

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS



MECANISMO FOCAL DE LAS REPLICAS (1-12 DIC., 1978,  $M_L \geq 3.0$ )  
DEL TERREMOTO ( $M_S = 7.8$ ) DE OAXACA  
DEL 29 DE NOVIEMBRE DE 1978.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

LICENCIADO EN FISICA

PRESENTA:

ROBERTO EMILIO RUIZ KITCHER

MEXICO, D.F.

1983



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## CONTENIDO

	PAG.
RESUMEN	1
I INTRODUCCION	2
a) REGION DE ESTUDIO	3
b) ANTECEDENTES	4
II MECANISMO FOCAL	6
III METODO	9
a) INTERPRETACION DE SISMOGRAMAS	10
b) LOCALIZACION HIPOCENTRAL	11
c) PATRONES DE POLARIDADES	14
IV RESULTADOS	18
V DISCUSION E INTERPRETACION	23
VI CONCLUSIONES	27
VII AGRADECIMIENTOS	
VIII BIBLIOGRAFIA	

APENDICE A LOCALIZACION DE ESTACIONES

B LISTA DE EVENTOS

C PATRONES DE POLARIDADES

## RESUMEN

Se localizó y analizó la actividad sísmica ( $M_L \geq 3.0$ ) posterior, 1 al 12 de Diciembre de 1978, al terremoto de Oaxaca del 29 de Noviembre del mismo año.

Se obtubieron soluciones de mecanismo focal para 9 réplicas mayores ( $M_L \geq 4$ ) asociadas al terremoto principal.

Fue posible incorporar réplicas menores a algunas réplicas mayores y encontrar solución de mecanismo focal compuesto.

Las soluciones de mecanismo focal muestran un predominio de fallamiento normal y rumbo paralelo a la trinchera mesoamericana.

Estos resultados sugieren un reajuste tensional que provoca un rompimiento en bloques en forma escalonada a lo largo de la zona de Bencoff en el área. Esto ocurre posteriormente a un terremoto principal en la zona de subducción en la parte central de la costa de Oaxaca.

## INTRODUCCION

México es uno de los países sísmicamente más activos de la región Mesoamericana, por lo que un conocimiento de las causas y mecanismos mediante los cuales ocurren los temblores tiene una gran importancia.

Explicar las causas inmediatas y los procesos dinámicos de un terremoto a partir de la información disponible es uno de los problemas más relevantes de la sismología. Para los estudios sísmológicos una técnica útil es la de mecanismo focal, proceso mediante el cual es posible visualizar el tipo de falla que da origen a un terremoto y la dirección de su movimiento.

El mecanismo focal compuesto por otra parte, se puede obtener para un grupo de sismos con características comunes entre sí. Esto es importante en función de que nos da información de los patrones de esfuerzos existentes en una región determinada.

El objetivo de este trabajo es hacer una aportación para el mejor entendimiento de los fenómenos que dan origen y acompañan a terremotos en la parte central de la región costera de Oaxaca usando las réplicas asociadas con el temblor del 29 de noviembre de 1978 de  $M_s = 7.8$ , recabados en el campo con una red sísmica portátil. Se obtuvo solución de mecanismo focal individual y compuesto para algunas de las réplicas y se investigó la relación de dichas soluciones con la geología, tectónica, y con los mecanismos de los precursores, del evento principal y de las réplicas.

## REGION DE ESTUDIO

El área de trabajo forma parte de la placa continental americana y se localiza entre  $15^{\circ}$  y  $17^{\circ}$  Lat. N,  $96^{\circ}$  y  $98^{\circ}$  W (fig. 1). La región está limitada por la placa de cocos hacia el sur. El movimiento de esta placa en dirección noreste (Molnar y Sykes, 1968) forma al interaccionar con la placa continental americana, una zona de subducción cuyo rasgo fisiográfico se denomina trinchera Mesoamericana o fosa de Acapulco (fig. 1).

La placa de cocos presenta, a su vez, dos cordilleras con rumbo NE que se consideran de poca actividad sísmica y que son: la cordillera de Tehuantepec y la de Cocos, que han sido poco estudiadas pero que pueden ser resultado de la tectónica del lugar. De posible influencia, la placa del Caribe interacciona lateralmente con la placa americana a lo largo de la falla Polochic - Motagua en el Sureste de México. (fig 1).

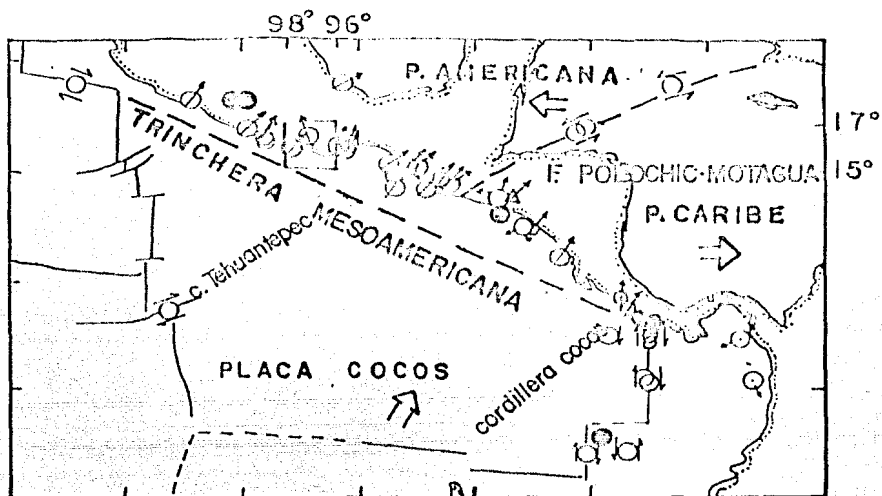


Fig. 1 Azimuts de los vectores de deslizamiento para la región de Mesoamérica. El sentido del movimiento para fallas de desplazamiento lateral, se representa por un par de flechas antiparalelas que rodean a un círculo abierto, para fallas inversas por una flecha a través de un círculo abierto y para fallas normales por círculos negros.

Se ilustra la subducción de la placa de cocos hacia el noroeste en México y Guatemala y el movimiento lateral derecho de la zona de fractura de Panamá.

(Modificado de Molnar y Sykes, 1969).



## ANTECEDENTES

Desde un punto de vista general, el terremoto de Oaxaca del 29 de noviembre de 1978 es de particular interés por el hecho de haber ocurrido dentro de un tramo de quietud sísmica previamente identificado por Kelleher (1973) en base a la historia sísmica del arco mesoamericano. Más tarde Ohtake y otros (1978) proponen la ocurrencia de un gran terremoto basados en un decrecimiento significativo de la sismicidad superficial en la región.

La región estudiada en este trabajo ha sido objeto de diversos estudios de mecanismo focal. Molnar y Sykes, (1969) muestran la subducción de la placa de cocos en el arco mesoamericano, encontrando además direcciones y velocidades entre las placas (fig. 1).

Jiménez, Z. (1977) y Jiménez, Z. y Ponce, L. (1977-78), estudian el mecanismo focal de seis grandes terremotos de profundidad intermedia al norte de Oaxaca para el período ubicado entre 1928 y 1973 encontrando para todos ellos solución de tipo de falla normal.

Dean y Drake (1978) por otro lado encontraron soluciones de falla normal para eventos superficiales localizados en el borde externo de la fosa, así como para eventos de profundidad intermedia al interior del continente; en cambio los eventos superficiales en el margen interno de la fosa y cerca de la costa presentan fallamiento inverso. Esto se ha observado en la mayoría de las zonas de subducción (Isacks y otros, 1968). Ade-

más encontraron mecanismos cuyas soluciones son del tipo de desplazamiento de rumbo presumiblemente asociadas con rupturas -- transversales en la placa que subduce (fig. 2).

Mota Palomino (1979) por otra parte en un estudio de la interacción de la placa de Cocos con la Americana para la zona costera de Oaxaca-Chiapas, estudiando algunos mecanismos focales, obtiene solución de falla de cobijadura con un ángulo de buzamiento congruente con el esquema geométrico que se tiene para la zona.

Stewart y Chael (1979) hallan una solución de fallamiento inverso con una inclinación de  $14^\circ$  para el mecanismo focal del temblor de Oaxaca, del 29 de noviembre de 1978 (fig. 3).

J. González (1979) Ponce y otros (1977-78) en un estudio de los sismos premonitores del temblor del 29 de noviembre de 1978, encontraron dos grupos con solución de mecanismo focal compuesto de tipo de falla normal, una con rumbo  $282^\circ\text{N}$  y la otra con rumbo  $177^\circ\text{N}$  (fig. 4); tales tendencias son congruentes con los lineamientos epicentrales de los premonitores.

Reyes y otros (1977-78) del estudio de los sismos réplicas del temblor del 29 de noviembre de 1978, con estaciones sísmológicas trabajando paralelamente a las empleadas en el presente trabajo, infieren una falla perpendicular al plano de subducción que presenta un mecanismo focal compuesto de tipo falla normal.

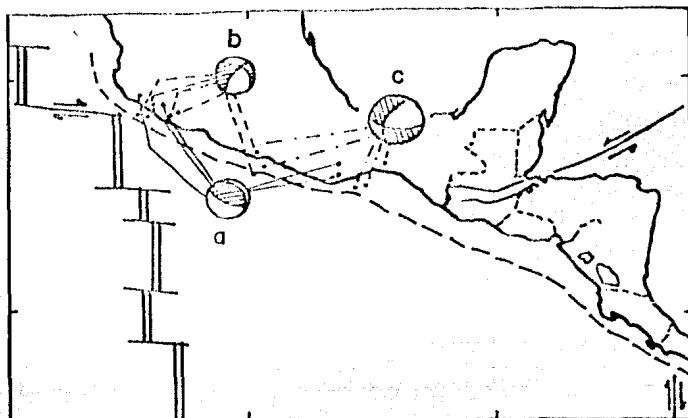


Fig. 2 Los Mecanismos determinados a lo largo del Arco Mesoamericano revelan a gran escala características típicas de una zona de subducción: a) solución de mecanismo focal inverso para terremotos superficiales en el margen interno de la fosa y cerca de la costa; b) fallamiento normal para eventos superficiales localizados en el borde externo de la fosa. c) Terremotos con solución de mecanismo focal de rumbo se su-  
man para la identificación de rompimientos transversales propuestos por diversos autores. Proyección estereográfica del hemisferio inferior. (Modificado de Dean y Drake, 1978).

29 NOV 1978

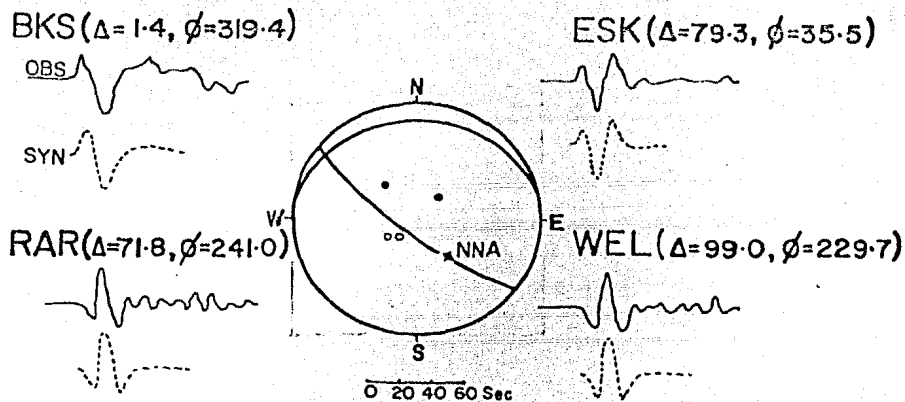
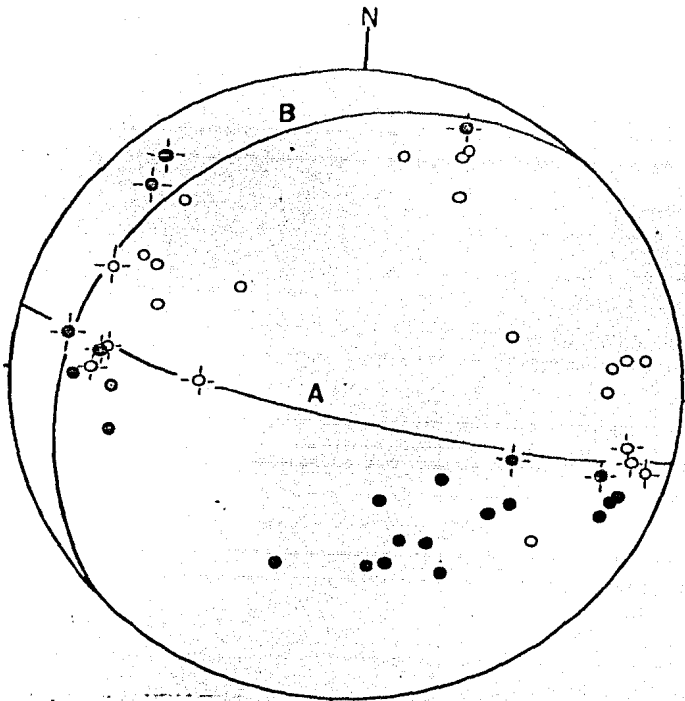


Fig. 3 Las Amplitudes de las ondas resultantes son dibujadas como función del Azimut, los datos se satisfacen mejor por un patron de radiación sintético para una falla inversa con movimiento lateral izquierdo ( $\phi = 270^\circ, \delta = 14^\circ, \lambda = + 54^\circ$ ) proyección estereográfica del hemisferio focal inferior. ● =compresión, ○ = dilatación. (Modificado de Stewart y Chael, 1979).



Solución del Mecanismo focal compuesto para los premonitores de la tendencia 1.

(Hemisferio Superior)

( $\phi = 282^\circ$ ,  $\delta = 80^\circ$ ,

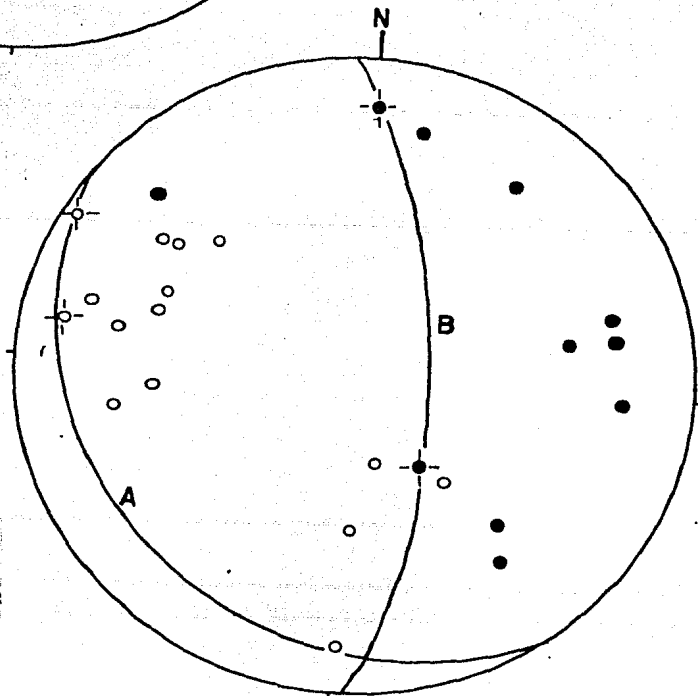
$\lambda = 72^\circ$ )

Solución del mecanismo focal compuesto para los premonitores de la tendencia II (hemisferio Superior) (● = compresión, ○ = dilatación).

( $\phi = 177^\circ$ ,  $\delta = 72^\circ$ ,

$\lambda = 78^\circ$ )

Fig. 4 (modificado de J. González, 1979).



## MECANISMO FOCAL

El estudio del mecanismo focal en Sismología tiene por fin tratar de determinar la orientación, buzamiento y deslizamiento del plano de falla que se considera dió origen al terremoto -- (Fig. 5). Estos parámetros se hallan íntimamente ligados a la liberación de energía elástica y a los procesos dinámicos de la generación de ondas sísmicas. El método consiste en comparar el campo de desplazamientos de las ondas elásticas producidas por un terremoto y observadas por medio de sismógrafos sobre la superficie de la tierra.

El proceso dinámico en el foco de un terremoto puede representarse matemáticamente por medio de una distribución de fuerzas que actúa sobre elementos de volumen en una región limitada por una superficie cerrada que representa la región focal.

Entre los modelos de combinaciones de fuerzas para representar el foco de un terremoto, dos modelos han tenido mayor -- aceptación entre los sismólogos. Estos son el par de fuerzas -- (Fig. 6a) y la superposición de dos pares de fuerzas de igual magnitud y momento en sentido opuesto (Fig. 6b).

Estos modelos han sido denominados por honda (1962) como sistema de fuerzas tipo I y tipo II respectivamente, para los cuales los patrones de radiación de amplitud y sentido del primer arribo, polaridad, de las ondas P y S (Fig. 6c,d,e,f) están dados por las siguientes fórmulas en coordenadas esféricas:

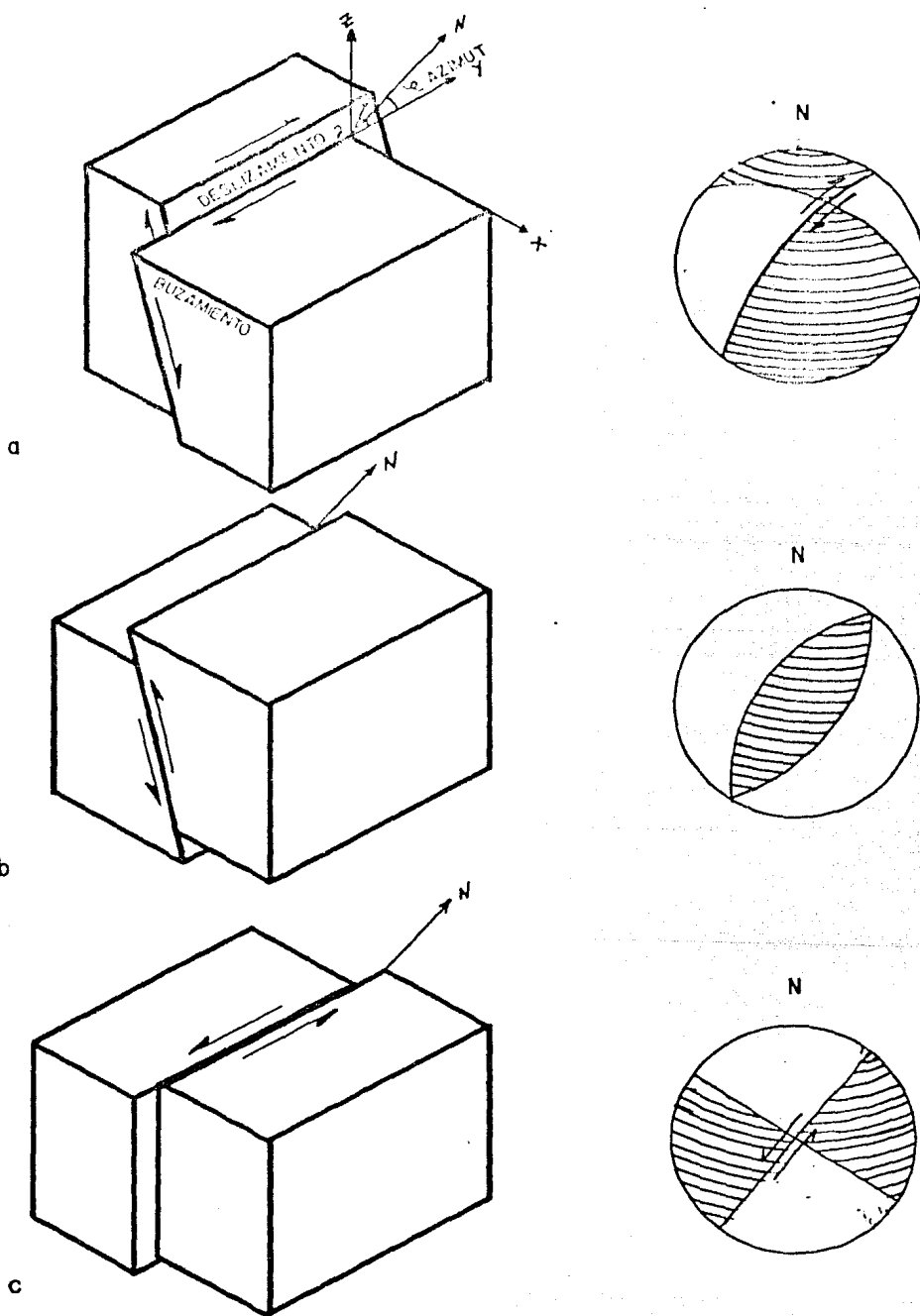
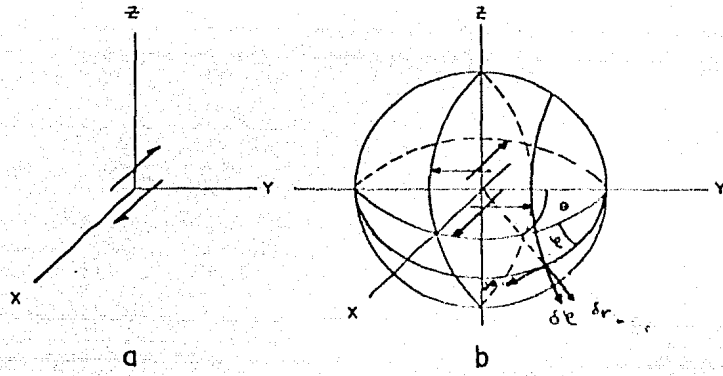


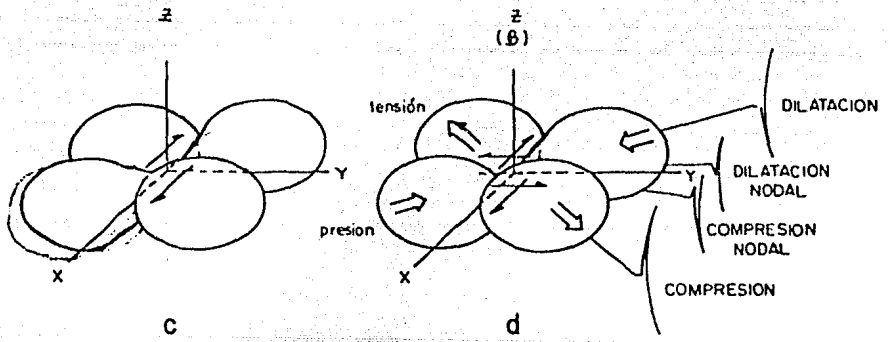
Fig. 5 Tipos de fallas y su representación estereográfica en un hemisferio focal superior. a) Falla normal con deslizamiento lateral derecho, b) Falla inversa c) Falla de desplazamiento lateral izquierdo.

TIPO I

TIPO II



PATRON DE RADIACION ONDA P



PATRON DE RADIACION ONDA S

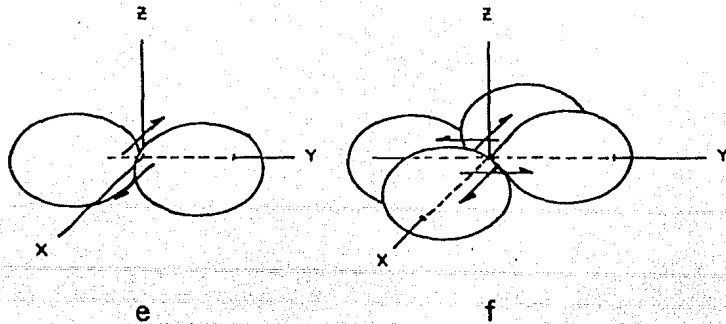


Fig. 6 Modelos de fuerzas y campo de radiación, el perímetro envolvente de los lóbulos representa la amplitud de las ondas.



## TIPO I

$$\delta_{PR} = 1/2 \text{ SEN } 2\theta \text{ COS } \varphi$$

$$\delta_{S\theta} = \text{COS}^2 \theta \text{ COS } \varphi$$

$$\delta_{S\varphi} = -\text{COS } \theta \text{ SEN } \varphi$$

## TIPO II

$$\delta_{PR} = \text{SEN } 2\theta \text{ COS } \varphi$$

$$\delta_{S\theta} = \text{COS } 2\theta \text{ COS } \varphi$$

$$\delta_{S\varphi} = \text{COS } \theta \text{ SEN } \varphi$$

En donde se supone una fuente impulsiva en función del tiempo. El ángulo  $\theta$  es medido con respecto al eje Y y el ángulo con respecto al eje X (Fig. 6b).

Los patrones de radiación (Fig. 6c,d,e,f) de los modelos del tipo I y II se dividen en cuatro cuadrantes, alrededor de la fuente, los cuales registran alternadamente compresión y dilatación. En este trabajo se usó el método de la polaridad de la onda P por ser clara y suficiente (Fig. 7a), con la siguiente convención: Cuando el primer arribo es hacia arriba en el sismograma de componente vertical se toma como compresión y cuando es hacia abajo como dilatación, convención normal (Fig. 6d y 7b).

Los cuadrantes son divididos por planos ortogonales llamados nodales, ya que a lo largo de estos la amplitud de la radiación de la onda P pasa por un mínimo. Esto se refleja en la pequeña amplitud del primer arribo para estaciones próximas a los planos nodales (Fig. 6d).

El eje formado por la intersección de los planos nodales es llamado eje nulo (N). Los ejes que bisectan los cuadrantes de dilataciones y compresiones son los ejes de presión (P) y tensión (T) respectivamente (Fig. 6b), los cuales corresponderán a los ejes de los esfuerzos principales en la región.

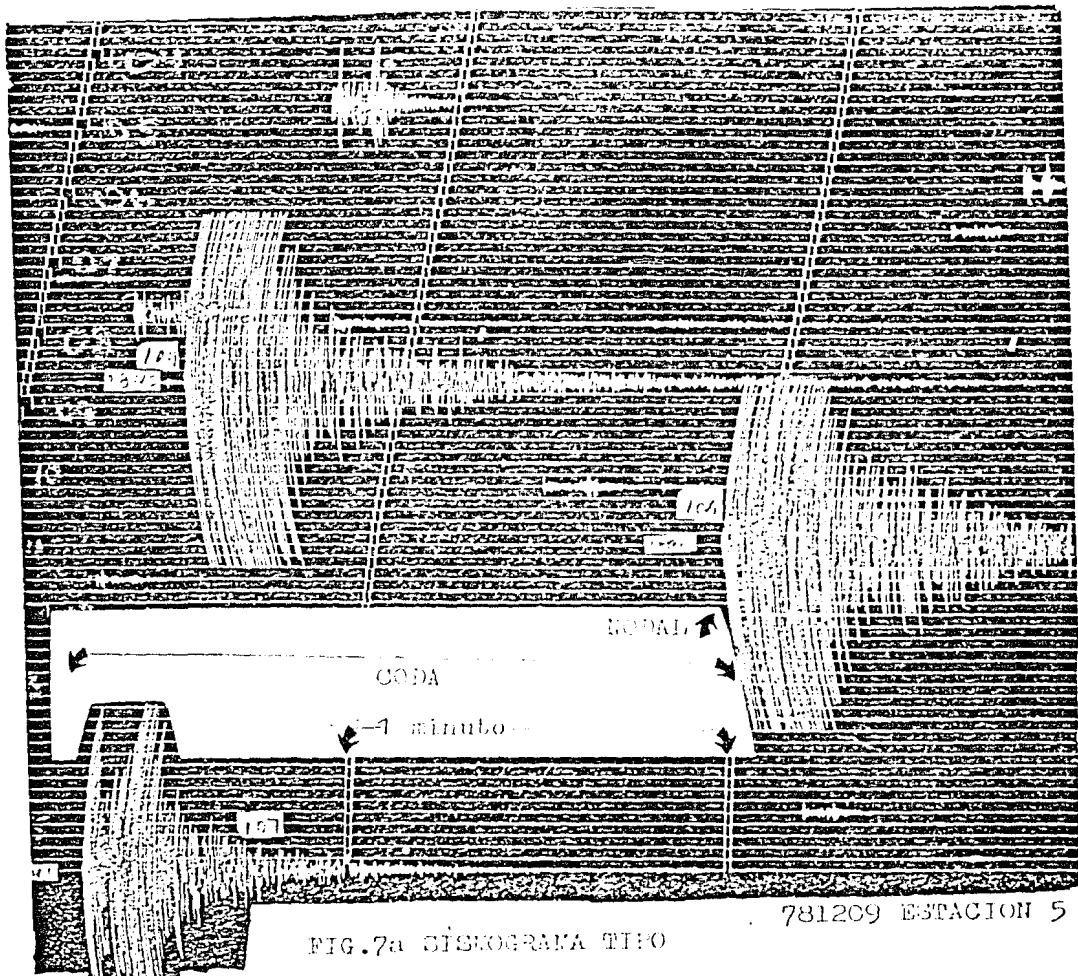


Fig. 7b Foco (F), Esfera Focal, Epicentro (E) Prof. (H), Distancia (D) :  
 Rayo Sísmico, Angulo de Incidencia ( $I_s$ ), Est. AS, Est. Proy (S')  
 Compresión (C), Dilatación (D).

Un concepto muy útil en el estudio del mecanismo de los terremotos es el de esfera focal. Esta es una esfera hipotética de radio unidad que se sitúa alrededor del punto que representa el foco del terremoto. Las estaciones (S) son referidas a la intersección (S') de la superficie de la esfera focal con el rayo sísmico considerado que emerge del foco y llega a la estación (Fig. 7b). Con esto se simplifica grandemente el análisis, la curvatura del rayo debida a la distribución de velocidades en la Tierra desaparece y el problema se reduce al de un medio homogéneo e infinito.

En casos como el que nos ocupa la alta densidad de eventos asociados a un evento principal o a un sistema de fallas pueden agruparse mediante criterios adecuados a cada caso, de manera - que cada grupo se pueda obtener una solución del mecanismo focal la cual se llama compuesta (Aki, 1966).

El método de los mecanismos focales lleva implícito una ambigüedad, respecto a que cualquiera de los dos planos nodales -- puede ser el plano de falla real y el otro será llamado auxiliar. Por lo tanto es importante la información geológica y tectónica para hacer la selección del plano de falla.

## METODO

A principios de noviembre de 1978, con el fin de estudiar mas a fondo el tramo de quietud sísmica de Oaxaca (Ohtake y otros, 1977), el instituto de geofísica de la UNAM instaló una red local de seis sismógrafos portátiles (Spregnether Meq800, instruction manual, 1976) en Oaxaca. Posteriormente, el 29 de noviembre ocurrió un temblor de magnitud  $M_S = 7.8$  y epicentro a  $15^{\circ}46'$  Lat N,  $96^{\circ}48'$  long W (Ponce y otros, 1977-78), quedando registrados del 8 al 29 noviembre de 1978, los pequeños temblores precursoros al evento principal. Después de este importante evento el número de estaciones se incrementó a 14 para registrar la actividad sísmica posterior o réplicas hasta el 17 de diciembre de 1978.

En el apéndice A se encuentran las coordenadas de las estaciones instaladas y utilizadas en este trabajo. También se utilizaron algunas estaciones de la red nacional y mundial en los casos que fue posible para localización de eventos y lectura de polaridades.

## INTERPRETACION DE SISMOGRAMAS

Para la realización de este trabajo se analizaron los sismogramas correspondientes a los días 1 al 12 de diciembre inclusive, ya que durante este período las 14 estaciones se hallaban bajo las mismas condiciones de filtraje lo cual hace homogénea la muestra.

Para obtener registros legibles de acuerdo a las condiciones de ruido de fondo imperantes en la región, se ensayaron diferentes ventanas de filtraje, obteniendo buenos registros para eventos cuya frecuencia esta entre los 5 y 10 Hz (Fig. 8).

De los sismogramas seleccionados se leyeron los tiempos de arribo para las ondas P y S, la duración del evento (coda) y polaridad de la onda P.

Las lecturas de los tiempos de arribo de la onda P fueron hechas con una precisión de alrededor de 0.25 seg. haciendo correcciones debidas a la deriva de cada registrador del orden de 0.03 seg. por día.

La duración del evento (coda) se consideró desde donde empieza a registrarse el mismo hasta que la señal se confunde con el ruido. (Fig. 7).

Los primeros arribos impulsivos de P fueron lo suficientemente claros para definir su carácter compresional o dilatacional, los de pequeña amplitud relativa, se consideraron de carácter nodal y se observaron algunos asociados a onda P refractada (Pn). (Fig. 7).

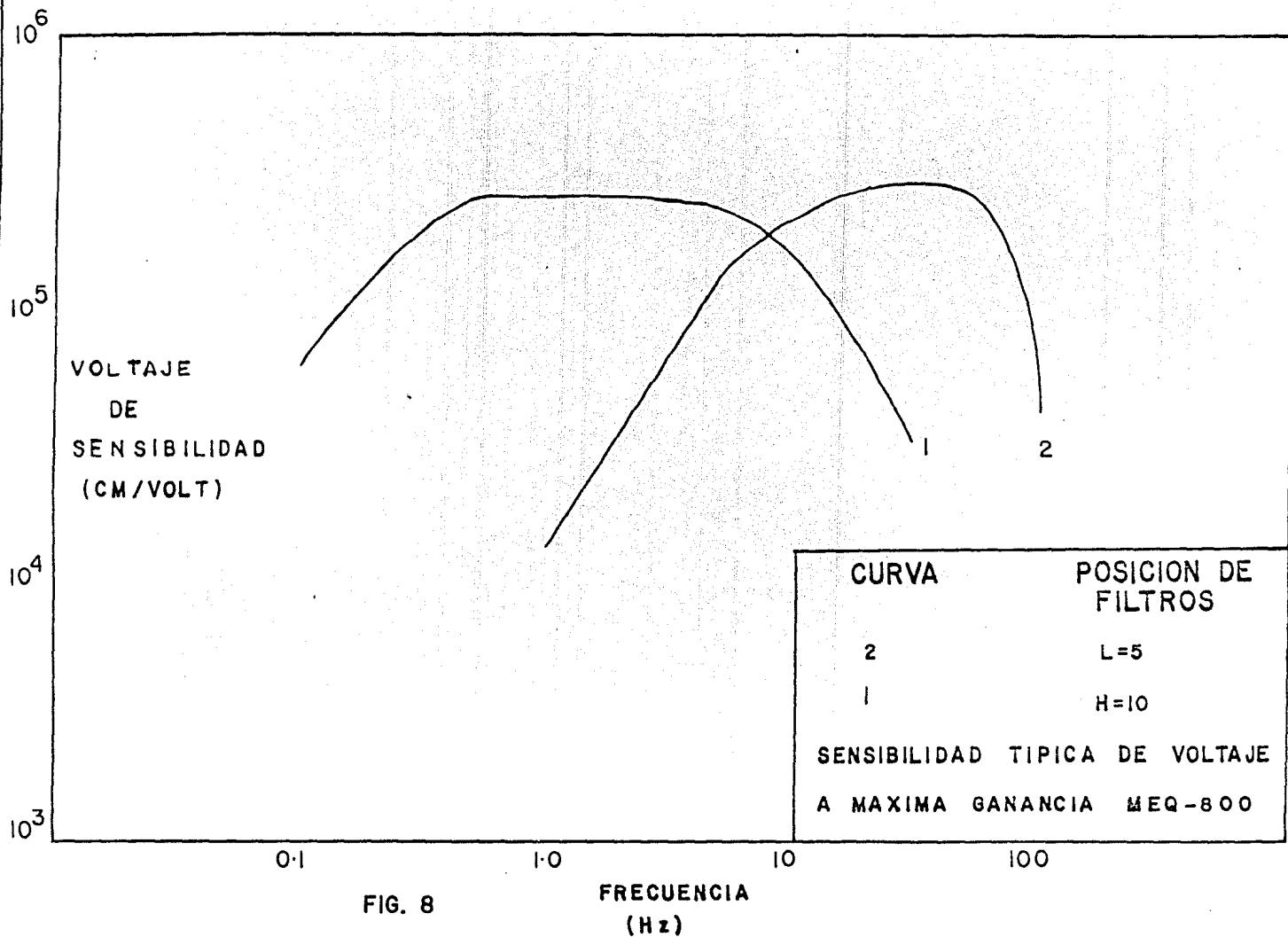


FIG. 8

## LOCALIZACION HIPOCENTRAL

Por el caracter local de la información, la localización hipocentral y la determinación de magnitudes se llevó a cabo con el programa Hypo 71 (Lee y Lahr, 1975), en fortran IV que consiste en una rutina principal y 17 subrutinas que trabaja en base a la siguiente información:

Modelo de capas planas de la estructura de la corteza y manto.

Información de los tiempos de arribo de las ondas P y S de cada estación.

Duración del evento (Coda).

El modelo de capas utilizado es el siguiente (Ponce y otros, 1977-78)

CAPA	VEL.P	PROF.
1	4.4.KM/Seg.	5.0 KM
2	5.6 "	12.0
3	6.4 "	22.0
4	8.2 "	Mayor a 22.0

Con una relación de velocidades VP/VS = 1.78

El programa Hypo 71 realiza la localización hipocentral con el método iterativo de Geiger (Geiger 1912; Manual del Hypo 71 revisado, 1975, pag. 45-47), basado en los tiempos de arribo observados y los tiempos de arribo computados a partir de una solución de ensayo.

Los máximos errores tolerados en la localización fueron:

Epicentral ERH=3KM

Profundidad ERZ=3KM

RMS=0.25 Seg.

Todos los errores asociados con la lectura de los arribos de las ondas P y S son considerados dentro del error RMS.

Para calcular la magnitud de los eventos el programa usa la siguiente fórmula (Lee, Bennet, Meagher; 1972).

$$M(\tau) = a + b \text{ Log. } \tau + cA.$$

Con  $\tau$  = Duración del evento en segundos (Coda)

A = Distancia epicentral en kilómetros.

Los coeficientes son constantes que dependen de las características del instrumento registrador y de la región en estudio. Los coeficientes aquí utilizados fueron los calculados por L. González (1980), para el área de estudio.

En el apéndice B se enlistan los eventos localizados durante el período seleccionado y en el mapa (fig. 9) se muestra su localización.

#### PATRONES DE POLARIDADES

En los métodos y representaciones gráficas de las soluciones del mecanismo focal es muy conveniente utilizar una proyección estereográfica de los hemisferios de la esfera focal; usando dicha representación pueden identificarse fácilmente los principales tipos de fallas (Fig. 5).

Debido a la cercanía de las estaciones a los focos de los terremotos, las trayectorias de los rayos, emitidos por éstos, cortan en su mayoría el hemisferio superior de la esfera focal (Fig. 6b), motivo por el cual se utilizó una representación de dicho hemisferio.

Se graficaron las polaridades observadas en una red de



igual área o de Schmidt. Por ser mas conveniente debido a que ésta conserva la relación de áreas sobre la esfera focal, y por lo tanto no concentra en el centro de la red los puntos graficados para ángulos de salida pequeños, como es nuestro caso, por disponer de una red local. Para graficar las estaciones con su respectiva polaridad (C= Compresión, D= dilatación) se necesitan conocer dos parametros con respecto al foco del temblor. El azimut epicentro-Estación (Az) obtenido de las salidas de la computadora y el ángulo de salida (Is) o ángulo emergente del rayo (Fig. 6b).

El ángulo de salida Is se obtuvo según el caso, si el primer arribo corresponde a una onda directa (Pg) y considerando la trayectoria del rayo como recta, tenemos:

$\tan Is = D/H$  entonces  $Is = \arctan (D/H)$  donde D y H son A= distancia y H= profundidad y se obtienen de la salida del programa Hypo 71.

Para el caso en que el primer arribo sea de una onda refractada detectada por una estación local el ángulo de salida es constante y corresponde al ángulo crítico para el cual se tiene refracción total en la discontinuidad de Mohorovicic.

Para las estaciones de la red mundial (reportadas en el International Sismological Center Bulletin. (ISC) dispuestas a distancias mayores a  $20^\circ$  (2220 Km), el ángulo de salida se buscó en las tablas de Hoang-trong Pho y L. Behe (1972) en función de la distancia epicentral y de la profundidad de foco.

Una vez obtenidas las parejas (Az , Is) para cada estación, se graficaron en la red de Schmidt obteniéndose un patrón de com

presiones y dilataciones para cada evento seleccionado.

Las polaridades observadas en las diferentes estaciones se graficaron en un papel transparente puesto sobre la red de Schmidt, tomando como origen el hipocentro, en el centro de la red.

Como se graficó en el hemisferio superior en el caso de los rayos procedentes del hemisferio inferior se proyectaron al hemisferio superior mediante la siguiente conversión ( $Az_{inf} + 180^\circ$ ,  $180^\circ - Is_{inf}$ ).

Obtenidos los patrones de dilataciones y compresiones, se separan estas regiones por medio de dos planos ortogonales entre sí. Esto se hizo girando el papel transparente en el cual están las polaridades, sobre la red de Schmidt, hasta encontrar un meridiano (o gran círculo) que haga esta separación. Este meridiano representa un plano nodal (donde la polaridad se anula) que pasa por el centro de la fuente. El polo de este plano, se localiza a  $90^\circ$  (escala de la red) del meridiano encontrado en la línea que une a este con el foco. Una vez hecho lo anterior se gira nuevamente el papel transparente sobre la red y se encuentra otro plano que pasando por el polo del primero también separe dilataciones de compresiones en forma de cuadrantes alternados (Fig. 6a). Se utiliza la condición de ortogonalidad de los planos nodales.

En este trabajo la selección de los planos nodales se facilitó por el carácter nodal de algunas polaridades. Se dice que el primer arribo tiene carácter nodal cuando su amplitud es relativamente pequeña.

De los planos nodales obtenidos, uno de ellos será el plano de falla en la dirección del desplazamiento y el otro el plano auxiliar.

## RESULTADOS

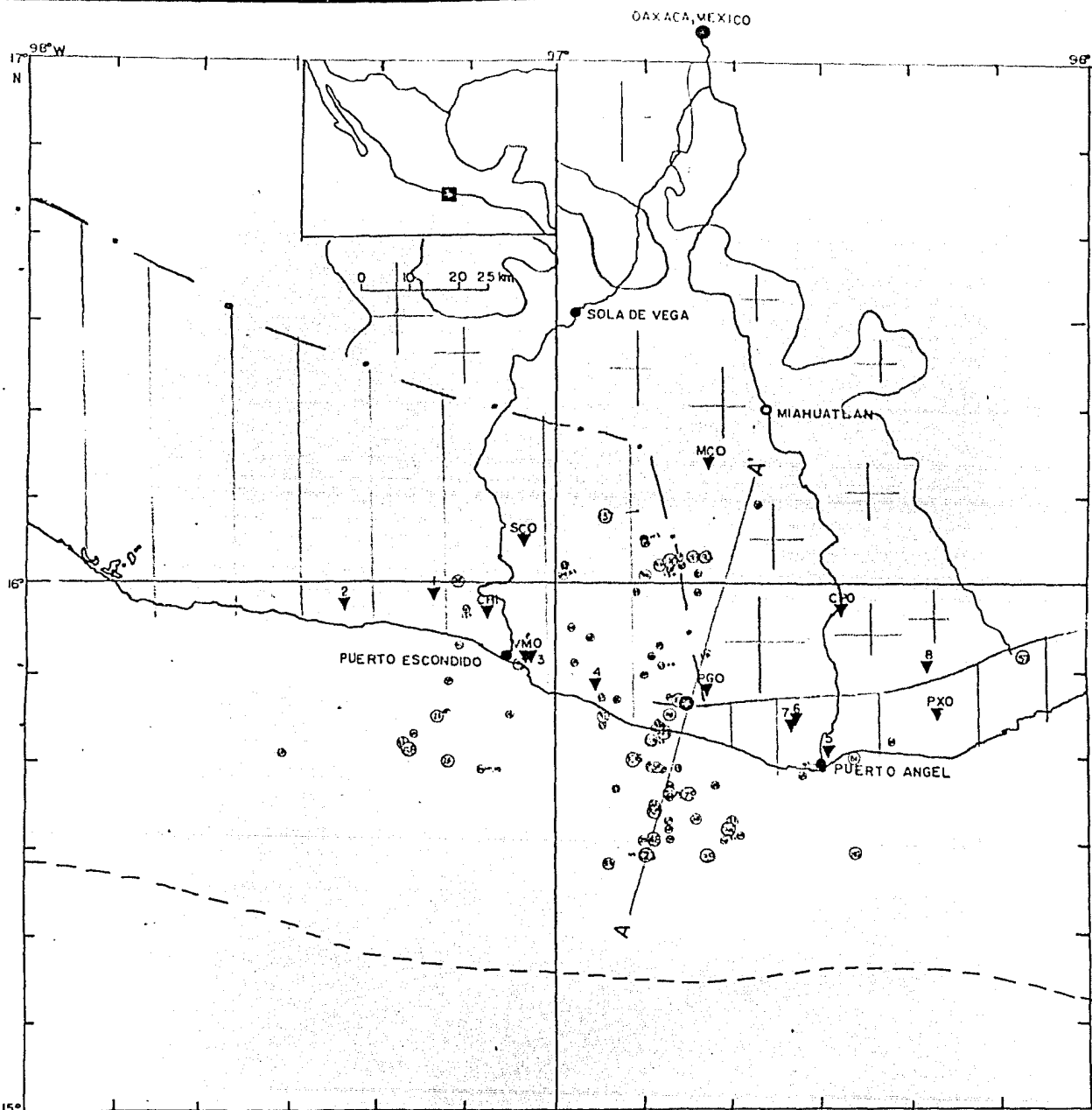
En el período seleccionado del 1 al 12 de diciembre de 1978 se localizaron aceptablemente un total de 88 réplicas (fig. 9) de magnitud  $M_L \geq 3$  de acuerdo al programa Hypo 71, los cuales aparecen enlistados en el apéndice B.



La actividad de magnitud mayor a 3.5 localizada en este trabajo se distribuye en la forma siguiente: 70% , al sur del evento principal; mientras que las réplicas cuya magnitud está entre 3 y 3.5 se distribuyen de manera uniforme al norte y al sur del evento principal.






A lo largo de la línea A A' se hizo un perfil de profundidades, el cual muestra que los hipocentros de las réplicas se encuentran principalmente entre los 10 y 25 Kms. de profundidad (fig. 10)

Los eventos se van haciendo más profundos hacia el continente teniendo las menores profundidades al estar próximos a la trinchera. Además los sismos localizados están muy próximos a la zona de Benioff propuesta para el área (ver antecedentes).

Para mayor control en la elaboración de los patrones de polaridades de cada evento se tomaron en cuenta aquellos que se registraron en un mínimo de 11 estaciones locales y el mínimo de polaridades leídas fuera de 9, quedan así los siguientes grupos de acuerdo a su magnitud.



 COMPLEJO XOLAPA  
 COMPLEJO OAXAQUEÑO  
 - - - TRINCHERA  
 — FALLA EXPUESTA  
 - · - FALLA INFERIDA

 EVENTO PRINCIPAL  
 ESTACION  
 ML > 4.0  
 4.0 ≥ ML > 3.5  
 3.5 ≥ ML > 3.0

A-A' SECCION DE PROFUNDIDAD

Fig.9 Localización Epicentral de las réplicas del 1-12 Dic.1978 ( ML 3.0)

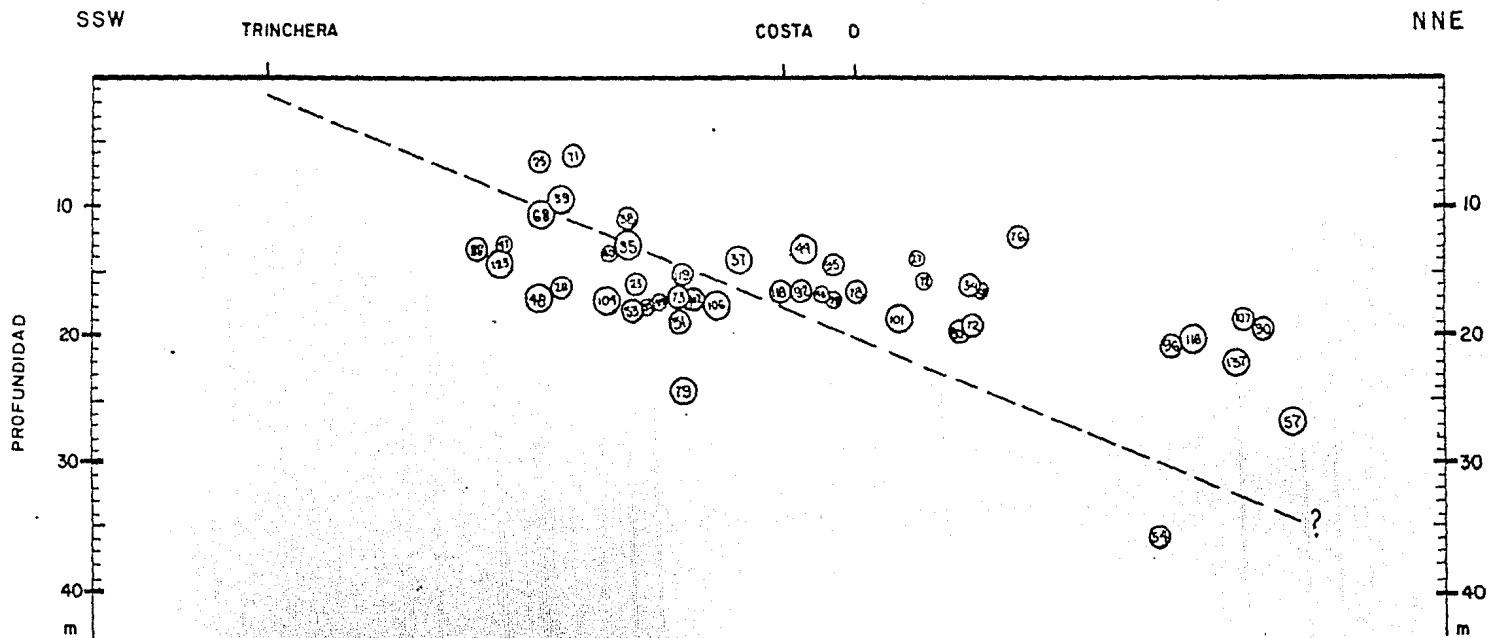


Fig. 10 Corte en profundidad A-A' en dirección aproximadamente perpendicular a la Trincheira Mesoamericana. Se muestran 35 hipocentros de eventos de  $M_L \geq 3.0$  significativos en este trabajo y su correlación con la zona de Benioff propuesta para el área.

Réplicas Mayores	$(M_L > 4)$	13 eventos
Medias	$(4 \geq M_L > 3.5)$	16 eventos
Menores	$(3.5 \geq M_L > 3)$	38 eventos

Sin embargo los patrones de polaridades correspondientes, no estaban confinando ningún plano tanto para mecanismo focal de cada evento, así como de mecanismo compuesto. Por esta razón se leyeron polaridades registradas en la red de Servicio Sismológico Nacional (SSN) y se incorporaron las reportadas en el (ISC). Esto fué posible tan solo para pocos eventos pero con esta información y el caracter Nodal de algunas polaridades observadas, la solución de mecanismo focal se obtuvo para los eventos 35,44,48,68,79,101,116,123,137 (fig. 11). El apéndice C contiene los patrones de polaridades encontradas así como los planos nodales para estos. Los datos de cada solución son como muestra la tabla 1 (Ruíz-Kitcher y Ponce; 1981).

Para evaluar las soluciones de mecanismo obtenidas definimos el porcentaje de consistencia como el total de polaridades leídas (100%) menos el porcentaje de polaridades inconsistentes a las predominantes en una zona. Todos los eventos con solución de mecanismo focal tienen consistencia igual o mayor al 80%. La fig. 11 presenta la localización epicentral de los eventos así como la solución de sus mecanismos focales. Las soluciones encontradas para estos eventos muestran entre ellas algunas similitudes en rumbo y tipo de falla, mas no se pudieron componer en un solo mecanismo.

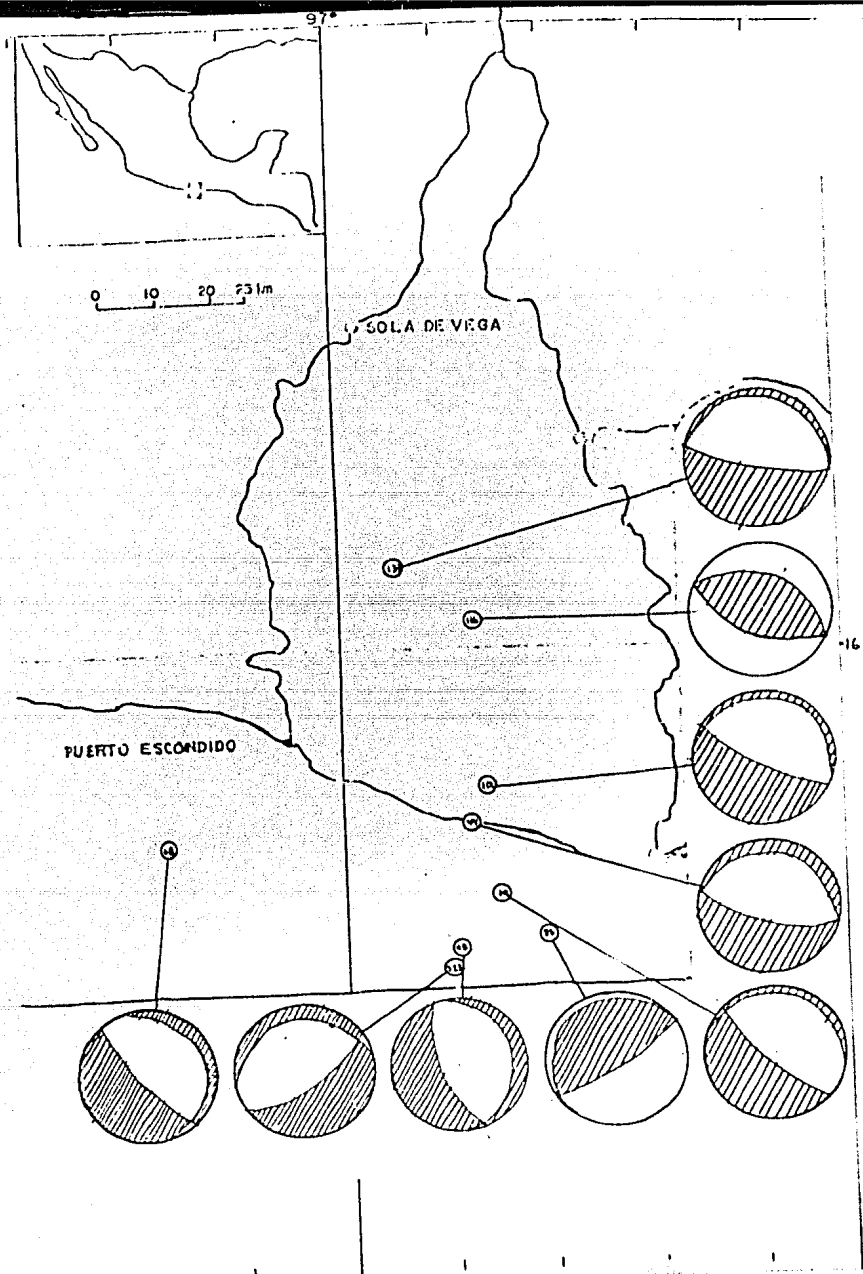


Fig. 11 Localización epicentral de las réplicas de  $M_L \geq 4.0$  para las cuales se obtuvo solución de mecanismo focal.



Evento Núm.	Plano Nodal A			Plano Nodal B			Tipo de Falla	Consistencia %
	Az ( $\varphi$ )	Bz ( $\delta$ )	Dz ( $\lambda$ )	Az ( $\varphi$ )	Bz ( $\delta$ )	Dz ( $\lambda$ )		
35	58	80	90	238	10	90	inversa	30
44	283	70	-90	103	20	-90	normal	100
48	343	70	-85	176	20	-102	normal	86
68	320	80	-85	163	12	-112	normal	94
79	316	78	-96	110	12	-62	normal	92
101	300	80	-92	112	10	-81	normal	87
116	114	50	90	294	40	90	inversa	100
123	240	75	-84	80	16	-89	normal	100
137	282	80	-90	102	10	-90	normal	92

Tabla 1.

El rumbo preferencial es aproximadamente paralelo a la Trinchera excepto para dos réplicas con rumbo NEN y el tipo de fallamiento dominante es normal.

Basándose en los mecanismos obtenidos y con los patrones de polaridad restantes, de aquellos eventos que no tuvieron solución individual, se intentó formar grupos que pudieran tener solución de mecanismo focal compuesto, para este fin, se trató de encontrar una relación entre las amplitudes de las ondas P y S para poder aplicar el método propuesto por Chin y otros, (1978). Sin embargo no fué posible medir una cantidad suficiente de amplitudes por problemas de saturación y definición de los arribos P y S.

Por otra parte, un método estadístico para delimitar áreas con eventos del mismo mecanismo focal (Mendiguren, 1980) no tuvo éxito, probablemente debido al bajo número de eventos.

Otros criterios usados para hallar mecanismos focales compuestos fueron:

- a) Réplicas con distribución de polaridades similar a los eventos con solución de mecanismo focal ya determinada.
- b) Localización epicentral cercana
- c) Ocurrencia próxima en el tiempo
- d) Agrupamiento en un mismo lineamiento observado en el perfil de profundidad A-A' , fig. 10.

Para estos criterios tampoco se obtuvieron mecanismos satisfactorios debido a que si bien podían agruparse eventos en un mecanismo compuesto, existían polaridades, incluyendo nota-

les, dentro del mismo grupo que no se ajustaban a una solución dada. Adicionalmente la solución que se encontraba para cada grupo tenía gran diferencia con aquella obtenida individualmente para los eventos mayores incluidos en el grupo.

Pudiera ser que al tomar individualmente cada uno de los criterios anteriores la diferencia con los otros fuera importante. Es decir por ejemplo para eventos cercanos espacialmente la diferencia en ocurrencia temporal podría ser considerable e incluiría probablemente cambios en los patrones de esfuerzos. Asimismo para eventos con ocurrencia temporal cercana, su localización espacial, no necesariamente cercana, comprendería diferencias en estructuras geológicas, capas o tectónica.

Finalmente combinando los siguientes criterios: eventos con ocurrencia temporal próxima, localización hipocentral cercana y basados en los eventos mayores con solución de mecanismo focal. Se formaron grupos para los cuales se pudieron obtener planos nodales que separan dilataciones de compresiones de forma satisfactoria incluyendo aquellas de carácter nodal. Los grupos de eventos para los cuales se obtuvo solución de mecanismo focal compuesto son los siguientes:

I = 35,37,38,39,40; II = 44,46; III = 47,48,53; IV = 73,79,99; V = 76,78,98,101. (fig. 12). El apéndice C contiene los patrones de polaridades encontrados así como los planos nodales para estos. Los datos de cada solución son como muestra la tabla 2 (Ruíz-Kitcher y Ponce 1981).

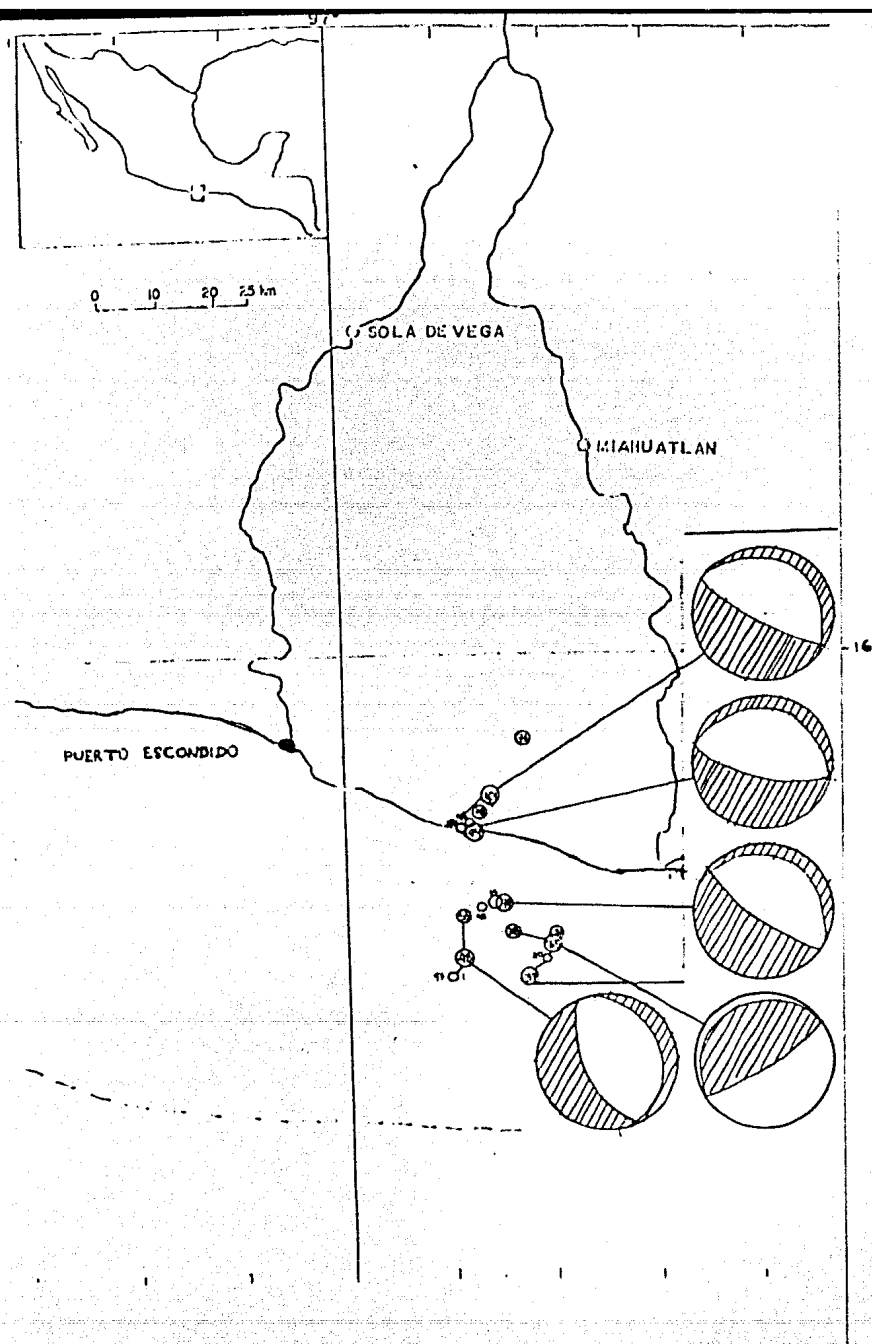


Fig. 12 Localización epicentral de los grupos de réplicas para los cuales se obtuvo solución de mecanismo focal compuesto.

Grupo	Evento Núm.	Plano A <sub>Z</sub>	Nodal B <sub>Z</sub>	A D <sub>Z</sub>	Plano A <sub>Z</sub>	Nodal B <sub>Z</sub>	B D <sub>Z</sub>	Tipo de Falla	Consisten cia %
I	35	56	80	90	236	10	90	inversa	71
	37								80
	38								80
	39								82
	40								89
II	44	284	70	-90	104	20	-90	normal	100
	46								86
III	47	334	70	-81	178	22	-104	normal	90
	48								86
	53								64
IV	73								100
	79	310	88	-94	104	12	-64	normal	100
	99								75
V	76								100
	78	296	80	-87	132	10	-107	normal	100
	98								92
	101								84

Tabla 2

Las soluciones de mecanismo focal compuesto encontradas apoyan la solución de mecanismo individual de los eventos mayores involucrados en dichos grupos, así como la orientación y tipo de fallamiento en dichas soluciones, además sus valores de consistencia son mayores o iguales a 80% para casi todos. La fig. 12 presenta la localización epicentral de los eventos así como la solución de sus mecanismos focales compuestos.

## DISCUSION E INTERPRETACION

La mayoría de las soluciones de mecanismo focal son de tipo de falla normal, como se observa en la fig. 13 y la selección del plano de falla se fundamentó en el hecho de que generalmente para este tipo de falla se observa que el plano de falla es el mas cercano a la vertical, además de que el plano de falla auxiliar implicaría un modelo físico que tendría un deslizamiento en un plano de muy poca pendiente, lo cual no se ha observado.

En las tablas de datos de los mecanismos obtenidos el plano nodal "A" es el más cercano a la vertical.

Las soluciones individuales para los eventos 68,44,101 y los compuestos para los grupos II = 44,46; V = 76,78,98,101; fig. 13, podrían asociarse a la placa americana y en su conjunto dan idea de un rompimiento en bloques en forma escalonada. De igual manera las soluciones para los eventos 123,48,79 y los grupos III = 47,48,53 y IV = 73,79,99 podrían asociarse a la placa que subduce, lo cual da un fallamiento escalonado.

Para las soluciones de tipo de falla inverso, eventos 35 116 y grupo I = 35,37,38,39,40; la selección del plano de falla se basó en que generalmente en este tipo de fallas se observa que ocurren a lo largo del plano próximo a la vertical, resultando en nuestro caso congruente con la tectónica del lugar.

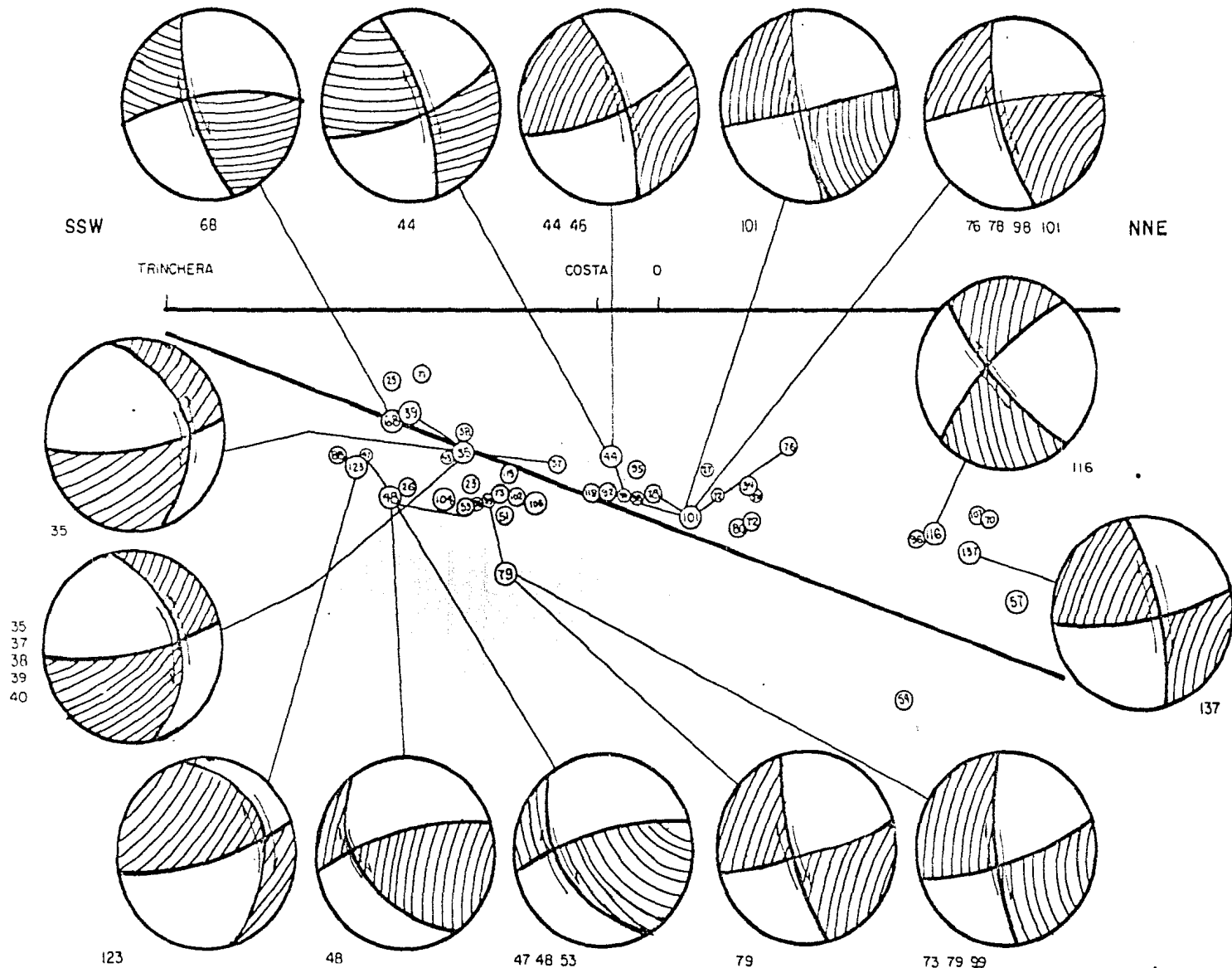


Fig. 13 Ubicación hipocentral de las réplicas para las cuales se obtuvo solución de mecanismo focal.



El evento 35 y el grupo I por tener solución de mecanismo focal inverso y estar cercanos a la ocurrencia del evento principal podrían ser resultado del remanente de los esfuerzos de compresión que causaron éste. Aunque el tipo de falla es el mismo (inverso) el ángulo de buzamiento para dichos eventos es mayor, lo cual sugiere que el fallamiento no ocurrió sobre la falla relacionada al evento principal, sino que está relacionada a fallas asociadas a esta.

Al tomar en forma conjunta los eventos 116 y 137 de magnitud similar, las soluciones de éstos parecen ser conjugadas lo cual podría deberse a un relajamiento tensional posterior a la ocurrencia del evento 116.

De acuerdo con la idea prevaleciente de que a un evento de magnitud mayor siguen réplicas débiles a fallas asociadas al primero, el análisis de nuestros datos está de acuerdo a la mecánica de la ruptura como consecuencia de la subducción y nos da una idea del proceso como ocurre, esto es, un evento principal debido a esfuerzos de compresión con tipo de falla de cobijadura, asociada a la zona de Benioff y el posterior relajamiento de esfuerzos tensionales que provoca un desplome en bloques de las fallas asociadas a la falla principal.

La figura 14 representa las soluciones de mecanismos focales obtenidas a lo largo del perfil A-A', con la orientación de los planos de falla correspondientes y las flechas indican el tipo de movimiento a lo largo de estos planos; las líneas

SSW

NNE

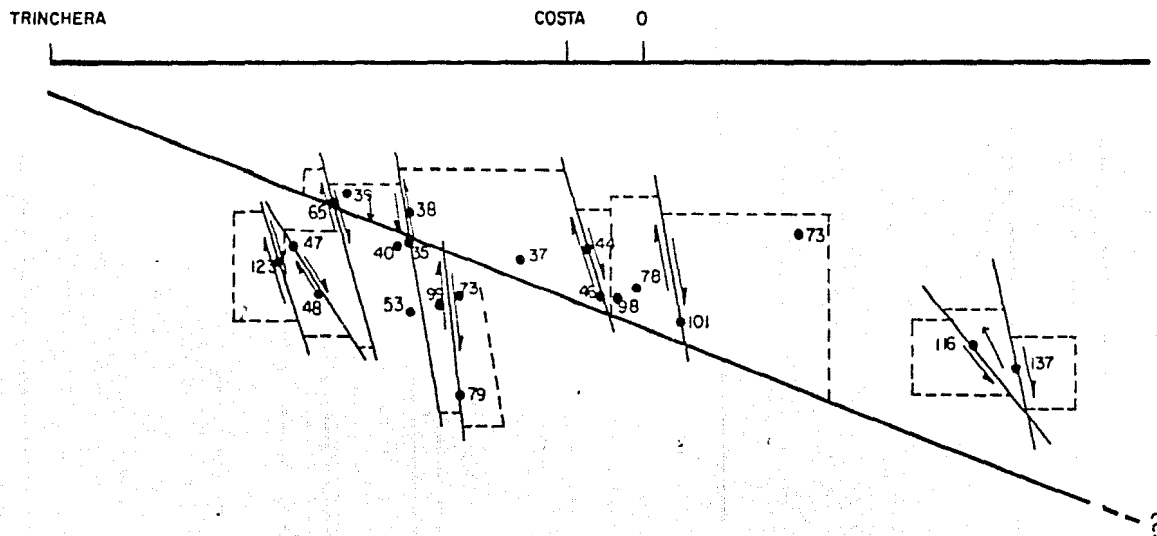


Fig. 14 Representación en bloques de las soluciones de mecanismo focal obtenidas para las réplicas numeradas y su relación con la zona de Benioff.

punteadas encierran a los eventos involucrados en cada solución.

Analizando estos resultados en el contexto de los mecanismos asociados a la actividad premonitora, evento principal y réplicas, encontrados por otros autores (ver antecedentes). Los premonitores y su mecanismo nos parecen indicar que la actividad se inició con una liberación de esfuerzos debido al desequilibrio de tensiones que probablemente ayudaron al disparo del evento principal, que presenta un mecanismo focal de falla de cobijadura asociada a la subducción.

Mientras que las réplicas analizadas en este trabajo indican por una parte el reajuste de tensiones asociado a la placa oceánica, que podría ser un indicio del reajuste debido al avance de la subducción y por otra parte un grupo de eventos asociados al reajuste de tensiones en la placa continental. Reyes y otros (1977-78, ver antecedentes) obtienen una falla que se puede considerar conjugada a la asociada al evento principal partiendo de una muestra de réplicas, en cambio en este trabajo reportamos un análisis del detalle del mecanismo de --reajuste de las tensiones en la zona focal que produjeron falla miento en bloques escalonados.

Se observó en los resultados, que un mayor número de eventos ocurren al sur del evento principal, esto es próximos a la Trinchera, lo cual es reflejo probablemente de la liberación de esfuerzos debido a la interacción de las placas.

Estudios de premonitores y réplicas a distintos períodos de tiempo han sido realizados por otros autores: Ponce y otros (1977-78), Havskov y otros (1977-78), Singh y otros (1977-78),

Reyes y otros (1977-78), Nuñez y otros (1977-78), encontrando resultados similares.

Las profundidades de los eventos localizados y el que éstas aparentemente aumenten hacia el interior del continente concuerdan con la idea de la existencia e inclinación de la zona de Benioff propuesta para el área y parecen delinearla.

Este resultado está de acuerdo a lo encontrado por Ponce y otros (1977-78) para los premonitores, Reyes y otros (1977-78), Nuñez y otros (1977-78) para las réplicas y de manera general ya descrito por Molnar y Sykes (1969) en su trabajo pionero.

Además como se vió en la figura 9 los epicentros fueron localizados en la zona sobre el contacto tectónico del complejo Xolapa una secuencia metamórfica de posible edad mesozoica (de Cserna, 1965) y el complejo Oaxaqueño, secuencia metamórfica del precámbrico (Ortega-Gutiérrez, 1978). Durante el cretácico el complejo Xolapa cabalgó al complejo Oaxaqueño -- (Ortega Gutiérrez 1978). Existen complicaciones estructurales importantes ya que la zona está formada por varios bloques -- cratónicos de diferente origen y edad.

## CONCLUSIONES

A partir de las soluciones de mecanismo focal obtenidas tenemos una idea de la forma en que ocurre el reajuste de tensiones posterior a la ocurrencia de un terremoto principal debido a esfuerzos de compresión con tipo de falla de cobijadura, en una zona de interacción frontal de dos placas. Este reajuste de esfuerzos tensionales provoca rompimiento en bloques: en forma escalonada a lo largo de la zona de Benioff. De la comparación de estos resultados con los obtenidos por otros autores se puede pensar que la forma de ocurrencia que se describió en la parte de resultados es confiable y nos da una idea de cómo ocurrió la actividad posterior al evento principal.

Visto desde el ángulo de ocurrencia de la actividad los resultados obtenidos coinciden con lo ya observado, esto es, los resultados muestran que un mayor número de eventos ocurren al sur del evento principal, o sea próximos a la Trinchera. Las profundidades focales de los eventos y la inclinación de los planos nodales concuerdan con la zona de Benioff propuesta para el área.

## RECONOCIMIENTOS

Quisiera expresar mi agradecimiento a las siguientes personas:

Dr. Lautano Ponce Mori, director de ésta tesis, Dr. Reynaldo Mota Palomino, Dr. Jaime Yamamoto Victorio, Fis. Zenón Jiménez Jiménez, Fis. Luis Quintanar Robles, por su revisión, crítica y valiosas recomendaciones.

M. en C. AnaLillian Martin del Pozzo, Dr. José Antonio Canas, Dra. Karen Mc Nally, Dr. Alejandro Nava, Fis. Jorge -- Rivera Hernández, Dr. Reynaldo Mota, por sus consejos y observaciones durante el desarrollo de este trabajo.

Luis González y Mary French por su ayuda en la localización de los sismos aquí utilizados.

Srita Leticia Ruiz Kitcher por mecanografiar el manuscrito.

A los compañeros y amigos del Instituto de Geofísica en especial al grupo del Serv. Sismológico Nal. y a los que colaboraron en el trabajo de campo.

## BIBLIOGRAFIA

- Aki, K. (1966)  
Earthquake generating stress in Japan for the years 1961 to 1963 obtained by smoothing the first motion radiation patterns.  
Bulletin of the earthquake research institute vol. 44 pp.447-471
- Chin, Y., Y. Chao, Y. Chen, C. Yen y Y. Cho (1976)  
A characteristic feature of the dislocation model of the foreshocks of the Haicheng earthquake liaoning province.  
Chinese Geophysics, 1,1, pp 55-65.
- Dean, B.W., Y Ch. L. Drake. (1978)  
Focal mechanism solutions and tectonics of the Middle America Arc.  
Journal of Geology, Vol. 86 pp. 111-128
- De Czerna, Z. (1965)  
Reconocimiento geológico de la Sierra Madre del Sur de México entre Chilpancingo y Acapulco, Estado de Guerrero.  
Instituto de Geología, UNAM, Boletín 72 pp 3-59
- González, R.J. (1979)  
Algunas características de los temblores ( $m > 4.0$ ) precedentes al terremoto ( $M_s = 7.8$ ) de Oaxaca del 29 de noviembre de 1978.  
Tesis Profesional, Fac. de Ciencias, UNAM.
- González R.L. (1980)  
Estudio de las réplicas (29 Nov. - 17 Dic., 1978 ( $M > 3.0$ ) del temblor de Oaxaca del 29 de noviembre de 1978. Calibración de magnitudes.  
Tesis Profesional, Fac. de Ciencias, UNAM
- Havskov, J., S.K. Singh y J.M. Espinosa (1977-78)  
Aftershocks in the first 32 hours following Oaxaca earthquake of 29 november, 1978, determined from sismex network.  
Geofísica Internacional, Vol. 17 No. 3, pp. 327-334.
- Hoang-Trong Pho. y L. Behe (1972)  
Extended distances and angles of incidence of P Waves.  
Bull. Seism. Soc. Am. Vol. 62 No.4 pp.885-902.
- Hodgson J.H. y J.F. Allen. (1954)  
Tables of extended distances for PKP y PCP  
Bull. Dom. Obs. Ottawa Vol. 16 pp. 329-348.
- Honda, H. (1962)  
Earthquake mechanism and seismic waves.  
Journal of Physics of the earth, Vol. 10; No. 2, pp 1-97

Isacks, B.J. Oliver y L.R. Sykes (1968)  
Seismology and the new global tectonics  
Journal Geophysical research Vol. 73 No.16 pp. 5855-5899

Jiménez, J.Z. (1977)  
Mecanismo focal de siete temblores (Mb 5.5) ocurridos en la  
región de Orizaba, México. En el periodo de 1928-1973.  
Tesis Profesional, Fac. de Ciencias, UNAM.

Jiménez, J.Z. y L. Ponce (1977-78)  
Focal mechanism of six large earthquakes in northern Oaxaca,  
México, for the period 1928-1973.  
Geofísica Internacional, Vol. 17; No.3 pp. 379-386.

Kelleher, J., L. Sykes y J. Oliver (1973)  
Possible criteria for predicting earthquake locations and their  
application to major plate boundaries of the Pacific and the  
Caribbean.  
Journal of Geophysical research, Vol. 78, No. 14. pp 2547-2584

Lee, W.H.K. y J.C. Lahr (1975)  
Hypo 71 (revised): A computer program for determining Hypocenter  
magnitude and first motion pattern of local earthquake.  
U.S. geological survey open-file report 75-3111, pp. 1-113.

Lee, W.H.K., R.E. Bennett y K.L. Meagher (1972).  
A method of estimating magnitude of local earthquake from signal  
duration.  
U.S. geological survey open-file report, 1972-1710 pp. 1-28

Mendiguren, J.A. (1980)  
A procedure to resolve areas of different source mechanism when  
using the method of composite nodal plane solution.  
Bulletin of seismology society of America Vol. 70, No. 4, pp.985-  
998.

Molnar, P. y L.R. Sykes (1969)  
Tectonics of the Caribbean and middle America regions from focal  
mechanism and seismicity.  
Geol. Soc. of Am. Bull., Vol. 80 pp. 1639-1684.

Mota, P.R. (1979)  
Contribution a L'etude sismo tectonique du Mexique meridional  
Tesis Doctoral, Universidad de Paris.

Núñez-Cornú, F., L. Ponce, K. McNally y L. Quintanar (1977-78)  
Oaxaca, México, earthquake of November, 1978: a preliminary  
report on seismic activity for period 20 January-20 April 1979.  
Geofísica Internacional Vol.17, No.3 pp. 351-358.



Ohtake, M., T. Matumoto, y G.V. Latham, (1977)  
Seismicity Gap near Oaxaca, Southern Mexico as a probable precursor to a large earthquake.  
Pure and applied geophysics (Page OPH) Vol. 115 pp. 375-385

Ortega-Gutiérrez, F. (1981)  
Metamorphic belts of southern Mexico and their tectonic significance.  
Geofísica Internacional, Vol.20 No.3, pp 177-202.

Ponce, L., K.C. McNally., V. Sumin de Portilla, J. González, A. del Castillo, L. González, E. Chael y M. French (1977-78).  
Oaxaca, México, earthquake of 29 November 1978: A preliminary report on Spatio-Temporal pattern of preceding seismic activity and mainshock relocation.  
Geofísica Internacional, Vol.17, No.2 pp 109-126.

Reyes, A., J. González, I. Munguía, A. Nava, F. Vernon y J.N. Brune (1977-78)  
Locations of aftershocks of the Oaxaca earthquake using smoked paper recorders and digital event recorders.  
Geofísica Internacional, Vol.17, No.3 pp.335-340.

Ritsema, A.R. (1955)  
The fault plane technique and the mechanism in the focus of the Hindu Kush Earthquake.  
Indian Journal of Meteorology and Geophysics, Vol. 6 pp. 41-50

Ruíz-Kitcher R.E. y L. Ponce (1981)  
Mecanismo focal de las réplicas del temblor de Oaxaca, 29 de Noviembre de 1978, Ms = 7.8  
Memorias de la reunión 1981, Unión Geofísica Mexicana.

Singh S.K., J. Havskov, K.C. McNally, L. Ponce, T. Hearn y M. Vassiliou (1977-78)  
The Oaxaca, Mexico, earthquake of 29 November 1978: A preliminary report of aftershocks.  
Geofísica Internacional, Vol. 17, No. 3 pp. 335-340

Sprengnether Instruction Manual  
Model Meq-800-A  
San Luis Missouri 1976.

Stewart, G.S. y E.P. Chael (1977-78)  
Source mechanism of the November 29, 1978, Oaxaca, Mexico, earthquake a large simple event.  
Geofísica Internacional, Vol.17, No.3 pp. 287-293.

APENDICE A

ESTACION	LAT. N	LONG. W	ELEV.
CHI	15 56.02	97 07.64	60
CPO	15 56.51	96 27.47	445
MCO	16 13.99	96 43.00	1675
PGO	15 47.40	96 43.44	40
PXO	15 44.88	96 17.54	44
SCO	16 04.91	97 03.97	275
VMO	15 51.07	97 03.83	3
1	15 58.20	97 14.70	0
2	15 57.96	97 24.48	0
3	15 51.18	97 03.84	0
4	15 48.72	96 56.94	0
5	15 40.38	96 29.22	0
6	15 43.92	96 33.24	0
7	15 43.56	96 33.48	0
8	15 50.10	96 18.90	0

Las coordenadas geográficas se encontraron utilizando cartas topográficas de la Secretaría de la Defensa Nacional escala 1:100,000.

A P E N D I C E B

No.	TIEMPO ORIGEN	LATITUD N	LONGITUD W	PROFUN- DIDAD Km	MAG NITUD m <sub>l</sub>	NO.DE DATOS	RMS
23	1 DIC 04:08:02.3	15°45'	97°14'	17	3.5	12	0.20
24	1 DIC 05:08:39.6	15°50'	96°52'	7	2.9	9	0.35
25	1 DIC 06:01:10.5	15°32'	96°51'	7	3.7	10	0.16
26	1 DIC 09:30:45.1	15°41'	97°13'	17	3.6	10	0.24
27	1 DIC 16:32:23.9	15°51'	96°51'	15	3.4	10	0.22
28	1 DIC 18:44:45.8	15°50'	97°13'	11	3.3	14	0.47
29	1 DIC 20:09:57.0	15°47'	96°57'	13	2.9	18	0.41
30	1 DIC 21:07:46.1	16°09'	96°37'	14	3.3	16	0.34
31	1 DIC 22:31:57.7	16°06'	96°51'	23	3.0	18	0.19
32	1 DIC 23:51:16.7	15°47'	96°54'	17	3.0	19	0.34
33	2 DIC 01:18:50.7	16°04'	97°11'	18	2.7	12	0.23
34	2 DIC 01:58:45.6	16°02'	96°59'	17	3.8	12	0.35
35	2 DIC 03:24:15.3	15°32'	96°41'	13	4.8	20	0.35
36	2 DIC 03:25:13.4	15°31'	96°47'	19	3.1	10	1.13
37	2 DIC 03:28:39.9	15°34'	96°41'	14	3.5	14	0.37

A P E N D I C E B

38	2 DIC 03:55:45.8	15°34'	96°44'	12	4.0	9	0.15
39	2 DIC 05:36:01.7	15°29'	96°44'	10	4.7	18	0.30
40	2 DIC 06:14:54.9	15°32'	96°42'	14	3.5	15	0.28
41	2 DIC 10:36:44.4	16°03'	96°50'	21	2.7	16	0.31
42	2 DIC 11:58:39.3	15°46'	97°06'	17	3.1	15	0.32
43	2 DIC 17:09:35.4	15°54'	96°48'	17	3.1	17	0.30
44	2 DIC 20:27:36.2	15°44'	96°49'	13	4.0	13	0.40
45	2 DIC 23:10:23.4	16°02'	97°00'	18	3.4	15	0.29
46	2 DIC 23:19:23.5	15°44'	96°50'	17	3.0	13	0.39
47	2 DIC 23:28:25.1	15°30'	96°51'	14	3.1	15	0.20
48	2 DIC 23:34:24.1	15°32'	96°49'	17	4.0	18	0.28
49	3 DIC 01:22:39.6	16°04'	96°56'	28	3.0	18	0.25
50	3 DIC 03:51:18.1	15°54'	97°04'	11	3.2	14	0.29
51	3 DIC 04:37:36.6	15°37'	96°48'	19	3.8	13	0.25
52	3 DIC 04:45:59.4	15°45'	96°48'	16	3.0	14	0.26
53	3 DIC 09:02:15.0	15°36'	96°49'	18	3.8	14	0.24
54	3 DIC 10:33:32.5	16°00'	96°45'	36	3.6	20	0.39

A P E N D I C E B

55	3 DIC 13:48:41.5	15°37'	96°54'	18	3.2	15	0.28
56	3 DIC 22:19:44.1	15°40'	96°48'	14	3.1	16	0.38
57	4 DIC 01:09:41.9	15°52'	96°07'	27	4.4	19	0.30
58	4 DIC 03:31:16.5	15°52'	96°48'	17	3.3	16	0.31
59	4 DIC 09:26:43.2	15°31'	96°40'	11	3.3	15	0.26
60	4 DIC 10:34:51.4	15°38'	96°39'	16	3.9	17	0.36
61	4 DIC 10:53:03.0	15°53'	96°47'	19	3.0	19	0.31
62	4 DIC 14:41:14.4	16°02'	97°00'	17	3.2	19	0.29
63	4 DIC 15:59:19.8	15°43'	96°49'	17	3.3	17	0.23
64	4 DIC 17:59:50.7	15°38'	96°32'	12	3.2	15	0.33
65	4 DIC 21:07:17.9	15°32'	96°47'	13	3.1	18	0.24
66	4 DIC 22:59:32.3	16°04'	96°35'	24	2.7	14	0.13
67	5 DIC 05:10:16.4	15°57'	97°10'	17	3.1	17	0.33
68	5 DIC 06:32:26.2	15°43'	97°18'	11	4.2	21	0.26
69	5 DIC 06:39:57.4	15°43'	97°16'	10	3.1	14	0.21
70	5 DIC 08:25:26.9	15°52'	96°49'	16	3.3	17	0.29

A P E N D I C E B

71	5 DIC 08:59:44.6	15°43'	97°18'	7.0	4.0	19	0.25
72	5 DIC 11:55:44.4	16°00'	97.12'	20	4.0	21	0.32
73	5 DIC 13:01:29.8	15°37'	96°47'	17	3.9	22	0.29
74	5 DIC 13:02:26.2	15°37'	96°48'	16	3.4	14	0.29
75	5 DIC 13:40:00.7	15°47'	96°48'	16	3.0	18	0.26
76	5 DIC 14:15:27.4	15°52'	96°44'	12	4.0	20	0.36
77	5 DIC 18:10:39.1	15°45'	96°55'	17	3.3	19	0.25
78	5 DIC 19:21:32.1	15°45'	96°48'	18	4.0	16	0.22
79	5 DIC 23:41:32.7	15°36'	96°45'	24	4.2	17	0.46
80	5 DIC 23:46:39.2	15°55'	96°56'	20	3.4	18	0.40
81	6 DIC 02:24:24.9	15°41'	96°27'	13	3.6	15	0.27
82	6 DIC 04: 34:12.2	15°40'	96°32'	12	3.4	14	0.23
83	6 DIC 06:35:42.6	16°00'	96°52'	20	3.3	21	0.23
84	6 DIC 06:47:46.6	16°02'	96°47'	25	3.5	19	0.20
85	6 DIC 11:27:30.2	16°02'	96°44'	32	3.1	20	0.21
86	6 DIC 17:30:57.9	15°53'	96°48'	19	2.9	16	0.28

A P E N D I C E B

87	6 DIC 17:55:13.0	15°41'	96°59'	18	2.8	12	0.30
88	6 DIC 19:28:34.1	15°29'	96°55'	13	3.6	19	0.38
89	7 DIC 00:19:43.4	15°46'	97°13'	14	3.3	19	0.32
90	7 DIC 00:49:00.5	16°04'	96°43'	19	3.6	17	0.31
91	7 DIC 03:27:08.0	15°54'	97°11'	10	3.5	17	0.37
92	7 DIC 04:22:04.4	15°46'	96°56'	17	3.6	18	0.38
93	7 DIC 04:56:01.7	15°48'	96°55'	15	3.4	21	0.35
94	7 DIC 06:24:02.4	15°33'	96°41'	11	3.1	20	0.31
95	7 DIC 16:50:09.6	15°51'	97°05'	15	3.6	16	0.33
96	7 DIC 23:52:00.8	16°02'	96°50'	21	3.8	16	0.40
97	8 DIC 00:27:10.9	16°02'	96°48'	33	3.6	17	0.27
98	8 DIC 04:21:07.3	15°44'	96°48'	17	3.4	19	0.29
99	8 DIC 07:31:57.5	15°36'	96°48'	18	3.4	20	0.24
100	8 DIC 08:23:22.3	15°56'	96°59'	23	3.5	17	0.36
101	8 DIC 10:51:43.4	15°48'	96°47'	19	4.2	18	0.29
102	8 DIC 10:55:38.5	15°29'	96°27'	18	3.6	16	0.24

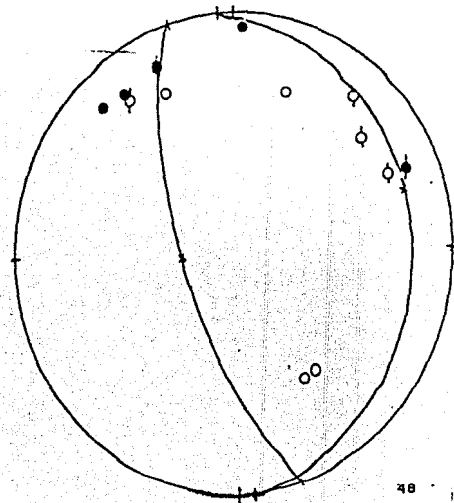
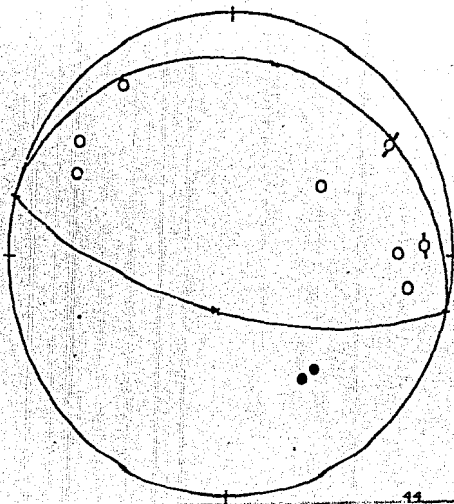
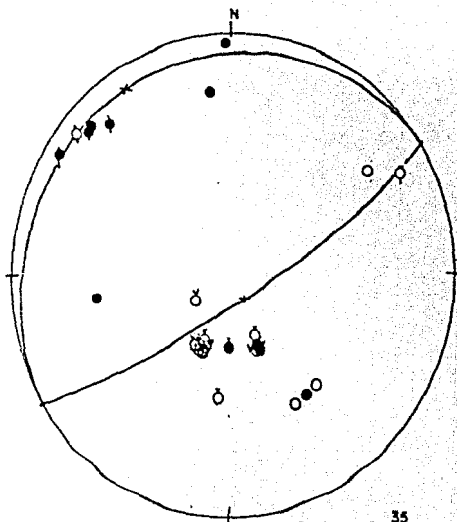
A P E N D I C E B

103	8 DIC 19:20:27.6	16°06'	96°50'	14	3.1	15	0.39
104	9 DIC 08:40:18.2	15°35'	96°50'	18	4.1	18	0.23
105	9 DIC 10:16:22.4	15°52'	96°50'	14	3.2	19	0.43
106	9 DIC 11:01:47.6	15°40'	96°52'	18	4.0	17	0.18
107	9 DIC 15:40:09.3	16°04'	96°45'	19	3.6	12	0.27
108	9 DIC 18:05:12.8	15°43'	96°22'	20	3.4	12	0.19
109	10 DIC 02:22:29.7	15°41'	97°32'	16	3.4	14	0.34
110	10 DIC 02:35:55.1	15°40'	97°08'	16	3.3	16	0.23
111	10 DIC 03:31:47.3	15°40'	97°09'	15	3.3	17	0.30
112	10 DIC 08:53:05.8	15°38'	96°42'	22	3.4	15	0.40
113	10 DIC 12:28:04.4	15°39'	97°09'	16	3.5	14	0.21
114	10 DIC 14:50:56.3	16°04'	96°46'	19	3.1	17	0.23
116	11 DIC 01:06:44.0	16°03'	96°48'	21	4.0	17	0.20
118	11 DIC 02:23:06.8	15°43'	96°49'	17	4.0	18	0.31
119	11 DIC 03:23:41.5	15°40'	96°50'	15	3.7	16	0.25
123	11 DIC 15:28:40.9	15°30'	96°51'	15	4.2	18	0.34
124	11 DIC 15:42:01.7	15°34'	96°47'	16	3.1	20	0.28

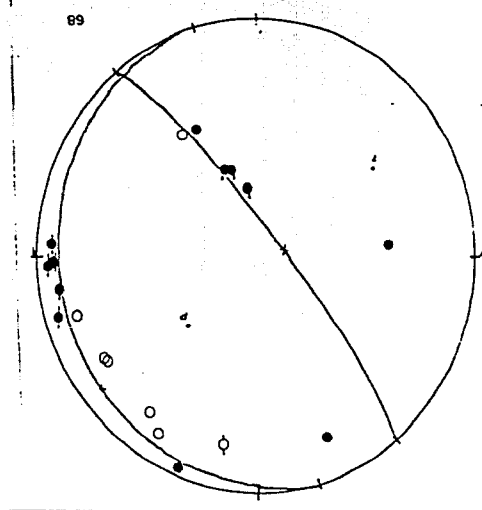
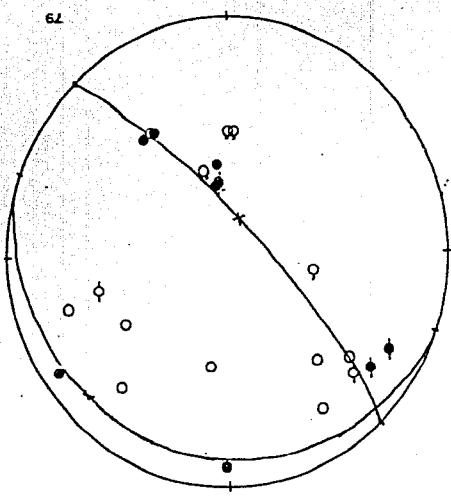
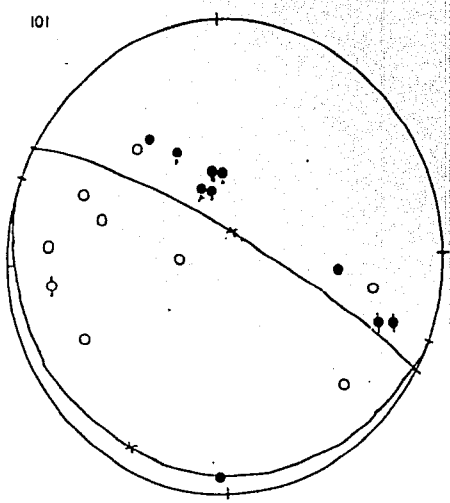
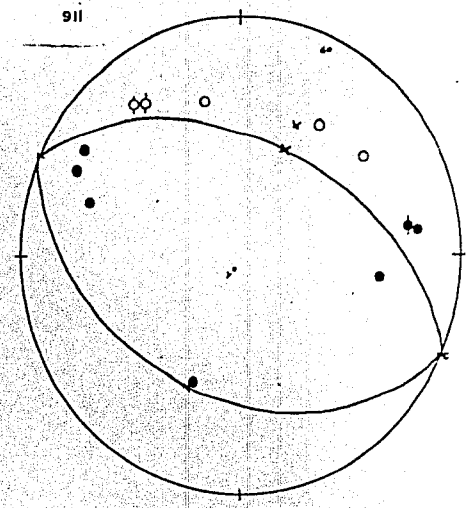
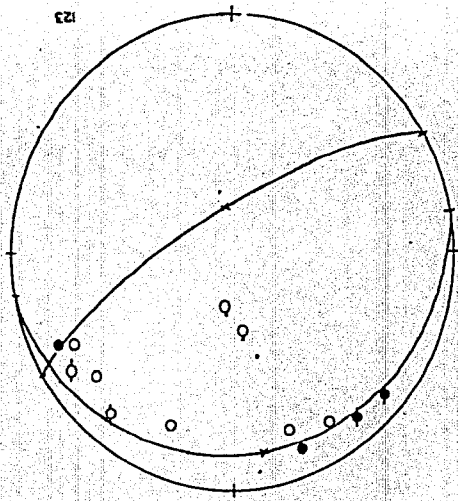
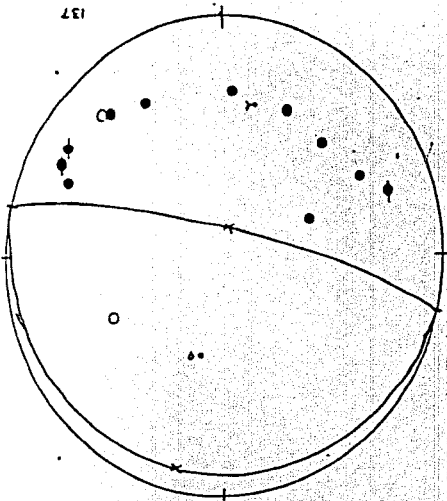


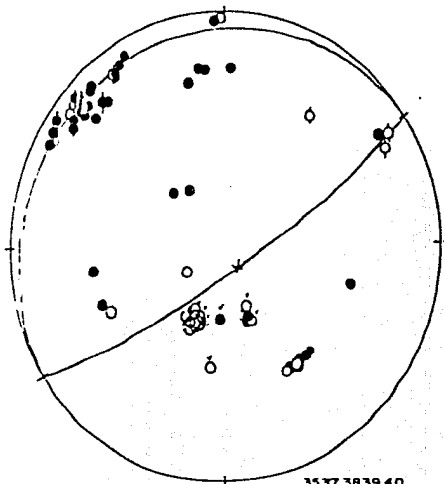
A P E N D I C E B

128	12 DIC 00:05:58.9	15°40'	96°46'	18	3.1	22	0.47
129	12 DIC 02:48:46.6	15°57'	97°11'	20	3.2	26	0.35
130	12 DIC 04:07:04.5	16°02'	96°48'	23	3.0	26	0.23
137	12 DIC 14:00:27.9	16°08'	96°56'	22	4.1	20	0.28
139	12 DIC 18:17:17.7	15°51'	96°59'	15	3.4	24	0.44



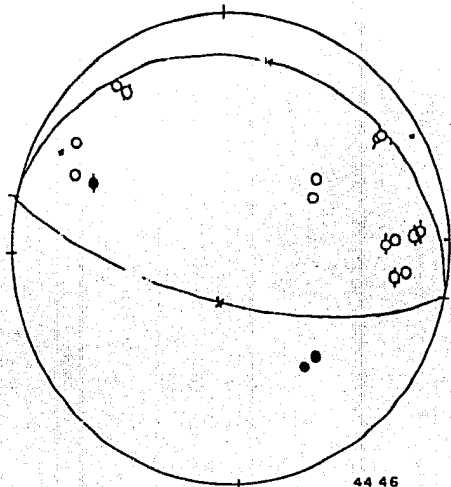
Apéndice C. Patrones de Polaridades y su solución. ● = compresión, ○ = dilatación, ●○ = nodal  
 ●○ = estación Red Mundial.





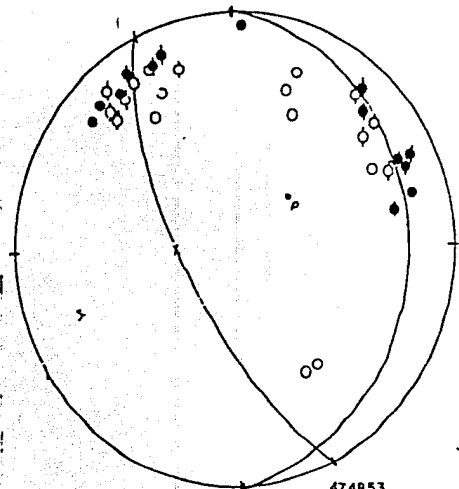
3537383940

	PG	X	O	S	C	O	V	M	1	5	4	6-7	CHI	2	3
35	C	D	D	D	C	D	D	D	C	C	D	C	C	C	C
37	C	D	D	D	C	C	C	C	D	D	D	C	C	C	C
38	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
39	D	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
40	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C



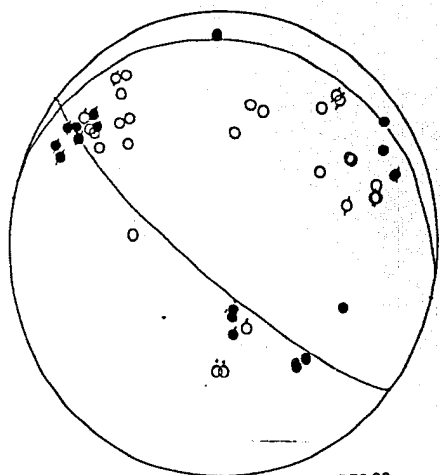
4446

	PG	X	O	S	C	O	V	M	5	6-7	CHI
44	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
46	D	D	D	C	D	D	D	D	D	D	D



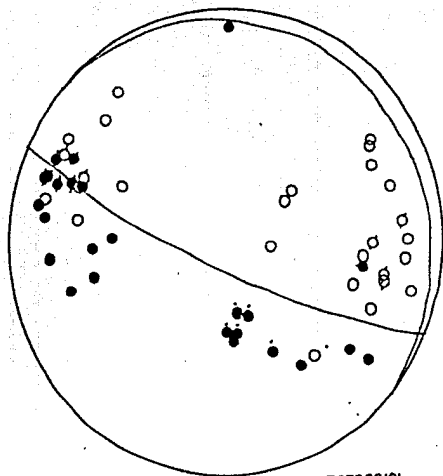
474853

	PG	X	O	S	C	O	V	M	1	5	4	6-7	CHI	3
47	D	C	C	C	D	D	C	D	C	D	D	C	C	C
48	D	C	C	C	C	D	D	D	D	D	D	D	C	C
53	D	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	C	D



737999

	PG	X	O	S	C	O	V	M	1	5	4	6-7	CHI	2	3	8
73	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
75	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
99	D	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C



767898101

	PG	X	O	S	C	O	V	M	1	5	4	6-7	CHI	2	3	8
76	C	D	D	D	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
78	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
98	D	C	C	C	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
101	D	D	D	D	C	D	D	D	C	D	D	D	C	C	C	C

PATRONES DE POLARIDADES Y SU SOLUCION  
 COMPUESTA, ESTACIONES CON POLARIDAD  
 CONVENCION DE SIGNOS COMO APENDICE C