88	6	11	32913.60	17.842	99.768	101.97	1.97	4	17	343	0.24	0.00	0.00		
88	6	13	223220.70	17.886	99.900	56.46	2.72	4	5	295	0.15	0.00	0.00		
88	6	14	162844.40	18.042	100.137	93.93	2.93	4	9	330	0.12	0.00	0.00		
88	6	17	1712	6.50	18.366	100.066	71.05	2.72	4	40	340	0.04	0.00	0.00	
88	7	219	951.80	17.542	99.735	85.14	2.44	4	46	235	0.20	0.00	0.00		
88	7	316	545.90	18.019	99.567	47.12	1.91	4	36	240	0.09	0.00	0.00		
88	7	713	2615.00	16.345	100.271	88.75	3.50	4	69	328	0.24	0.00	0.00		
88	7	814	042.90	17.702	99.993	48.38	2.91	4	26	253	0.03	0.00	0.00		
88	7	27	164353.10	17.081	99.502	82.50	3.27	4	56	304	0.14	0.00	0.00		
88	8	24	114621.40	17.389	100.041	58.66	2.56	4	61	343	0.13	0.00	0.00		
88	11	3	651	3.60	17.942	100.160	137.00	2.01	4	11	327	0.21	0.00	0.00	
88	11	31	349	5.80	17.538	100.077	109.42	1.80	4	45	338	0.06	0.00	0.00	
88	11	31	92142.40	17.942	99.995	117.55	1.96	4	2	166	0.19	0.00	0.00		
88	11	41	15612.95	18.080	99.965	53.61	2.35	4	7	289	0.04	0.00	0.00		
88	11	41	53532.50	17.951	100.069	62.13	1.77	4	5	261	0.05	0.00	0.00		
88	11	5	81043.40	17.800	100.012	94.02	1.65	4	15	305	0.26	0.00	0.00		
88	11	6	74527.50	17.812	100.101	122.58	3.35	4	17	311	0.12	0.00	0.00		
88	11	6	131015.50	17.742	100.110	52.14	1.40	4	24	322	0.10	0.00	0.00		

0011	6134237.10	18.094	100.012	78.07	2.49	4	9	299	0.11	0.00	0.00
0011	7 02319.50	17.711	100.206	48.52	2.87	4	33	332	0.23	0.00	0.00
001111	44222.40	18.523	100.053	55.41	2.56	4	57	345	0.20	0.00	0.00
00112120	245.00	18.017	100.069	78.53	1.46	4	3	274	0.16	0.00	0.00
001122	85834.10	16.997	100.254	47.01	3.92	5	7	342	0.07	18.00	66.60
001122233631.00	17.644	100.460	122.22	3.30	4	57	312	0.13	0.00	0.00	
001123155338.70	17.969	100.069	74.69	1.89	4	3	247	0.26	0.00	0.00	
001123185511.60	17.888	100.178	73.19	1.82	4	17	324	0.12	0.00	0.00	
001124134443.00	17.841	100.122	57.84	2.26	4	16	312	0.12	0.00	0.00	
001126	25415.40	17.254	100.069	142.67	2.91	4	76	347	0.08	0.00	0.00
001126	51054.00	18.428	99.721	58.69	1.76	4	53	341	0.13	0.00	0.00
0012	1 25844.70	16.761	100.153	59.60	2.78	5	27	317	0.14	48.70	146.70
0012	3 9 756.30	17.067	100.012	48.66	2.81	4	96	350	0.14	0.00	0.00
0012	314 750.80	17.083	99.689	45.63	2.66	4	96	352	0.05	0.00	0.00
0012	3202759.90	18.640	99.985	48.88	2.72	4	69	346	0.12	0.00	0.00
0012	7 752 6.70	17.810	100.132	127.54	2.61	4	19	317	0.30	0.00	0.00
001210	14023.30	18.716	100.186	39.71	3.11	4	80	350	0.26	0.00	0.00
001211143157.00	17.899	100.189	66.82	2.39	4	17	327	0.12	0.00	0.00	
00121314	354.40	17.187	100.069	109.21	2.51	4	84	348	0.10	0.00	0.00
001214	649 4.00	18.045	100.116	65.50	2.77	4	8	324	0.14	0.00	0.00
00121611	929.60	17.798	99.897	136.26	2.55	4	15	321	0.06	0.00	0.00
09	114 6 150.00	17.039	100.012	77.74	3.59	4	99	350	0.23	0.00	0.00
09	114 85546.70	18.118	99.863	131.82	2.74	4	17	313	0.13	0.00	0.00
09	11714 348.50	17.839	100.343	85.30	3.03	4	34	342	0.11	0.00	0.00
09	121 34114.20	17.322	99.311	44.51	2.73	4	92	355	0.21	0.00	0.00
09	121 83415.20	17.188	99.834	47.89	3.25	4	82	349	0.24	0.00	0.00
09	121155229.00	17.766	100.128	213.96	3.08	4	23	321	0.21	0.00	0.00
09	122125947.70	17.772	100.012	288.54	3.21	4	19	312	0.23	0.00	0.00
09	12319 823.00	17.842	100.046	104.39	3.01	4	12	294	0.16	0.00	0.00
09	128 82222.40	17.153	99.832	47.44	2.92	4	86	350	0.09	0.00	0.00
09	129 92557.00	17.815	100.012	105.03	2.44	4	14	300	0.10	0.00	0.00
09	2 7 45113.13	17.988	100.077	58.52	1.92	4	1	295	0.11	0.00	0.00
09	2 7 71434.08	17.198	99.777	46.40	3.87	5	65	286	0.23	47.40	92.20
09	214 329 5.97	17.765	99.822	149.15	2.45	4	20	338	0.30	0.00	0.00
09	214141826.53	18.370	100.296	48.92	2.40	4	48	349	0.25	0.00	0.00
09	2242236 1.45	17.850	100.195	99.28	2.58	4	21	326	0.29	0.00	0.00
09	2271626 9.05	17.951	99.959	61.79	1.63	4	6	148	0.09	0.00	0.00
09	3 2 85649.50	17.612	100.503	93.63	3.50	4	63	314	0.02	0.00	0.00
09	3 3 7 855.80	18.035	98.849	116.58	3.02	4	12	355	0.12	0.00	0.00
09	3 3155349.00	17.818	100.080	101.13	2.63	4	15	307	0.24	0.00	0.00
09	3 5125227.60	16.834	100.641	69.87	3.63	5	40	324	0.14	75.30	203.80
09	3 5144721.50	16.889	100.599	79.07	4.04	5	32	322	0.22	94.80	198.10
09	3 5201631.70	17.869	100.101	70.40	2.60	4	12	302	0.18	0.00	0.00
09	3 6112219.60	18.926	101.102	46.90	3.10	4	50	357	0.23	0.00	0.00
09	3 6213123.70	17.673	100.012	85.94	3.05	4	30	260	0.24	0.00	0.00
09	3 7 94844.40	17.858	100.150	50.53	2.26	4	17	317	0.14	0.00	0.00
09	31111 840.00	18.140	100.191	142.31	3.11	4	21	341	0.27	0.00	0.00
09	311113729.70	17.231	100.048	58.83	2.75	4	79	347	0.07	0.00	0.00
09	314183446.60	17.799	99.764	115.06	2.70	4	20	185	0.29	0.00	0.00
09	314192844.20	17.932	99.736	111.65	2.70	4	17	202	0.29	0.00	0.00
09	315102743.70	18.743	100.999	77.48	3.83	4	29	356	0.12	0.00	0.00
09	317 3 925.10	17.869	100.074	103.97	2.56	4	10	293	0.11	0.00	0.00
09	319211241.10	17.871	99.799	105.98	2.88	4	12	174	0.04	0.00	0.00
09	32121 2 5.88	17.459	100.252	112.96	3.10	5	59	293	0.25	53.20	31.10

89	325125024.15	17.786	99.205	99.02	3.28	4	75	354	0.29	0.00	0.00
89	327 34057.16	17.909	98.606	56.11	3.67	4	82	326	0.11	0.00	0.00
89	4141444029.79	18.054	99.630	45.85	2.60	4	32	243	0.04	0.00	0.00
89	421232353.38	17.098	100.458	77.58	3.09	5	5	311	0.25121.90201.40		
89	425201014.80	16.819	98.852	50.45	3.82	4	92	345	0.07	0.00	0.00
89	425202811.45	16.815	98.819	49.08	3.99	5	94	346	0.17275.00290.70		
89	426 247 7.44	16.723	99.124	44.27	3.11	4	92	335	0.30	0.00	0.00
89	4271749 8.59	16.830	98.996	45.05	3.35	4	84	339	0.15	0.00	0.00
89	5 2 74725.22	16.846	100.130	68.30	3.03	5	19	313	0.29	97.60209.70	
89	5 4 63312.50	17.832	100.959	41.11	3.32	5	96	339	0.20	44.90114.30	
89	5 5 658 5.79	17.324	99.337	47.78	3.24	4	90	355	0.27	0.00	0.00
89	5 8 812645.60	18.172	100.022	58.18	2.35	4	18	320	0.07	0.00	0.00
89	510194722.60	18.056	100.175	84.97	2.97	4	13	336	0.20	0.00	0.00
89	513 41055.00	17.889	100.997	69.15	3.26	4	99	355	0.09	0.00	0.00
89	526 72726.73	17.387	99.968	99.55	2.63	4	61	344	0.20	0.00	0.00
89	526 95822.50	18.140	100.539	43.48	2.94	4	53	352	0.27	0.00	0.00
89	52815 830.60	16.825	101.130	94.54	3.87	5	71	354	0.25	22.80	43.80
89	531 839 7.20	18.336	100.051	49.38	2.48	4	36	338	0.09	0.00	0.00
89	6 41043417.12	17.419	100.076	87.33	2.79	4	58	342	0.20	0.00	0.00
89	6 6 4 831.14	17.051	100.392	75.03	3.44	4	6	313	0.24	0.00	0.00
89	613 7 035.38	17.764	100.012	95.03	2.59	5	19	239	0.18	59.50	13.60
89	616 954 5.12	17.373	100.550	95.68	3.46	5	85	315	0.06	24.50	24.70
89	616191757.47	17.635	100.012	104.61	2.82	5	34	254	0.08	23.90	8.00
89	617 2 951.92	16.776	100.025	41.79	3.07	4	16	315	0.09	0.00	0.00
89	6171355 7.79	17.716	99.924	49.04	2.79	5	24	228	0.13	20.70	11.00
89	621 25250.81	17.510	99.871	45.36	2.51	5	47	252	0.24	34.20	38.50
89	621104239.14	17.857	100.176	104.44	2.36	4	19	323	0.15	0.00	0.00
89	623 04828.98	17.552	99.738	49.26	2.63	5	45	233	0.23	69.20	44.90
89	623184549.72	17.831	100.012	60.64	2.63	5	12	229	0.22	7.90	2.10
89	623195825.94	17.045	99.976	46.00	2.79	5	92	301	0.25	77.40263.60	
89	628161349.99	17.233	100.115	49.57	3.20	4	79	294	0.07	0.00	0.00
89	629 539 5.69	17.932	99.527	47.03	2.61	5	39	228	0.24	64.50	41.40
89	7 7161151.87	17.888	100.145	130.84	3.22	4	14	315	0.18	0.00	0.00
89	710141418.00	17.464	100.567	46.53	3.24	4	79	348	0.08	0.00	0.00
89	7181513 0.88	17.832	99.913	54.53	2.08	4	11	309	0.06	0.00	0.00
89	719 13124.29	18.099	100.068	56.89	2.23	4	12	316	0.12	0.00	0.00
89	719195040.11	17.292	100.165	57.25	3.36	5	74	294	0.19	44.60	74.20
89	720131135.18	17.819	99.898	95.86	2.35	5	12	202	0.25	94.70	9.70
89	8 4214252.76	16.693	99.071	47.56	3.33	5	96	337	0.06	71.90145.40	
89	8 42325 1.66	18.041	100.308	47.31	2.18	4	26	345	0.19	0.00	0.00
89	810 13032.19	17.612	101.381	58.26	3.43	4	9	193	0.07	0.00	0.00
89	814 65411.43	17.815	100.033	93.38	2.85	4	14	239	0.14	0.00	0.00
89	8202245 3.83	18.027	100.129	56.10	2.17	4	8	327	0.22	0.00	0.00
89	825 23328.81	17.119	98.869	42.46	3.37	5	64	350	0.13	76.70	36.50
89	825145551.92	17.092	99.931	47.30	2.91	5	85	297	0.15	16.60	45.90
89	827 32413.73	17.229	100.062	47.95	2.91	5	79	292	0.20	27.80	67.70
89	831 95111.29	17.668	99.454	63.81	2.61	4	23	185	0.12	0.00	0.00

TABLA 6

SISMOS TIPO  $\beta$ 

yr	m	dhrmn	sec	Lat(N)	Long(W)	depth	mag	np	d1	gap	rms	eh	ez
87	9	8	83813.50	18.113	100.025	60.26	1.56	4	12	308	0.14	0.00	0.00
87	9	22	32518.40	17.683	99.771	140.81	2.23	4	30	212	0.01	0.00	0.00
87	9	23	172129.50	17.857	99.313	46.21	2.78	4	35	250	0.07	0.00	0.00
87	9	30	146 0.20	16.851	99.510	66.57	3.15	4	80	318	0.04	0.00	0.00
87	10	23	203536.20	17.865	99.798	120.03	2.74	4	13	173	0.03	0.00	0.00
87	10	25	539 2.80	18.188	100.006	53.78	1.87	4	19	321	0.04	0.00	0.00
87	11	9	91956 8.60	17.903	100.729	93.76	3.45	4	71	353	0.08	0.00	0.00
87	11	14	8 222.20	17.932	99.732	60.19	2.73	5	18	203	0.09	23.30	5.00
87	12	8	9 3 1.30	18.008	98.768	82.63	3.01	5	75	203	0.14	4.10	2.90
87	12	10	72712.80	17.134	100.393	68.97	3.35	4	98	315	0.08	0.00	0.00
87	12	11	13 216.80	18.079	99.825	61.62	1.71	4	18	315	0.10	0.00	0.00
87	12	19	1716 9.50	17.995	100.470	59.59	2.25	4	43	350	0.10	0.00	0.00
87	12	23	92434.60	17.828	100.554	45.14	2.09	4	55	350	0.11	0.00	0.00
88	2	9	185327.40	17.956	100.012	66.04	1.99	4	2	131	0.01	0.00	0.00
88	6	13	223220.70	17.886	99.900	56.46	2.72	4	5	295	0.15	0.00	0.00
88	6	18	162844.40	18.042	100.137	93.93	2.93	4	9	330	0.12	0.00	0.00
88	6	17	1712 6.50	18.366	100.066	71.05	2.72	4	40	340	0.04	0.00	0.00
88	7	316	545.90	18.019	99.567	47.12	1.91	4	36	240	0.09	0.00	0.00
88	7	814	042.90	17.702	99.993	48.38	2.91	4	26	253	0.03	0.00	0.00
88	7	27	164253.10	17.081	99.502	82.50	3.27	4	56	304	0.14	0.00	0.00
88	8	24	14621.40	17.389	100.041	58.66	2.56	4	61	343	0.13	0.00	0.00
88	11	31	349 5.80	17.538	100.077	109.42	1.80	4	45	338	0.06	0.00	0.00
88	11	4	115612.95	18.080	99.965	53.61	2.35	4	7	289	0.04	0.00	0.00
88	11	4	153532.50	17.951	100.069	62.13	1.77	4	5	261	0.05	0.00	0.00
88	11	6	74527.50	17.812	100.101	122.58	3.35	4	17	311	0.12	0.00	0.00
88	11	6	131015.50	17.742	100.110	52.14	1.40	4	24	322	0.10	0.00	0.00
88	11	6	134237.10	18.094	100.012	78.07	2.49	4	9	299	0.11	0.00	0.00
88	11	22	85834.10	16.997	100.254	47.01	3.92	5	7	342	0.07	18.00	66.60
88	11	22	233631.00	17.644	100.460	122.22	3.30	4	57	312	0.13	0.00	0.00
88	11	23	185511.60	17.888	100.178	73.19	1.82	4	17	324	0.12	0.00	0.00
88	11	24	134443.00	17.841	100.122	57.84	2.26	4	16	312	0.12	0.00	0.00
88	11	26	25415.40	17.254	100.069	142.67	2.91	4	76	347	0.08	0.00	0.00
88	11	26	51054.00	18.428	99.721	58.69	1.76	4	53	341	0.13	0.00	0.00
88	12	1	25844.70	16.761	100.153	59.60	2.78	5	27	317	0.14	48.70	46.70
88	12	3	9 756.30	17.067	100.012	48.66	2.81	4	96	350	0.14	0.00	0.00
88	12	314	750.80	17.083	99.689	45.63	2.66	4	96	352	0.05	0.00	0.00
88	12	3	202759.90	18.640	99.985	48.88	2.72	4	69	346	0.12	0.00	0.00
88	12	11	143157.00	17.899	100.189	66.82	2.39	4	17	327	0.12	0.00	0.00
88	12	13	14 354.40	17.187	100.069	109.21	2.51	4	84	348	0.10	0.00	0.00
88	12	16	649 4.00	18.045	100.116	65.50	2.77	4	8	324	0.14	0.00	0.00
88	12	16	11 929.60	17.798	99.897	136.26	2.55	4	15	321	0.06	0.00	0.00
89	1	14	85546.70	18.118	99.863	131.82	2.74	4	17	313	0.13	0.00	0.00
89	1	17	14 348.50	17.839	100.343	85.30	3.03	4	34	342	0.11	0.00	0.00
89	1	28	82222.40	17.153	99.832	47.44	2.92	4	86	350	0.09	0.00	0.00
89	1	29	92557.00	17.815	100.012	105.03	2.44	4	14	300	0.10	0.00	0.00
89	2	7	45113.13	17.988	100.077	58.52	1.92	4	1	295	0.11	0.00	0.00
89	2	27	1626 9.05	17.951	99.959	61.79	1.63	4	6	148	0.09	0.00	0.00
89	3	2	85649.50	17.612	100.503	93.63	3.50	4	63	314	0.02	0.00	0.00

89	3	3	7	855.80	18.035	98.849	116.58	3.02	4	12	355	0.12	0.00	0.00				
89	3	5125227.60	16.834	100.641	69.87	3.63	5	40	324	0.14	75.30203.80							
89	3	7	948844.40	17.858	100.150	50.53	2.25	4	17	317	0.14	0.00	0.00	0.00				
89	3	11113729.70	17.231	100.048	58.83	2.75	4	79	347	0.07	0.00	0.00						
89	3	15102743.70	18.743	100.999	77.48	3.83	4	29	356	0.12	0.00	0.00						
89	3	17	3	925.10	17.869	100.074	103.97	2.56	4	10	293	0.11	0.00	0.00				
89	3	19211241.10	17.871	99.799	105.98	2.88	4	12	174	0.04	0.00	0.00						
89	3	27	34057.16	17.909	98.606	56.11	3.67	4	82	326	0.11	0.00	0.00					
89	4	14144029.79	18.054	99.630	45.85	2.60	4	32	243	0.04	0.00	0.00						
89	4	25201014.80	16.819	98.852	50.45	3.82	4	92	345	0.07	0.00	0.00						
89	4	271749	8.59	16.830	98.996	45.05	3.35	4	84	339	0.15	0.00	0.00					
89	5	8182645.60	18.172	100.022	58.18	2.35	4	18	320	0.07	0.00	0.00						
89	5	13	41055.00	17.889	100.997	69.15	3.26	4	99	355	0.09	0.00	0.00					
89	5	31	839	7.20	18.336	100.051	49.38	2.48	4	36	338	0.09	0.00	0.00				
89	6	16	954	5.12	17.373	100.550	95.68	3.46	5	85	315	0.06	24.50	24.70				
89	6	16191757.47	17.635	100.012	104.61	2.82	5	34	254	0.08	23.90	8.00						
89	6	17	2	951.92	16.776	100.025	41.79	3.07	4	16	315	0.09	0.00	0.00				
89	6	171355	7.79	17.716	99.924	49.04	2.79	5	24	228	0.13	20.70	11.00					
89	6	21104239.14	17.857	100.176	104.44	2.36	4	19	323	0.15	0.00	0.00						
89	6	28161349.99	17.233	100.115	49.57	3.20	4	79	294	0.07	0.00	0.00						
89	7	10141418.00	17.464	100.567	46.53	3.24	4	79	348	0.08	0.00	0.00						
89	7	181513	0.88	17.832	99.913	54.53	2.08	4	11	309	0.06	0.00	0.00					
89	7	19	13124.29	18.099	100.068	56.89	2.23	4	12	316	0.12	0.00	0.00					
89	8	4214252.76	16.693	99.071	47.56	3.33	5	96	337	0.06	71.90145.40							
89	8	10	13032.19	17.612	101.381	58.26	2.43	4	9	193	0.07	0.00	0.00					
89	8	14	65411.43	17.815	100.033	93.38	2.85	4	14	239	0.14	0.00	0.00					
89	8	25	23328.81	17.119	98.869	42.46	3.37	5	64	350	0.13	76.70	36.50					
89	8	25145551.92	17.092	99.931	47.30	2.91	5	85	297	0.15	16.60	45.90						
89	8	31	95111.29	17.668	99.454	63.81	2.61	4	23	185	0.12	0.00	0.00					

## TABLA 7

### SISMOS TIPO $\gamma$

yr	m	dhrmn	sec	Lat(N)	Long(W)	depth	mag	np	dl	gpp	rms	sh	ez						
87	11	14	8	222.20	17.932	99.732	60.19	2.73	5	18	203	0.09	23.30	5.00					
87	12	8	9	3	1.30	18.008	98.768	82.63	3.01	5	75	203	0.14	4.10	2.90				
88	1	22	85834.10	16.997	100.254	47.01	3.92	5	7	342	0.07	18.00	66.60						
88	1	25	844.70	16.761	100.153	59.60	2.78	5	27	317	0.14	48.70146.70							
89	3	5125227.60	16.834	100.641	69.87	3.63	5	40	324	0.14	75.30203.80								
89	6	16	954	5.12	17.373	100.550	95.68	3.46	5	85	315	0.06	24.50	24.70					
89	6	16191757.47	17.635	100.012	104.61	2.82	5	34	254	0.08	23.90	8.00							
89	6	171355	7.79	17.716	99.924	49.04	2.79	5	24	228	0.13	20.70	11.00						
89	8	4214252.76	16.693	99.071	47.56	3.33	5	96	337	0.06	71.90145.40								
89	8	25	23328.81	17.119	98.869	42.46	3.37	5	64	350	0.13	76.70	36.50						
89	8	25145551.92	17.092	99.931	47.30	2.91	5	85	297	0.15	16.60	45.90							

## APENDICE 2 MECANISMOS FOCALES

**A 61 Km**

	AZI	BUZ
A:	75	80
B:	255	10
T:	165	35
P:	34	55



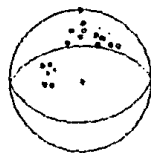
**B 57 Km**

	AZI	BUZ
A:	120	50
B:	285	41
T:	82	81.2
P:	203.1	4.5



**C 58 Km**

	AZI	BUZ
A:	270	50
B:	90	40
T:	180	85
P:	360	5



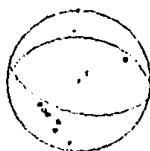
**D 58 Km**

	AZI	BUZ
A:	290	65
B:	110	25
T:	20	65
P:	200	70



**E 18 Km**

	AZI	BUZ
A:	104	53
B:	273	37.5
T:	44	80.6
P:	189.2	7.8



**F 57 Km**

	AZI	BUZ
A:	285	60
B:	105	30
T:	15	15
P:	195	75



**G 54 Km**

	AZI	BUZ
A:	293	53
B:	98	38
T:	16.5	7.6
P:	240.9	79.4



**H 55 Km**

	AZI	BUZ
A:	261	70
B:	81	20
T:	351	25
P:	171	65



**I 54 Km**

	AZI	BUZ
A:	297	73
B:	57	31.4
T:	6.6	23.4
P:	240	51.1





**J 63 Km**

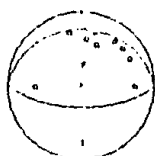
	AZI	BUZ
A:	290	22
B:	110	68
T:	20	67
P:	200	23

A:	290	22
B:	110	68
T:	20	67
P:	200	23

**K 56 Km**

	AZI	BUZ
A:	270	25
B:	90	65
T:	180	20
P:	360	60

A:	270	25
B:	90	65
T:	180	20
P:	360	60

**L 54 Km**

	AZI	BUZ
A:	275	78
B:	105	12
T:	15	33
P:	195	57

A:	275	78
B:	105	12
T:	15	33
P:	195	57

**M 69 Km**

	AZI	BUZ
A:	254	45
B:	113	52.1
T:	84.7	69.1

A:	254	45
B:	113	52.1
T:	84.7	69.1

