



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

UN MODELO ESTRUCTURAL DEL AREA DE LA TRINCHERA
DE ACAPULCO BASADA EN METODOS SISMICOS.

T E S I S

Que para obtener el Título de

INGENIERO GEOFISICO

P r e s e n t a n

FRANCISCO FERNANDO CASTREJON VACIO
ALMA AMERICA PORRES LUNA



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.

I N D I C E

RESUMEN.....	1
I INTRODUCCION.....	3
II MODELOS GEOFISICOS PREVIOS.....	8
III METODOLOGIA.....	16
IV DESCRIPCION DEL PROGRAMA.....	23
V INTERPRETACION DE DATOS Y DETERMINACION DEL MODELO.....	37
VI DISCUSION Y CONCLUSIONES.....	57
REFERENCIAS.....	67
APENDICE.....	71

RESUMEN

La interpretación de las fases sísmicas, observadas en registros de la Red Sísmica Mexicana de Apertura Continental (RESMAC), mediante diferencias de tiempos de viaje y trazado de rayos fue utilizada para determinar qué tan apropiados son dos modelos usados comúnmente para representar la corteza del área en cuestión. Los modelos representan bidimensionalmente la corteza oceánica en subducción mediante capas planas, paralelas e inclinadas, y la corteza continental mediante capas planas, paralelas y horizontales.

El modelo MEX01 (modificado del modelo MEX usado para localización rutinaria por RESMAC) presenta una sola capa a profundidades intermedias (15-20 Km.); pero fases observadas requieren la presencia de interfases en ese rango de profundidades. El modelo COCHI (modificado para la zona costera) requiere velocidades más bajas a profundidades intermedias. Ambos modelos requieren una capa somera de baja velocidad (4.0 Km/s).

Combinando características favorables de ambos modelos e introduciendo los cambios necesarios se elaboró un nuevo modelo MEXD que, aunque no necesariamente es único, es consistente con las observaciones. Algunas características del modelo MEXD son: grosor de la corteza continental de 40 Km.; buzamiento de la Placa de Cocos de 13° Para el rumbo de $N 20^\circ E$, con un grosor de 24 Km.

CAPITULO I

I N T R O D U C C I O N

A la Porción de la Trinchera Mesoamericana conocida como la Trinchera de Acapulco, corresponde la mayor Parte de la actividad sísmica en México. Esta actividad está directamente relacionada con el Proceso de subducción de la Placa de Cocos bajo la Placa de Norteamérica (e.g. Dewey & Bird, 1970), y es en esta región donde ocurre la mayoría de los sismos destructivos del País (e.g. Núñez, 1983). Por lo tanto, la correcta evaluación del riesgo sísmico en Gran Parte del País y la identificación de zonas de vacancia y/o quietud sísmica dependen de la correcta localización de los sismos ocurridos en esta área.

Sin embargo, los modelos de capas Planas horizontales, usados generalmente para la localización rutinaria de los hipocentros (v.g. Lermo, 1984), son obviamente inadecuados para representar una estructura que incluye prominentemente una región inclinada correspondiente a la Placa subducida. El problema es especialmente grave para el caso de sismos que ocurren en o fuera de la

costa y cuya cobertura azimuthal Para estaciones regionales es deficiente. Además es necesaria la introducción de una Placa inclinada que permita explicar la existencia y tiempos de arribo relativo de algunas fases de Placa, como son denominadas las ondas in-fluídas por la Placa subducida, ya sean ondas refractadas en la interfase Placa de Cocos - Manto, en la interfase Corteza - Placa de Cocos (Lomnitz, 1982) o rayos directos.

Es por esto, que consideramos de importancia Probar la bondad de dos modelos Propuestos recientemente (Toledo & Nava, 1983; Nava et al., 1984), que incluyen una región inclinada; y al encontrar que dichos modelos no concuerdan con las observaciones, el determinar un modelo que, dentro de las limitaciones del método usado y los datos disponibles, sí concuerde con ellos.

El Presente trabajo está basado en el estudio de datos de la Red Sísmica Mexicana de APertura Continental RESMAC; que es una red digital para la detección, transmisión telemétrica y procesamiento de datos sísmicos en Mexico (Fig. 1 y Tabla 1). El formato digital de los registros de RESMAC permite su observación a diferentes escalas, así como manipulaciones que facilitan la determinación de arribos de fases de interés.

Hacemos las Pruebas y determinaciones de modelos mediante di-

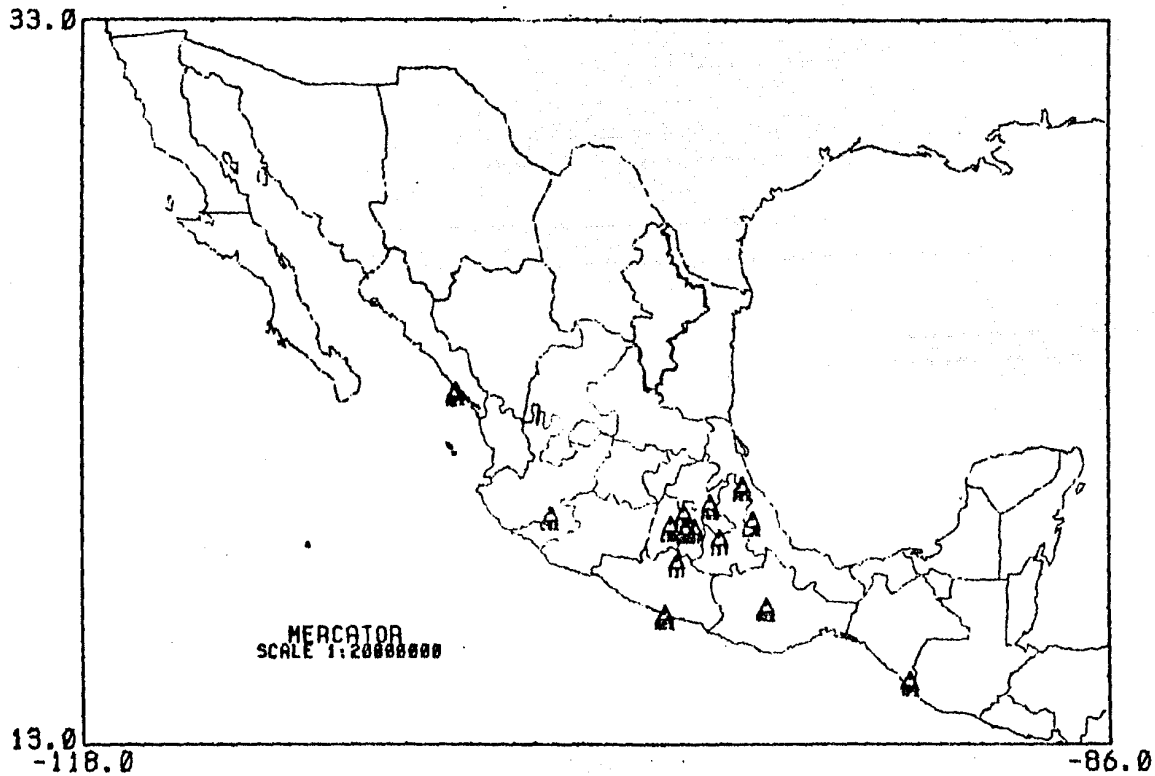


Fig.1 Distribución de Estaciones de RESMAC.

TABLA 1

ESTACIONES RESMAC

LUGAR	EST.	LAT. N	LOH. W	ELEV. (M)
CERRILLO	CRX	19 24 33	99 40 42	2560
ACAPULCO	ACY	16 52 10	99 51 30	300
MEX. D.F.	MEX	19 19 44	99 11 10	2280
IGUALA	III	19 22 34	99 28 05	1750
PUEBLA	IIT	19 01 16	98 18 30	2285
STA. RITA	IIC	19 46 01	99 15 29	2725
EL PINO	IIP	19 20 48	99 55 01	2650
TAMPICO	TMX	22 15 18	97 51 02	21
TULANCINGO	TLX	20 02 13	98 26 10	2250
POZA RICA	PZX	20 32 30	97 27 33	150
CD. GUZMAN	CGX	19 42 10	103 27 42	1600
MAZATLAN	MCX	23 12 00	106 25 31	10
LAS LAJAS	LJX	19 32 18	97 08 57	3050
ORAXACA	ORX	17 04 54	96 43 24	1730

Tabla 1. Estaciones utilizadas por RESMAC (sept. 1984).

diferencias de tiempos de arribo (ya que no conocemos los verdaderos tiempos de origen de los sismos). Las diferencias observadas son comparadas con diferencias teóricas obtenidas mediante un Programa escrito ex-Profeso como Parte de este trabajo y un Programa de trazado de rayos (Nava, 1984) que forma Parte del software de RECHAC.

CAPITULO II

MODELOS GEOFISICOS PREVIOS

Se ha observado que las zonas de alta sismicidad en el mundo se encuentran distribuidas a lo largo de zonas bien definidas (Fig.2). Una explicación convincente de este fenómeno, es Propuesta Por la Teoría de la Tectónica de Placas (Bullard, 1969; Minster, 1978).

Esta teoría, basándose en evidencias Paleomagnéticas, sismológicas y gravimétricas, Principalmente; Postula que la litósfera se encuentra dividida en Placas en movimiento relativo, con tres tipos de bordes o fronteras :

- a) Divergentes .- En este lugar se crea nueva litósfera dando lugar a Cordilleras Mesoceánicas.
- b) Convergentes .- existen dos tipos: fosas oceánicas o trincheras, cuando una de las Placas es subducida e.g. el área de estudio y zonas de compresion en donde las Placas convergen sin subducción e.g. el Himalaya.
- c) Fallas de Transformación .- En donde dos Placas se desplazan tangencialmente, una con respecto a la otra.

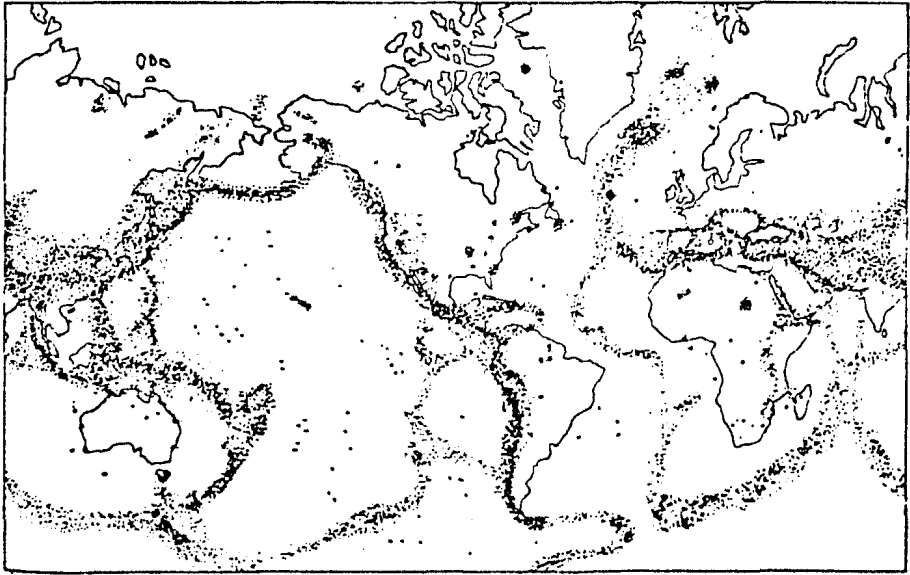


Fig. 2. Distribución de Sismos

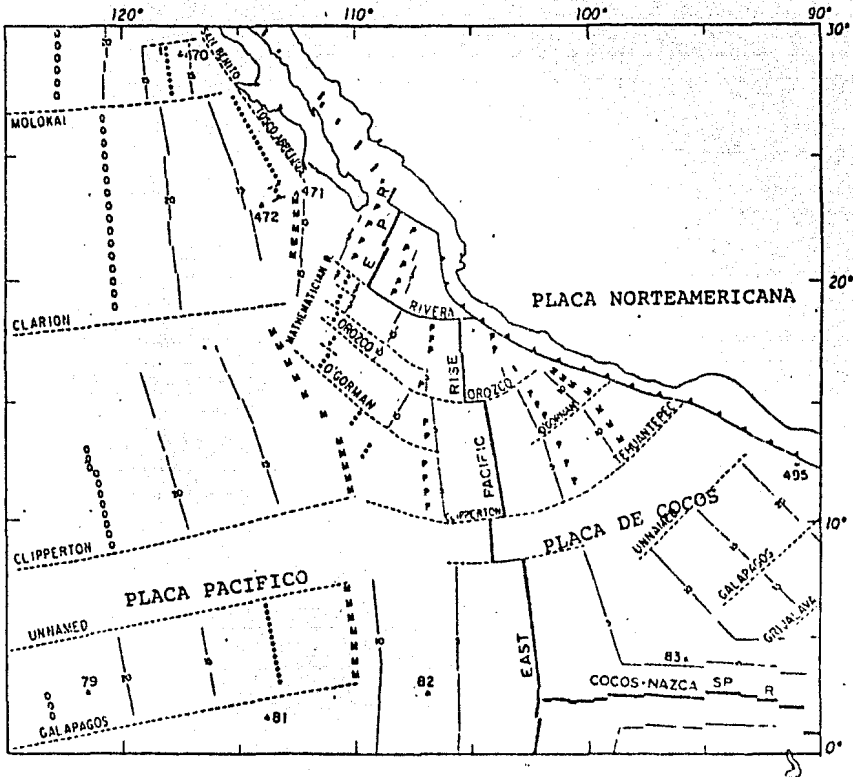


FIGURA 3 Tectónica regional (tomado de Mannerickx & Klitgord, 1982). Las líneas gruesas delimitan a la placa de Cocos de la placa de Nazca y la del Pacífico. La trinchera mesoamericana es representada con la línea con triángulos. Las líneas discontinuas representan fallas de transformación.

Realizando un estudio por medio de mecanismo focal, Chael y Stewart (1982) determinan, con datos del sismo de Petatlán y de telesismos, un rumbo de subducción para la Placa de Cocos N 23° E con un buzamiento de 14°.

La cantidad de sismos de importancia que ocurren en la región ha permitido el desarrollo de nuevos modelos estructurales, obtenidos del análisis de tiempos de viaje de ondas sísmicas. Los resultados muestran un espesor promedio de la corteza continental de 40 Km. así como un buzamiento que varía de 7° a 25° para la Placa de Cocos (Reyes et al., 1978; Valdés et al., 1982; Dewey et al., 1978; Castro, 1980; Novelo, 1980).

Otros autores proponen un grosor promedio de 22 Km. para la corteza continental, así como un buzamiento de 7° a 30° para la Placa de Cocos (Ponce et al., 1978; Drowley et al., 1980).

Recientemente, Valdés et al. (1984); propusieron un nuevo modelo para la zona de estudio que considera un gradiente de velocidades tanto para la corteza continental como para la oceánica, teniendo variación tanto lateral como vertical y considerando un echado para la Placa subducida de 10°.

Como un antecedente básico al presente trabajo se desarrolló

el estudio del Sismo de Huajuapán de León de 1980 . (Toledo & Nava, 1983; Nava et al., 1984), dichos autores, introducen una Placa subducida a dos modelos de capas horizontales, en base a la distribución de hipocentros, contenido espectral de las fases sísmicas y mecanismo focal para dicho evento. Los modelos resultantes son : El modelo COCHI, (Fig.4.A) con un grosor de 22 Km. para la corteza continental y el modelo MEX-01 basado en el modelo MEX, utilizado por RESMAC (Boletín RESMAC, 1984) (Fig.4.B) que muestra un grosor de 40 Km. para la corteza continental.

Ambos modelos tienen un buzamiento de la Placa de 13° y un grosor de la misma de 24 Km., TABLA 2.

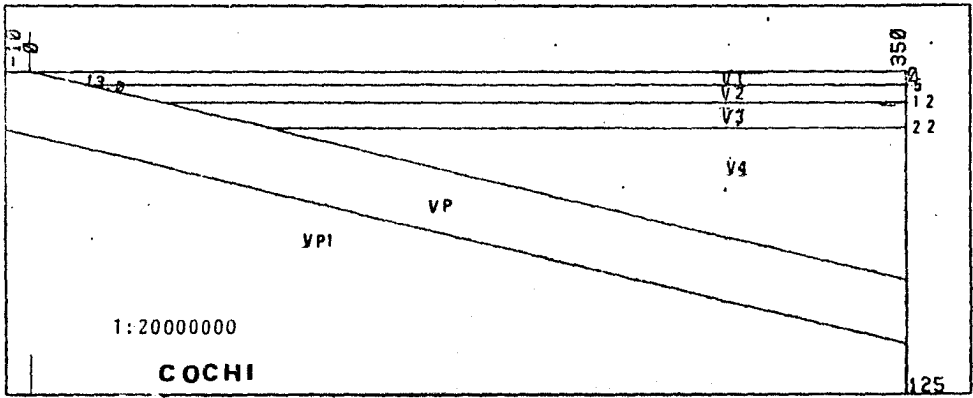


Fig.4.A Modelo COCHI.

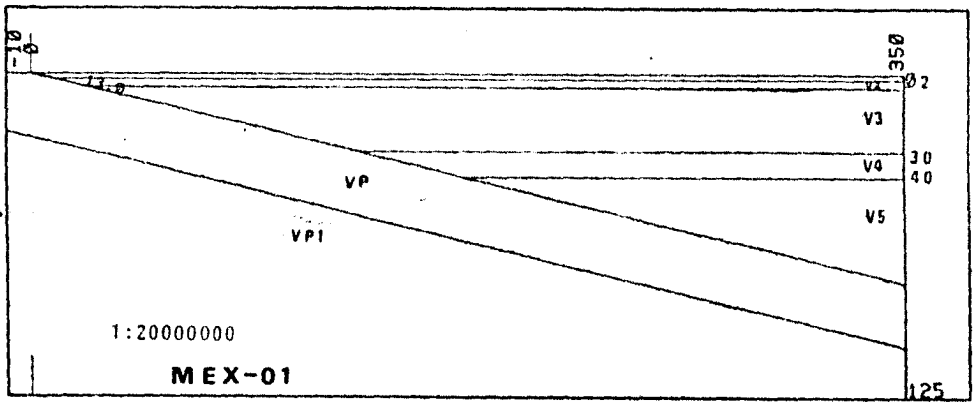


Fig.4.B Modelo MEX-01.

TABLA 2

MODELO COCHI

ESPESORES (Km)	VELOCIDAD P (Km/seg)
5	4.4
7	5.6
10	6.4
-----PLACAS--INCLINADAS-----	
24	7.5
	8.2

MODELO MEX-01

ESPESORES (Km)	VELOCIDAD (Km/seg)
2	3.0
3	4.9
25	6.1
10	7.6
	8.2
-----PLACAS--INCLINADAS-----	
24	7.5
	8.2

Tabla 2. Espesores y velocidades de los modelos utilizados de Prueba.

CAPITULO III

METODOLOGIA

El trabajo se realizó llevando a cabo los siguientes Pasos :

1.- Selección de eventos sísmicos .-

Se consideraron eventos registrados por RESMAC, con las siguientes características :

- a.) Localizaciones en la zona de Guerrero; estos sismos ocurrieron algunos tierra adentro y otros fuera de la costa; en una zona comprendida entre las latitudes 16° - 18.5° N y las longitudes 99° - 101° W (Fig. 5).
- b.) Magnitudes locales > 3.5 , que permiten distinguir las fases de interés.

2.- Análisis de eventos .-

Dado que no se conoce con precisión el tiempo origen de los eventos, se utilizan como base de comparación entre los tiempos observados y los tiempos teóricos las diferencias de tiempos entre fases directas y críticamente refractadas.

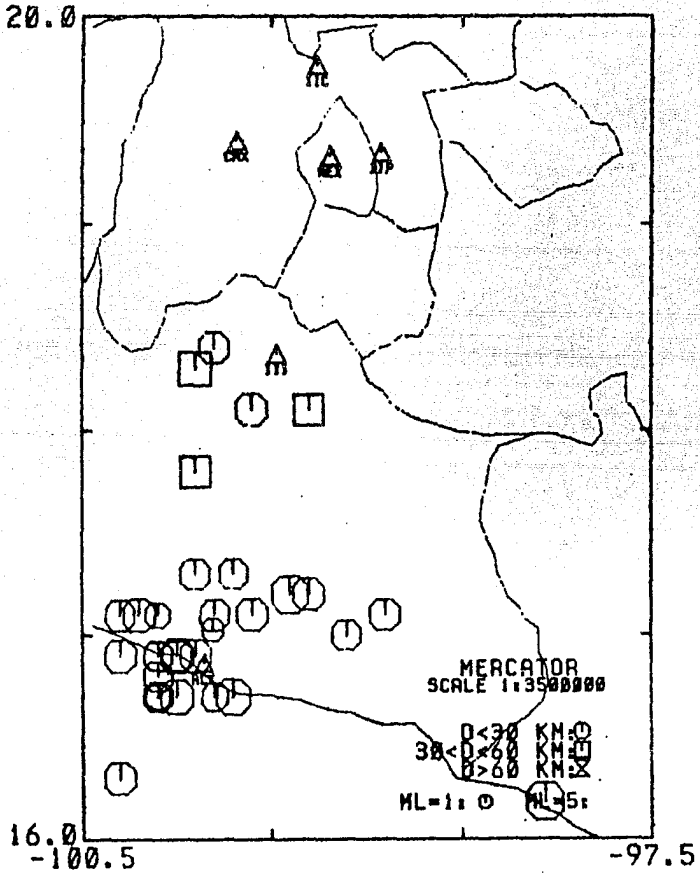


Fig.5 Localización de los eventos estudiados.

Se analizaron, tanto en Pantalla como en Papel, los registros de los eventos seleccionados para las estaciones donde se percibió claramente la señal sísmica.

Los tiempos de arribos de las fases de interés correspondientes a ondas directas (denotadas por Pd y Sd) y a ondas críticamente refractadas (denotadas por Pr y Sr) fueron determinados usualmente sobre el registro desplegado en Pantalla, usando un cursor.

Aunque este método permite una precisión de lectura, de ± 0.0277 seg. (densidad de muestreo); la precisión típica, determinada mediante lecturas repetidas es de aproximadamente ± 0.1 s.

Los puntos de arribo de las distintas fases se determinaron buscando visualmente cambios bruscos de amplitud y frecuencia en el sismograma. Algunas características de las fases en cuestión, tomadas en cuenta para su identificación son:

- Las ondas directas son usualmente las de mayor amplitud y más alta frecuencia.

Las ondas refractadas (determinadas cuando preceden a las directas) son generalmente de menor amplitud y periodos más largos que los arribos directos.

El arribo Sd es identificado por su menor contenido

de altas frecuencias comparado con Pd y Por el contraste de amplitud con respecto a los arribos Pr; dicho contraste depende de la posición del hipocentro.

Como auxiliar para la determinación de tiempos de arribo se recurrió a la graficación de la envolvente de sismograma (Bracewell, 1965; Farnbach, 1975), mediante el uso del Programa ENVOL (Programa de RESMAC escrito por F.A.Nava).

En las figuras 10.B, se muestran ejemplos de los sismogramas utilizados, mostrando las fases determinadas. Las mismas figuras ejemplifican también el uso de la envolvente.

A partir de los tiempos de arribo de las fases de interés, se calcularon las siguientes diferencias para cada una de las estaciones :

$$D1 = T_{sd} - T_{pd},$$

$$D2 = T_{pd} - T_{pr},$$

donde:

D1 y D2 - diferencias observadas,

Tsd y Tpd - tiempos de viaje a lo largo de la trayectoria de las ondas S y P directas,

Tpr - tiempos de viaje de las ondas P críticamente fractadas en alguna de las interfaces.

3.- Cálculo de tiempos de recorrido teóricos.

Fue elaborado un Programa que calcula tiempos de recorrido teóricos tanto Para rayos críticamente refractados en cualquiera de las interfases, como Para rayos directos en modelos bidimensionales (descritos más adelante) Para el área en cuestión. Tomando en cuenta la lejanía de los hipocentros de las estaciones, consideramos apropiado el tratamiento en base a ondas Planas y la descripción de la trayectoria Por rayos.

Los datos que requiere el Programa son obtenidos de la siguiente manera :

- a) Profundidad (P) y localización del evento (latitud y longitud) son originalmente tomados de los boletines editados Por RESMAC. Los hipocentros reportados Por el Boletín son localizados Por CAPAS, un Programa simplificado de mínimos cuadrados, utilizando el modelo MEX. Por lo que son considerados aproximados.
- b) Distancia de la trinchera al detector (W) y distancia de la trinchera al epicentro (XA) son obtenidos gráficamente de un mapa escala 1:2 000 000, (Carta Geológica de la República Mexicana, 1976) a lo largo de líneas Perpendiculares a la trinchera.

Ya que ni las localizaciones ni las Profundidades originales de los eventos son datos confiables, se Procedió a modificarlas Para calzar lo mejor posible las observaciones. Fueron variadas la Profundidad y/o localización del evento, en un rango de +/- 5 Km.

4.- Análisis de diferencias teóricas .-

Se calcularon, Para cada una de las estaciones, las diferencias teóricas :

$$D3=TTsd-TTPd,$$

$$D4=TTPd-TTPr,$$

donde :

TTsd y TTPd - tiempos teóricos de recorrido del rayo directo Para las fases S y P,

TTPr - tiempos teóricos de recorrido de los rayos refractados en cualquiera de las interfases de fase P.

5.- Comparación de Resultados .-

Los tiempos teóricos de recorrido obtenidos mediante el Programa elaborado en este trabajo, fueron verificados con el Programa de Trazado de Rayos "TRAZO" (Nava , 1984).

Este Programa fue utilizado también Para ilustrar las trayectorias de los rayos.

6.- Cálculo de Residuales .-

A Partir de las diferencias teóricas y observadas se calculan los residuales :

$$R1=D1-D3,$$

$$R2=D2-D4,$$

donde :

R1 - Residual de las diferencias teóricas y observadas de las fases Sd y Pd,

R2 - Residual de las diferencias teóricas y observadas de las fases Pd y Pr.

Estos valores indican que tan adecuados son los modelos Propuestos, y su minimización es la base para la modificación de éstos.

CAPITULO IV

DESCRIPCION DEL PROGRAMA

El Programa, elaborado en FORTRAN IV, calcula tiempos de recorrido para ondas de cuerpo P o S, para eventos localizados dentro y fuera del continente.

Los modelos utilizados por el Programa, consisten de varias capas horizontales planas y paralelas sobre un semiespacio, que representan la corteza continental, y que sobreyacen a una capa plana inclinada sobre un semiespacio, los cuales representan a la placa en subducción y al manto superior.

Los parámetros de los modelos son los siguientes (Fig.6)

- W - Distancia de la trinchera al detector.
- XA - Distancia de la trinchera al epicentro.
- α - Eclado de la placa.
- P - Profundidad del foco.
- V_j - Velocidad (P o S) de la capa j.
- Z_j - Espesor de la capa j.
- VP - Velocidad (P o S) en la placa subducida.

- VP1 - Velocidad (P o S) en el Manto Superior,
- ES - Espesor de la Placa subducida,
- θ - Ángulo vertical de salida del rayo directo,
- D - Incremento del ángulo vertical Para el rayo directo,
- EMAX - Error máximo de convergencia Para el rayo directo
- LA - Número de capas en donde se encuentra el foco,
- M - Número total de capas en el modelo.

El Programa Puede aceptar valores Para los Parámetros del modelo deseado o trabajar con alguno de los dos modelos de default (MEX-01 y COCHI) cuyos datos tiene almacenados.

El tiempo de recorrido t Para cada una de las Posibles trayectorias de un rayo está dado Por :

$$t = \int [1/V(r)] dr,$$

donde :

dr - es el elemento de trayectoria.

$V(r)$ - es la velocidad a lo largo de la trayectoria .

y la integral se hace, a lo largo de la trayectoria, desde la fuente hasta el receptor.

Para el caso de capas Planas de velocidad constante se tiene

$$t = \sum_{i=1}^n R_i/V_i,$$

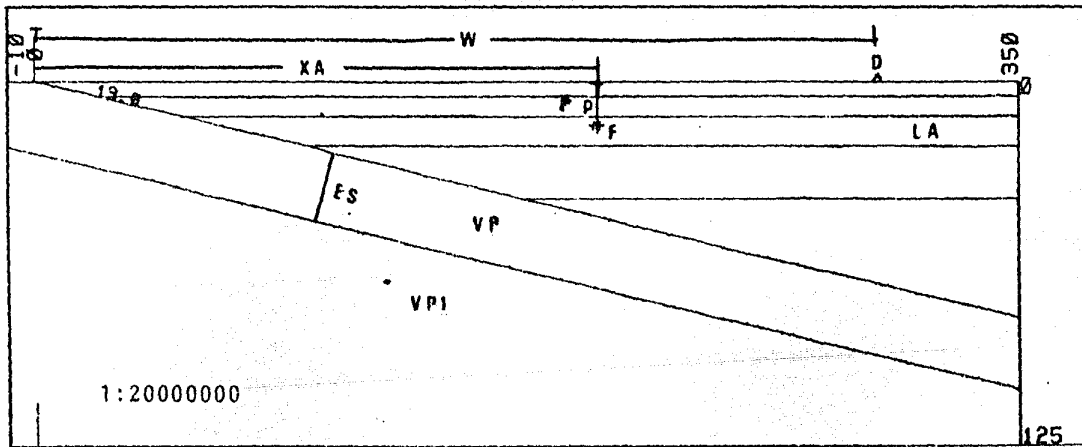


Fig.6 Parámetros utilizados en los modelos y para la elaboración del programa.
 Los números que aparecen en los extremos representan las dimensiones en Km.

donde:

R_i y V_i - son las trayectorias y velocidades dentro de la i -ésima capa, y la suma se hace sobre las n capas que atraviesa el rayo.

Para un medio donde la velocidad es función de la Profundidad solamente; el parámetro de rayo q se define como :

$$q = V_i / \text{sen } \alpha_i = \text{cte.}$$

Y, para el caso de refracción crítica en la n -ésima capa con velocidad V_n , el ángulo de refracción crítica ($\alpha_n = 90^\circ$) $\alpha_c = \alpha_{n-1}$ esta dado por :

$$\text{sen } \alpha_c = V_{n-1} / V_n = \text{sen } \alpha_{n-1}$$

$$V_n = V_i / \text{sen } \alpha_i = V_{n-1} / \text{sen } \alpha_{n-1}$$

Por lo tanto :

$$\text{sen } \alpha_i = V_i / V_n = \text{Min.}$$

y de lo anterior :

$$R_i = Z_i / \text{cos } \alpha_i$$

siendo Z_i el espesor de la i -ésima capa.

Así el tiempo total T queda dado por :

$$T = \sum_{i=1}^{n-1} Z_i / V_i \text{ cos } \alpha_i$$

Según la localización de la fuente, se tienen los siguientes casos :

A) Fuente en el medio horizontal (Fig. 7.A).

i. Rayo críticamente refractado en cualquiera de las capas horizontales .

El tiempo de recorrido está dado por :

$$\begin{aligned}
 T = & \frac{Z_f - p}{V(LA) \cos[\text{sen}(V(LA)/V(LA+2))]} \\
 & + 2 \sum_{i=LA}^{M} \frac{Z_i}{V_i \cos[\text{sen}(X_{i,i+2})]} \\
 & + \frac{2 Z_n}{V_n \cos[\text{sen}(X_{n,n+1})]} \\
 & + \sum_{i=1}^{MA} \frac{Z_i}{V_i \cos[\text{sen}(V_i/V_{i+2})]} \\
 & + \frac{H - TEI}{V(n+1)} ,
 \end{aligned}$$

Donde :

$$Z_f = \sum_{i=1}^{MA} Z_i,$$

$$TEI = \sum_{i=1}^{MA} Z_i \tan[\text{sen}(X_{i,i+2})] + 2 \sum_{i=LA+1}^{M} Z_i \tan[\text{sen}(X_{i,i+2})].$$

ii) Rayo críticamente refractado en la interfase corteza horizontal - Placa en subducción.

De acuerdo con la Fig.7.A , el tiempo se encuentra dado por:

$$T = TB + TS + TD + TE + TF,$$

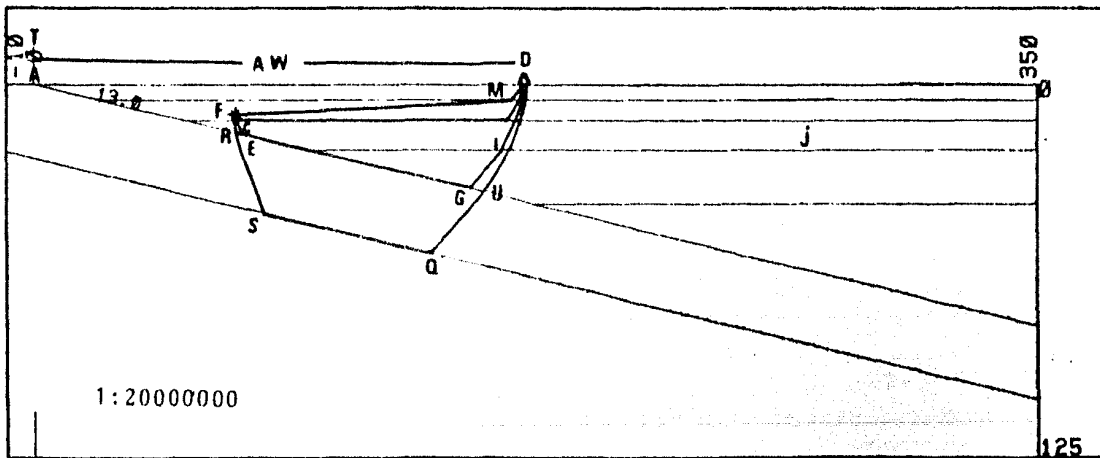


Fig.7.A Trayectorias seguidas para el caso en que la fuente se encuentra en las capas horizontales.

donde:

TB = Tiempo de bajada Para las capas horizontales,

TS = Tiempo de subida Para las capas horizontales,

TD = $\overline{CE}/V(J+1)$,

TE = \overline{EG}/VP ,

TF = $\overline{GI}/V(J+1)$.

Para calcular las distancias \overline{CE} , \overline{EG} , \overline{GI} es necesario obtener las coordenadas de cada Punto, estas coordenadas son:

Punto C

$$CX = \sum_{i=1}^{j+1} Zi \tan \alpha + (Zf-P) \tan(\alpha C) + XA,$$

$$CY = \sum_{i=1}^{j+1} Zi;$$

Punto E

$$EX = (CY - EM) / \tan \alpha - EM,$$

$$EY = EX \tan \alpha ;$$

Punto I

$$IX = W - \sum_{i=1}^{j+1} Zi [Vi / \sqrt{(Vi+2)^2 - Vi^2}],$$

$$IY = \sum_{i=1}^{j+1} Zi;$$

Punto G

$$GX = (IY - GM) / \tan \alpha - GM,$$

$$GY = GX \tan \alpha ;$$

donde :

αC = ángulo crítico Para incidencia sobre la Placa,

$$EM = \frac{\sqrt{VP^2 - V(J+1)^2} \cos \alpha + V(J+1) \sin \alpha}{V(J+1) \cos \alpha - \sqrt{VP^2 - V(J+1)^2} \sin \alpha}$$

$$GM = - \frac{\sqrt{VP^2 - V(J+1)^2} \cos \alpha - V(J+1) \sin \alpha}{V(J+1) \cos \alpha + \sqrt{VP^2 - V(J+1)^2} \sin \alpha}$$

iii) Rayo críticamente refractado en la interfase Placa en subducción - Manto Superior .

Dada la Fig.7.A, el tiempo de recorrido Para este caso está dado Por :

$$T = TB + TS + TQ + TR + TS + TK + TU,$$

donde :

$$TQ = \overline{CR}/V(J+1),$$

$$TR = \overline{RS}/VP,$$

$$TS = \overline{SQ}/VP1,$$

$$TK = \overline{QU}/VP,$$

$$TU = \overline{UI}/V(J+1).$$

Como en el inciso anterior, las distancias se obtienen a Partir de las coordenadas de cada uno de los Puntos. Estas coordenadas son :

Punto R

$$RX = (CY - CX \cot \alpha) / (\tan \alpha - \cot \alpha),$$

$$RY = RX \tan \alpha ;$$

Punto S

$$SX = RX + RS \cos(\text{ARG}),$$

$$SY = RY + RS \sin(\text{ARG});$$

Punto U

$$UX = (IX - IX \text{ Co}) / (\tan \alpha - \text{Co}),$$

$$UY = UX \tan \alpha ;$$

Punto Q

$$QX = UX - RS \cos(\text{ARG}),$$

$$QY = UY - RS \sin(\text{ARG});$$

donde:

$$\text{Cotn} = \frac{1}{\tan[\text{sen}(V(J+1)/VP1) - \alpha]},$$

$$\text{Co} = \frac{-1}{\tan[\text{sen}(V(J+1)/VP1) + \alpha]},$$

$$RS = \frac{RS}{\cos[\text{sen}(VP/VP1)]},$$

$$\text{ARG} = \frac{\pi}{2} - \text{sen} \frac{VP}{VP1} + \alpha .$$

iv) Rayo Directo :

Se define al rayo directo como la trayectoria directa de tiempo mínimo entre la fuente y el detector.

La trayectoria FD (Fig. 7.A) se determina numéricamente por el método de aproximaciones sucesivas, para el ángulo de salida vertical θ .

El tiempo del rayo directo está dado por :

$$T = \frac{P-MK}{V(LA) \text{ sen } \theta} + \frac{Z(j)}{V(j) \text{ cos } Wj}$$

donde :

Wj - ángulo vertical del rayo en la j -ésima capa.

Al realizar el primer cálculo se tendrá una trayectoria de F a RO. Para encontrar la verdadera trayectoria de F a D, se varía el ángulo θ , de la siguiente manera:

$$\text{Si } \overline{AW} > \overline{ARO} \Rightarrow \theta = \theta + D,$$

$$\overline{AW} < \overline{ARO} \Rightarrow \theta = \theta - D/2,$$

donde D es el incremento del ángulo (inicialmente = 3°).

El método itera (variando D) hasta lograr una diferencia máxima de 0.1 Km. entre \overline{AW} y \overline{ARO} .

B) Fuente en la Placa Subducida (Fig. 7.B) .

i) Rayo críticamente refractado en la interfase Placa - Manto .

Para este caso, de la figura, el tiempo de recorrido está dado por :

$$T = TR + TT + TU + TV + TS.$$

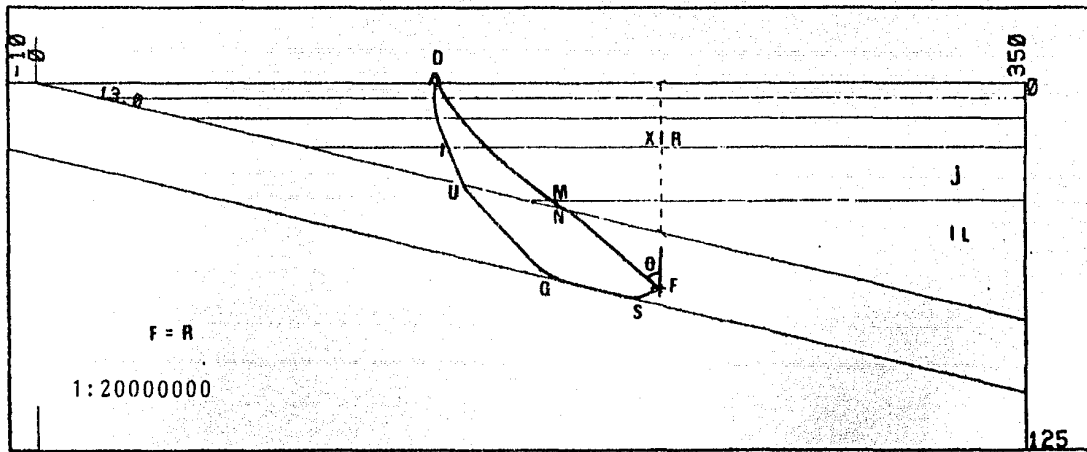


Fig.7.B Se muestran las trayectorias seguidas por un evento para cuando la fuente se encuentra dentro de la placa en subducción.

donde :

$$TR = \overline{RS} / VP,$$

$$TT = \overline{SQ} / VP1,$$

$$TU = \overline{QU} / VP,$$

$$TV = \overline{UI} / V(j+1).$$

Las formulas Para obtener las coordenadas de cada uno de los puntos, son las mismas que las utilizadas en el inciso anterior; excepto Para el punto R, cuyas coordenadas son :

$$RX = XR,$$

$$RY = P.$$

ii) Rayo Directo :

El cálculo Para el tiempo de recorrido, es muy similar al desarrollado en el inciso iv .

El tiempo de viaje T está dado Por :

$$T = \frac{(P-XIR) \cos(\alpha)}{VP \sin(FR)} + \frac{(NX-MX)}{V(IL) \sin(C)} + \frac{Z(j)}{V(j) \cos \alpha}$$

donde :

$$FR = (\pi/2 + \alpha - \theta),$$

$$C = \sin(Vi/Vi+1).$$

C) Fuente en el Manto Superior (Fig.7.C) :

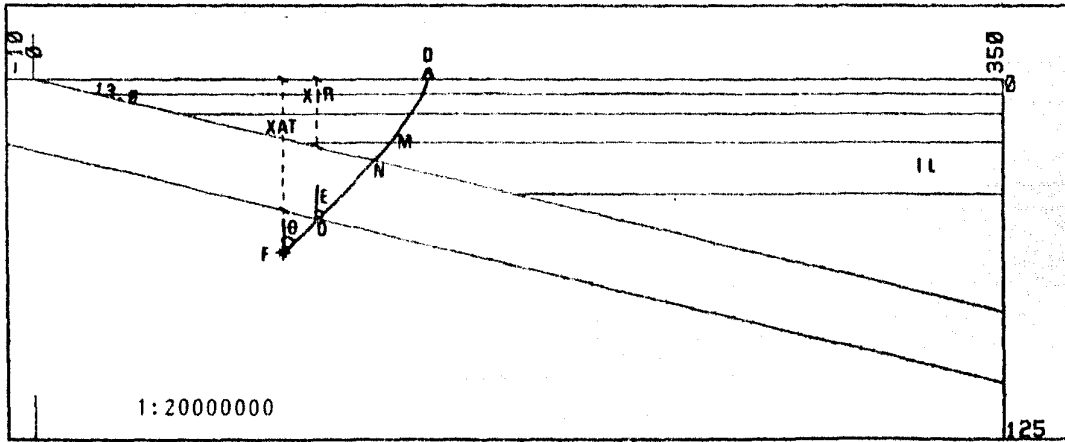


Fig.7.C Trayectoria para el caso que la fuente se encuentre bajo la placa en subducción.

i) Rayo Directo :

Para este caso, la única trayectoria posible está dada por :

$$T = \overline{FO}/VP1 + \overline{ON}/VP + \overline{NM}/V(IL) + TS,$$

donde :

$$\overline{FO} = \frac{(P-XAT) \cos \alpha}{\text{sen}(FA)},$$

$$\overline{ON} = \frac{(OY-XIR) \cos \alpha}{\text{sen}(E)},$$

$$\overline{NM} = \frac{(NX-MX)}{\text{sen}(C)}.$$

CAPITULO V

INTERPRETACION DE DATOS Y DETERMINACION DEL MODELO

Para la elaboración de este trabajo se estudiaron 33 sismos ocurridos desde Enero de 1981 hasta Marzo de 1984. Los datos utilizados son listados en la TABLA 3.

Con el fin de Probar los modelos Propuestos explorando todos los casos mencionados en el capítulo IV utilizamos hipocentros distribuidos, en un rango de 4 a 60 Km. de Profundidad.

Para cada evento se consideraron un mínimo de 2 y un máximo de 6 estaciones. Se trató de incluir en todos los casos a la estación ACK, con el fin de Poderla utilizar Para verificar y en caso necesario modificar la localización del evento.

Los eventos fueron registrados Por instrumentos de componente vertical y de Periodo corto.

Estos registros son satisfactorios Para nuestros fines, ya que las fases de interés contienen altas frecuencias en abundancia.

TABLA 3

EVENTO	LATITUD	LONGITUD	FECHA	ML	P
17:046	18.1	99.3	12-I-81	4.0	60R
19:089	17.8	99.9	24-VI-81	3.9	40R
19:100	17.2	99.3	14-VII-81	4.1	30
19:116	17.0	99.8	20-VII-81	2.6	5
21:026	18.1	99.6	4-XI-81	4.1	4
21:060	18.4	99.8	22-XI-81	3.9	30R
23:059	16.9	100.0	7-VI-82	3.8	15
24:082	16.9	100.1	10-VII-82	3.6	10
24:102	17.3	99.7	19-VII-82	4.3	40R
25:001	18.4	101.3	29-VII-82	4.1	10
25:006	17.2	99.4	22-VII-82	4.9	5
25:012	18.3	99.9	24-VII-82	4.3	40R
25:055	16.7	100.0	18-VIII-82	4.4	5
25:062	16.9	100.0	19-VIII-82	4.5	9
25:085	17.3	100.6	11-IX-82	3.5	10
26:003	16.7	99.7	2-X-82	4.6	10
26:020	16.9	100.2	14-X-82	4.2	5
26:072	16.7	100.1	8-XI-82	3.7	10
26:081	16.7	100.1	12-XI-82	3.7	10
27:006	16.3	100.3	29-XI-82	4.1	10
27:015	16.7	99.3	3-XII-82	3.5	20
27:088	17.1	100.1	13-I-83	3.9	10
28:041	16.9	99.9	4-II-83	4.1	16
29:018	16.9	100.1	12-IV-83	3.5	10
29:053	17.1	99.8	6-V-83	4.0	6
30:070	16.9	100.1	25-VII-83	3.7	6
31:029	17.1	100.2	29-VIII-83	4.2	10
31:051	16.8	100.1	-IX-83	3.7	8
31:095	16.6	101.3	13-X-83	4.4	20
32:047	17.0	99.1	14-XI-83	3.7	5
32:068	17.1	98.9	30-XI-83	3.9	15
33:011	17.1	100.3	14-XII-83	3.9	10
33:049	17.3	99.9	7-I-84	3.8	10
33:058	17.1	99.6	11-I-84	4.1	6

Tabla 3. Se muestran los 33 eventos utilizados.

Los eventos fueron seleccionados tomando en cuenta la presencia de arribos claramente identificables, tanto para las fases P como para las S. Para el caso de los arribos P se consideraron tanto fases refractadas como directas; mientras que en el caso de las fases S se consideró únicamente el arribo directo, ya que los arribos S refractados pueden ser confundidos con otras fases.

Dado que los modelos considerados y el Programa elaborado consideran medios en 2D, fue necesario considerar secciones aproximadamente perpendiculares a la trinchera, que incluyeran en cada caso, al foco y al mayor número posible de estaciones; de tal manera que los perfiles tomados presenten una orientación preferencial aproximada de N 20°E, la cual concuerda con la de otros perfiles realizados con anterioridad (Drowley, 1980; Valdés & Meyer, 1982).

Las velocidades mostradas para nuestros modelos corresponden a la onda P. Las velocidades S son obtenidas de la P mediante la condición de Poisson (Dobrin, 1975); $V_s = V_p/\sqrt{3}$.

Después de haber considerado los aspectos anteriores, se procedió a la cuidadosa identificación de las fases observadas, en base a las diferencias técnicas del tiempo de arribo de cada fase a las distintas estaciones.

Inicialmente se trabajó con los modelos MEX-01 y COCHI, los cuales fueron descartados por no haber una correlación aceptable entre las diferencias de tiempo teóricas y las observadas; resultando residuales, para algunos eventos, de más de 10 segundos. Al modificar los Parámetros (P y X_A) los residuales en algunas estaciones disminuían, mientras que en otras aumentaban considerablemente; indicando que la falta de ajuste no se debía a la mala localización de los eventos. Otro aspecto contradictorio de los modelos es que en eventos con profundidades de 20 a 50 Km., el rayo teórico es "entrapado", debido a que las capas profundas actúan como "sello", mientras que los registros presentan claros arribos. Además, no pueden representar adecuadamente los tiempos observados para rayos críticamente refractados, ya que por lo general existen más fases críticamente refractadas observadas que teóricas.

Los residuales obtenidos se muestran en la TABLA 4.

La inaceptabilidad de los modelos MEX-01 y COCHI, hizo necesario el obtener un nuevo modelo que permitiera un ajuste mejor de las diferencias de tiempos de arribo de las fases observadas.

Para obtener el nuevo modelo MEND, se consideraron los siguientes puntos :

TABLA 4

EVENTO	EST.	MEX-01			COCHI			MEND		
		Pd-Sd	Pd-Pr	Pd-Pr	Pd-Sd	Pd-Pr	Pd-Pr	Pd-Sd	Pd-Pr	Pd-Pr
25-01	CRX	-0.78	-1.67	-	2.34	-0.23	-	0.21	0.09	-
	IIP	1.7	1.34	-	3.56	-0.36	-	0.13	0.25	0.29
26-03	ACX	0.23	-	-	0.02	-	-	0.04	-	-
	III	3.65	-	-	5.65	-0.48	-2.32	0.06	0.12	-0.02
	IIC	0.86	-	-	-0.39	-0.92	4.07	-0.20	0.12	0.02
	IIP	-3.78	-	-	1.86	4.04	0.91	0.47	-0.04	0.02
26-01	ACX	0.17	-	-	0.35	1.37	-	0.01	-	-
	III	1.2	-	-	2.3	-3.2	-	0.16	0.04	-
	CRX	3.4	-	-	3.1	-4.9	-	-0.27	-0.02	-
	IIP	4.85	-	-	2.40	0.45	-	0.22	0.01	-
	IIC	2.02	-	-	6.00	1.63	-	0.52	0.04	-
27-06	ACX	-2.30	-	-	-2.05	-	-	0.04	-	-
	III	-1.73	-	-	0.82	0.73	-	0.15	0.15	-
	CRX	-1.92	-	-	1.06	1.56	-	-0.02	0.0	-
	IIP	0.53	-	-	1.81	1.95	-	0.29	0.09	-
	IIT	1.10	-	-	1.85	1.96	-	-0.22	0.09	-
	IIC	1.80	-	-	1.95	1.97	-	0.30	-0.12	-
31-29	ACX	-1.78	-	-	0.69	-	-	0.0	-	-
	III	0.82	-	-	1.60	2.00	-	0.14	-0.29	0.02
	MEX	1.20	-	-	2.00	2.10	-	-0.05	0.15	0.09
	IIP	1.35	-	-	2.20	2.34	-	-0.01	-0.05	-0.29
	IIT	1.65	-	-	2.38	2.43	-	0.18	0.02	-0.21
	IIC	1.99	-	-	2.45	2.56	-	0.48	0.42	0.77
31-51	ACX	-1.39	-	-	-5.15	-	-	0.01	0.0	0.12
	CRX	0.24	-	-	2.48	-0.06	-	-0.01	-0.07	0.0
	III	1.70	-	-	3.43	-	-	0.21	0.39	-
	IIP	2.33	-	-	4.01	-	-	-0.02	-0.12	-
19-89	ACX	1.34	-	-	2.23	-	-	0.3	-	-
	MEX	-0.14	-	-	1.14	-	-	0.13	-	-
	IIP	0.10	-	-	2.12	-	-	0.09	-	-
	IIC	0.20	-	-	1.12	-	-	0.31	-	-
	CRX	0.06	-	-	3.12	-	-	-0.04	-	-
17-46	ACX	3.13	-	-	5.1	-	-	0.05	-	-
	IIP	0.68	-	-	2.12	-	-	0.14	-	-
	IIC	1.92	-	-	3.2	-	-	0.27	-	-

Tabla 6. Residuales obtenidos de algunos eventos.

- a) El número de arribos críticamente refractados, determina el número mínimo de interfases refractoras del modelo; éste es un límite inferior, ya que puede existir un mayor número de capas refractoras cuyos arribos correspondientes no se pueden identificar en el sismograma.
- b) La amplitud de los arribos refractados depende (entre otros factores) del contraste de velocidad entre la capa refractora y la capa inmediata superior; teniéndose arribos de amplitud considerable para el caso de un cambio brusco de velocidades.
- c) Los rayos directos, por ser los de mayor amplitud, permiten la determinación precisa de sus tiempos de arribo; y éstos deben de ser correlacionables entre diferentes estaciones.
- d) Arribos tempranos para algunos eventos ocurridos en la Costa sugieren la existencia bajo ésta de un canal de alta velocidad, que no puede ser interpretado como una capa horizontal, ya que para eventos ocurridos tierra adentro, no se observan dichos arribos.

Habiendo considerado lo anterior, la elaboración del modelo se hizo de la manera siguiente :

- Inicialmente, se elaboró un modelo mediante la combinación de las características favorables de los modelos analizados, las velocidades del MEX-01 y las interfases a Profundidades someras del COCHI.
- Los tiempos de rayo directo fueron utilizados Para modificar las velocidades de las capas horizontales; comenzando con sismos de Profundidad somera (P < 6 Km.).
- Los tiempos refractados fueron utilizados Para obtener los Grosos de las capas horizontales; notando que al modificar los espesores de las capas, los rayos directos no sufren cambios considerables.
- Para ajustar los tiempos teóricos de una manera adecuada se varían los Parametros de localización; en un rango de +/- 5 Km.
- Ya que el Programa no considera la altitud de las estaciones, se aplicó una corrección Por altitud Dt (Nava & Brune, 1982) dada Por :

$$Dt = -h[(Vo)^{-2} - (Vr)^{-2}]^{1/2}$$

donde :

- h - Elevación de la estación,
- V_0 - Velocidad de la capa superficial,
- V_r - Velocidad de la capa refractora.

Las correcciones son Presentadas en la TABLA 5.

Las figuras 8, 9, 10, 11 y 12; muestran ejemplos de algunos de los eventos utilizados. Donde se Presentan tanto sismogramas como trayectorias consideradas, además la figura 10.B ejemplifica el uso del Programa ENVOL.

TABLA 5

ESTACION	M O D E L O S		
	MEX-01	COCHI	MEXD
CRX	-0.6747	-0.3599	-0.4917
ACX	-0.0790	-0.0421	-0.0576
MEX	-0.6009	-0.3205	-0.4379
III	-0.4612	-0.2460	-0.3361
IIC	-0.7181	-0.3831	-0.5234
IIP	-0.6984	-0.3725	-0.5093

Tabla 5. Correcciones Por altitud realizadas.

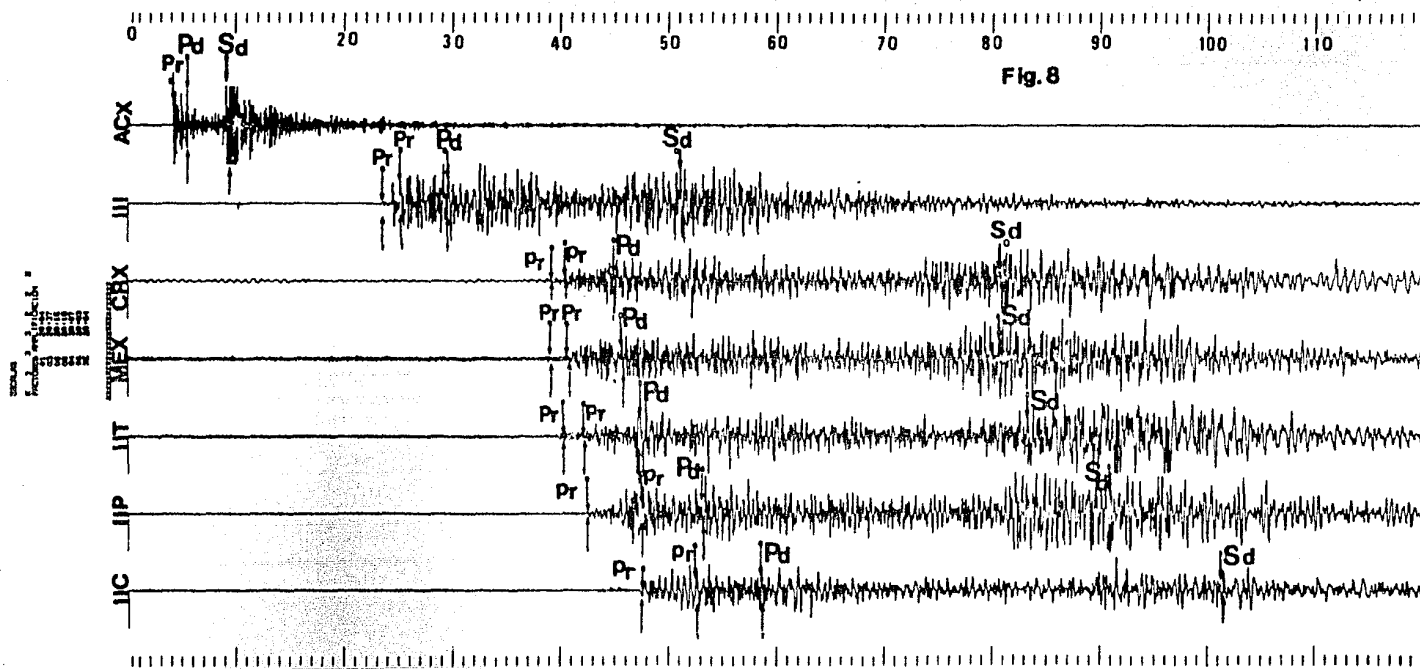


Fig. 8

Fig. 8 Evento de profundidad somera ($p=7$ Km.); en el registro se pueden observar las fases (Pd, Sd, Pr y Sr).

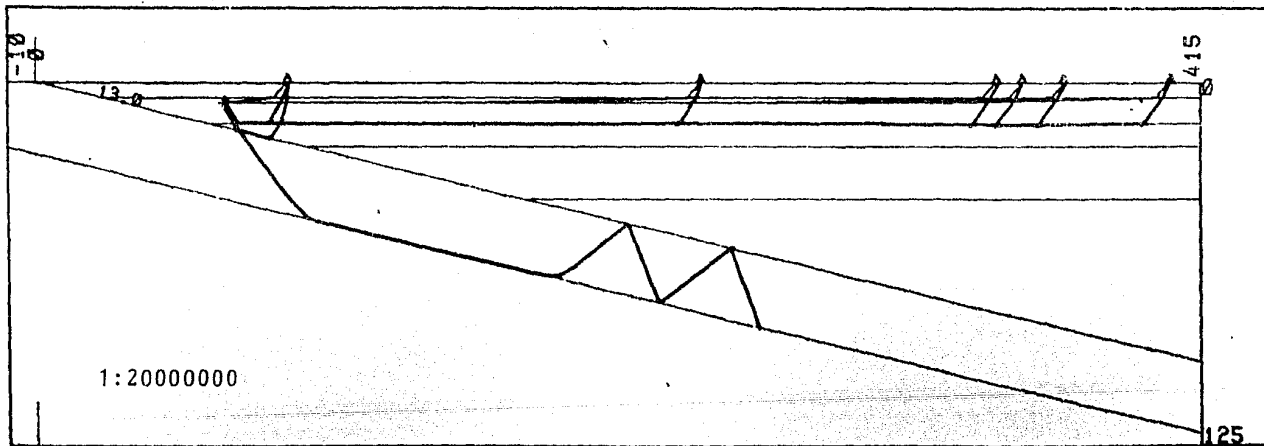


Fig.8.A Se muestra las trayectorias seguidas por el evento 31-029.

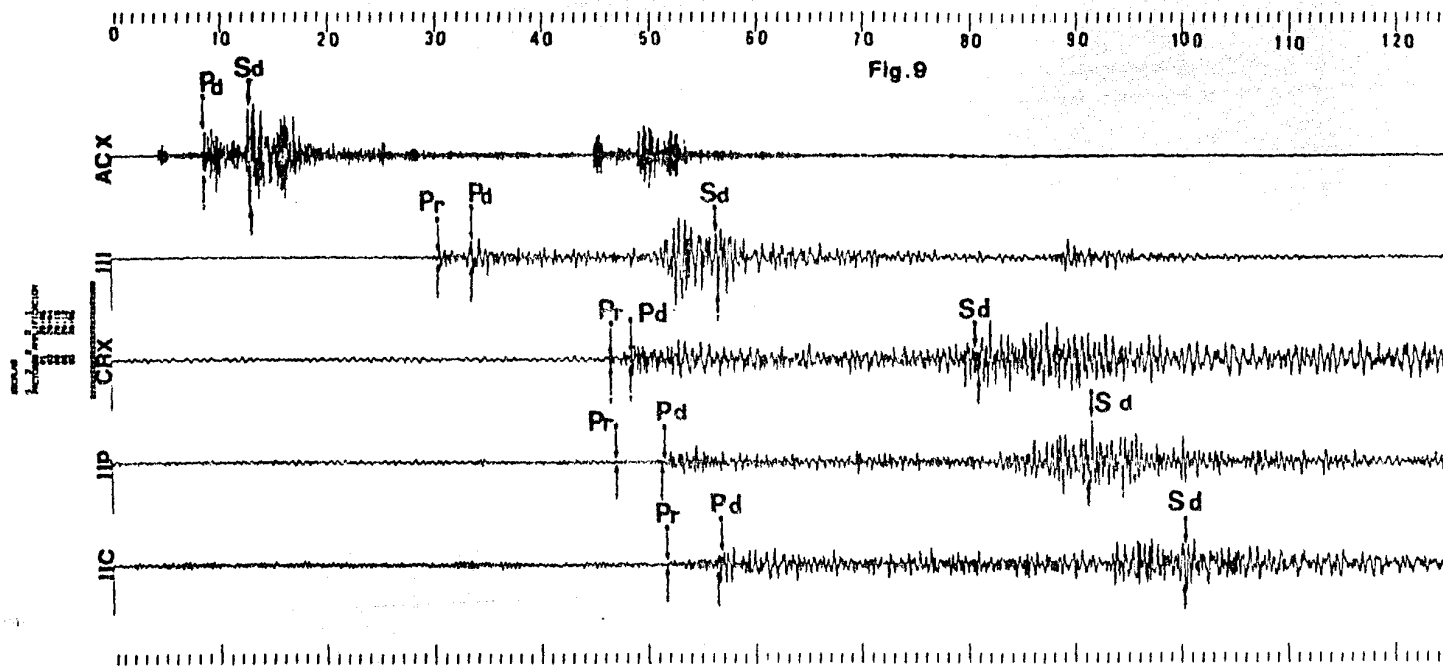


Fig.9 Ejemplo de evento localizado a una profundidad intermedia ($p=10$ Km.)
 en este caso se tiene que el hipocentro se localiza en el límite
 entre la Corteza Continental - Placa en subducción.

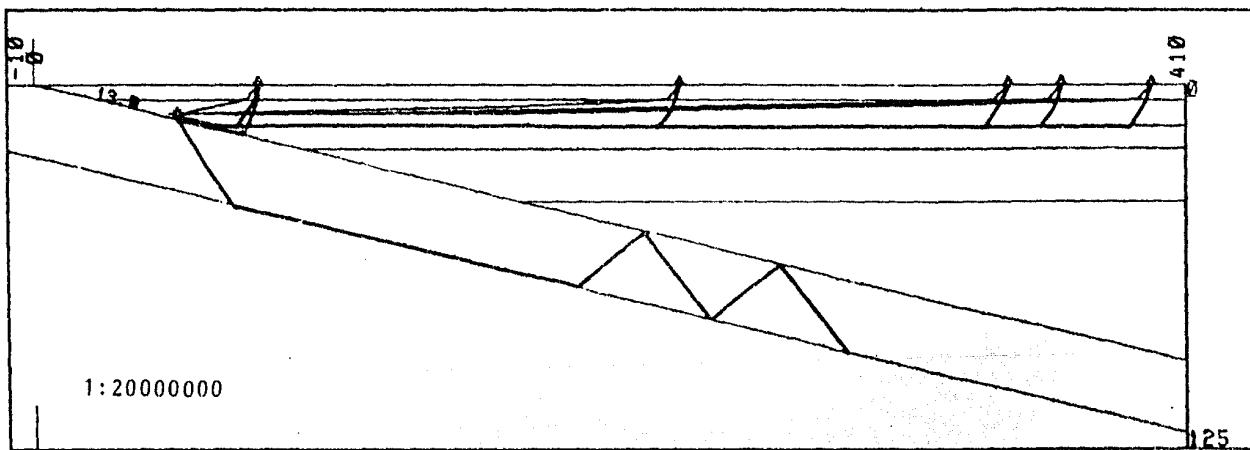


Fig.9.A Trayectorias seguidas por el evento 26-081.

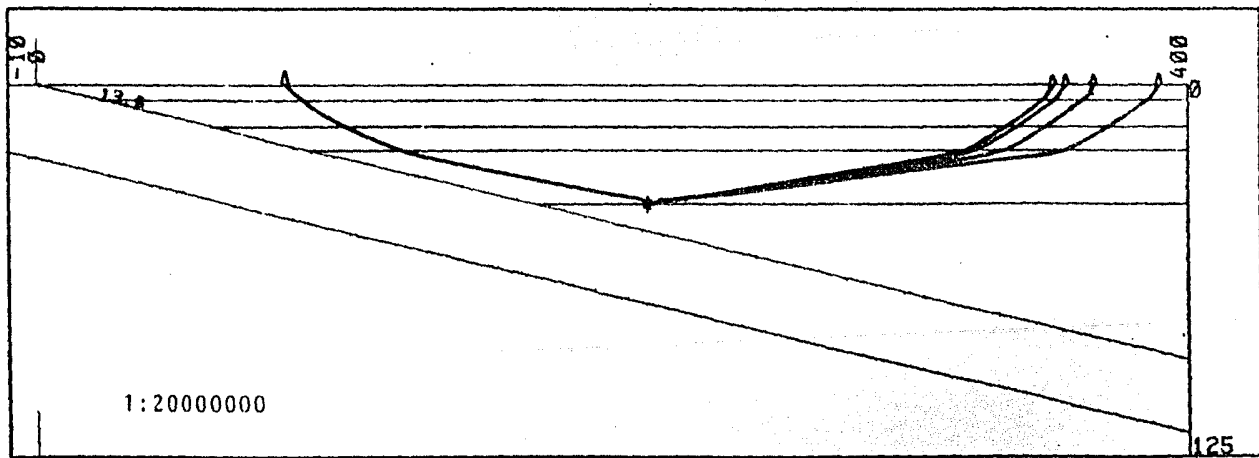


Fig.10A Ejemplo de trayectorias seguidas, por el evento 19-089.

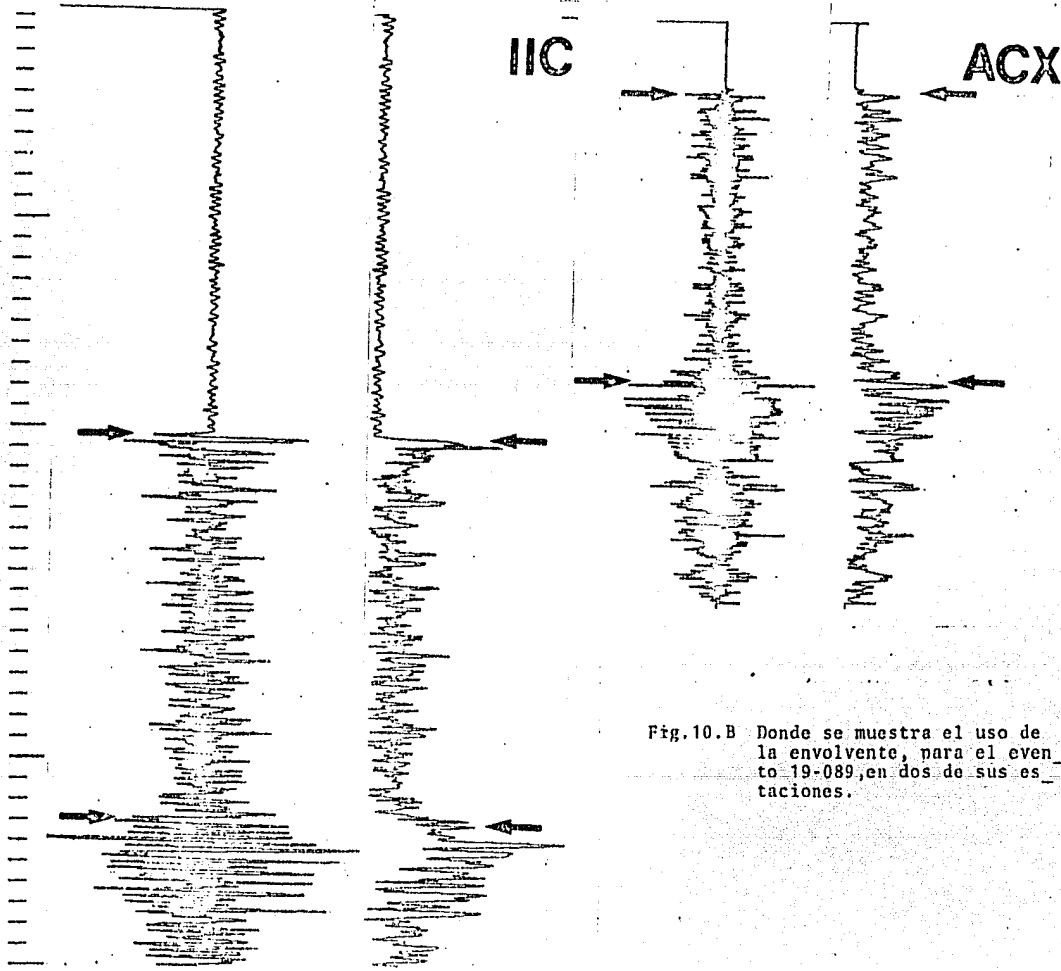


Fig.10.B Donde se muestra el uso de la envolvente, para el evento 19-089, en dos de sus estaciones.

```

=====
PTDR   : 12 INE 81
HORA   : 22/04/16
LACION : 01.25
DIFUS  : 6
ESTAD  : 5
=====
EOLUS
FACTORS 1 2 3 4 5 6
ACQUISITION
2016
01
23:18
23:19
=====

```

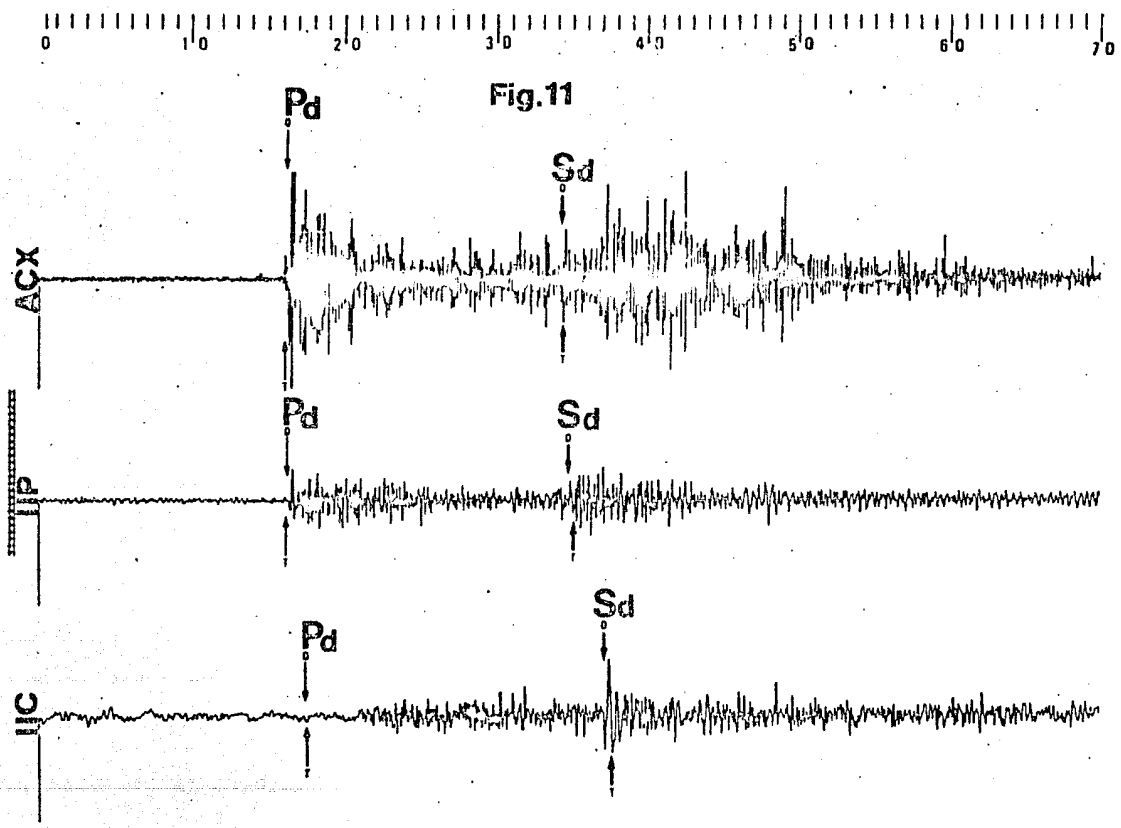


Fig.11

Fig.11 Ejemplo de registro de evento de hipocentro profundo (53 Km.).

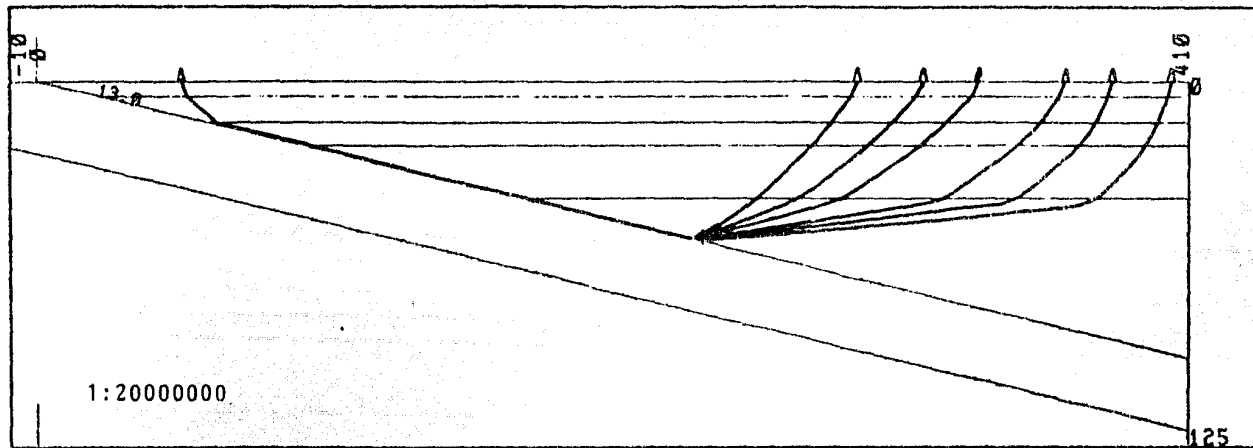


Fig.11.A Se muestran las trayectoria seguidas por los rayos del evento 17-46.

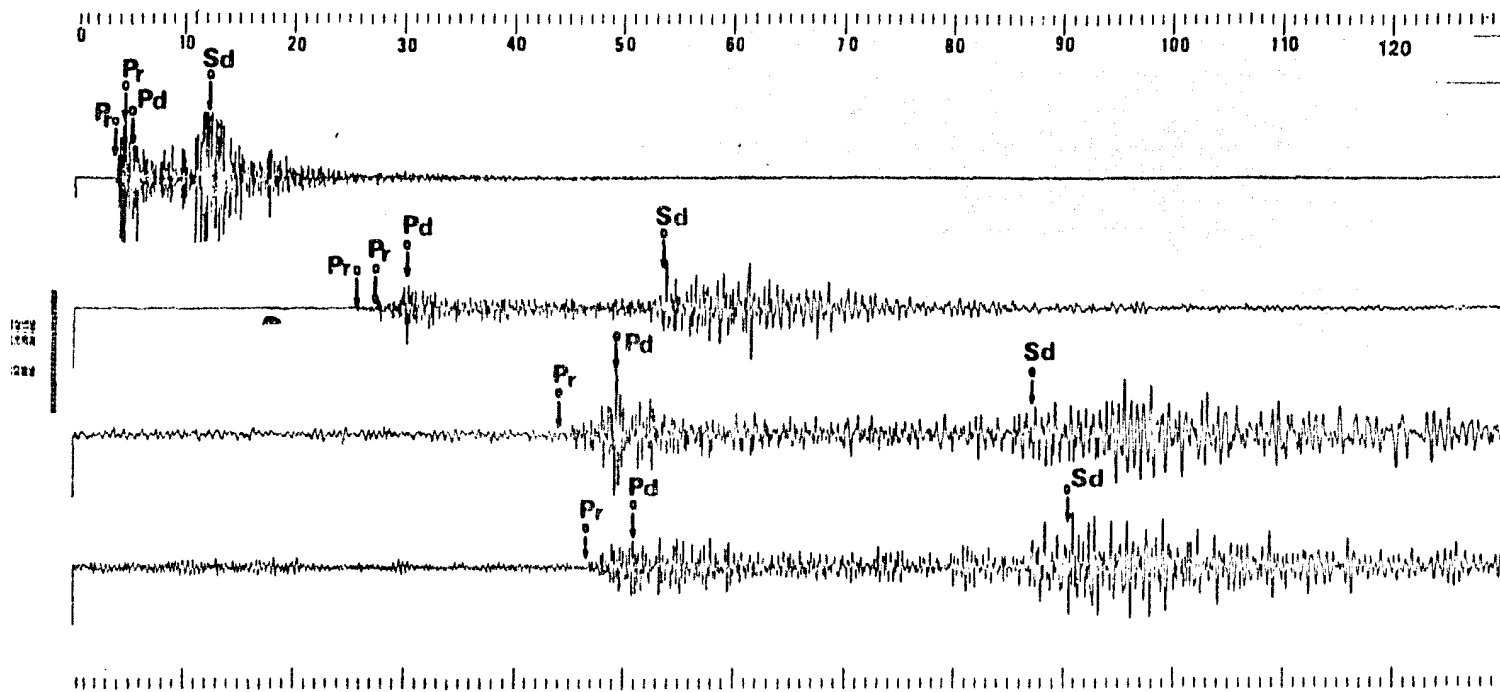


Fig.12 Registros y tiempos observados para un evento ocurrido en el límite de la Placa en subducción.

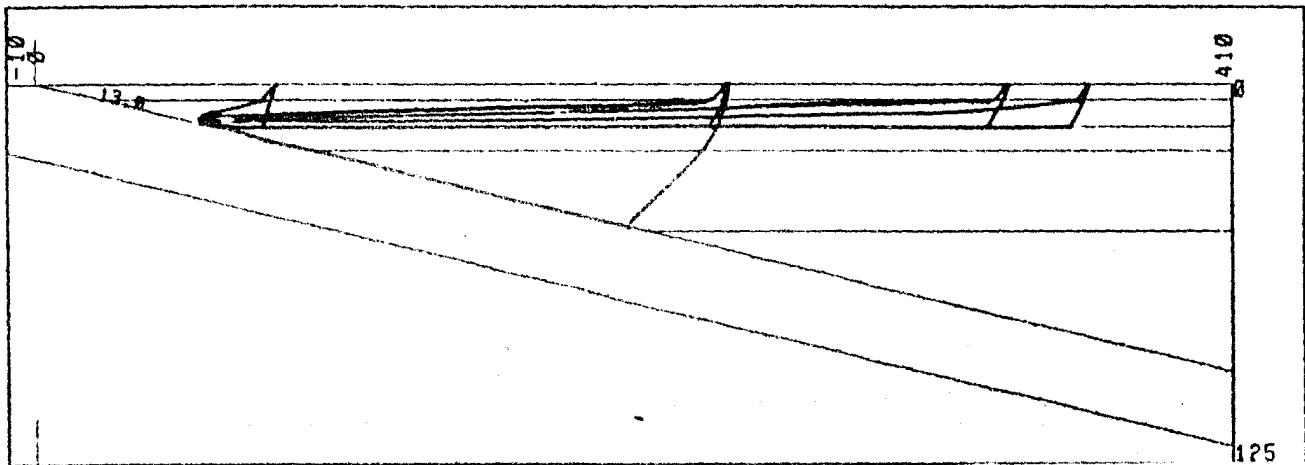


Fig.12.A Trayectorias seguidas por los rayos para el evento

11-51

CAPITULO VI

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Encontramos que los modelos COCHI y MEX-01, no son apropiados para representar la estructura del área de estudio por las siguientes razones :

Modelo COCHI :

El mayor defecto de este modelo, es tener, a una Profundidad de 22 Km., una capa de alta velocidad (8.2 Km), correspondiente al Manto (Fig.4.A). Tal grosor de la corteza no es coherente con nuestras observaciones y difiere de un gran número de determinaciones previas, que consideran un grosor de la corteza entre 40 y 45 Km. (Mooney, 1975; Castro, 1980; Havskow, 1978). Debido a la corteza demasiado delgada, para eventos con Profundidades de 20 a 40 Km., los tiempos teóricos obtenidos son mayores que los tiempos observados; ocasionando que sólo existan rayos directos; mientras que en los sismogramas aparecen fases que interpretamos como refractadas.

Ondas refractadas en la interfase Placa de Cocos - Manto

observadas en las estaciones ACX e III, no son realizables en el modelo COCHI, debido a la poca Profundidad a la que se encuentra la capa que representa al Manto. Para sismos someros de 4 a 7 Km. de Profundidad, se observan tiempos de arribo menores que los calculados; lo cual indica que las velocidades de las capas inferiores también se encuentran sobreestimadas.

Modelo MEX-01 :

Este modelo no puede explicar los tiempos de arribo refractados que se pueden observar en los registros. Esto se debe principalmente a que las dos primeras capas son de poco grosor, contrastando con la tercera capa que tiene un grosor de 25 Km. (Fig.4.b). Otra deficiencia importante del modelo, es el que la energía es atrapada en la placa inclinada para rayos críticamente refractados en la interfase Placa - Manto.

Una conclusión clara con respecto a este modelo, es que tanto velocidades como espesores de las capas horizontales se encuentran mal estimadas, ya que no se ajustan ni las diferencias de tiempos de viaje refractados, ni de directos; como se puede observar en la TABLA 4.

Se elaboró un nuevo modelo MEXD (Fig.12.B), el cual consta de 5 capas horizontales y dos inclinadas. TABLA 6.

Se ha considerado un Grosor de la corteza continental de 30 Km., el cual concuerda con el Propuesto en otros estudios de la zona (Reyes et al., 1978; Valdés et al., 1982; Dewey et al., 1978; Castro, 1980).

La Placa de Cocos Presenta una inclinación de 13° , en dirección aproximada N 20° E, con un espesor de 24 Km.. Estos últimos valores coinciden con los Propuestos Por los modelos COCHI y MEX-01.

Los resultados teóricos basados en el modelo MEXD se relacionan con los observados de la siguiente manera:

- Los arribos refractados que aparecen en los sismogramas, son correlacionables con los tiempos teóricos obtenidos.

- El modelo es adecuado Para hipocentros a cualquier Profundidad, mientras que los modelos COCHI y MEX-01, solo son adecuados Para algunos rangos de Profundidad.

- El modelo Permite la existencia de rumbos críticamente refractados en la interfase Placa de Cocos - Corteza Continental, los son registrados en las estaciones ACX e III.

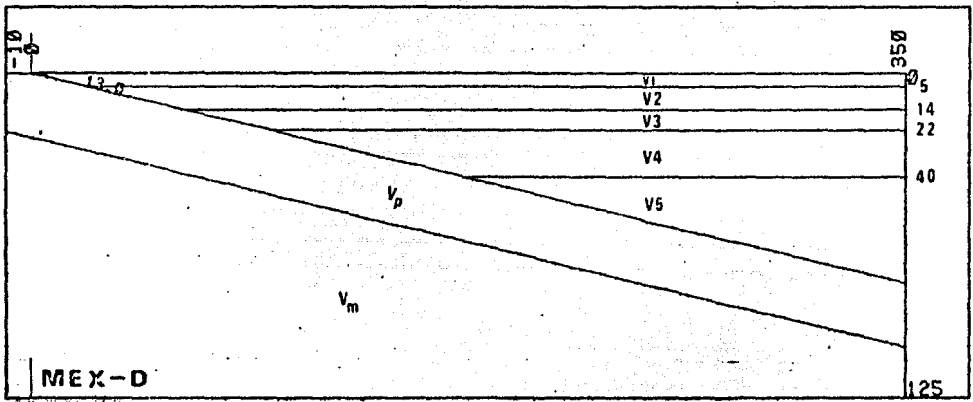


Fig. 12 B Modelo-final MEXD.

TABLA 6

MODELO MEXD

ESPEORES (Km)	VELOCIDAD P (Km/seg)
5	4.0
9	5.8
8	6.25
18	7.1
	8.2
----- PLACAS--INCLINADAS-----	
24	7.5
	8.2

Tabla 6. Modelo final MEXD.

- Los tiempos relativos del Primer arribo a cada una de las estaciones que han sido calculados, coinciden con los tiempos observados.

- El error medio cuadrático de los residuales Para este modelo es de 0.165.

La figura 13 muestra un ejemplo que compara los modelos utilizados, mostrando la superioridad del modelo MEXD.

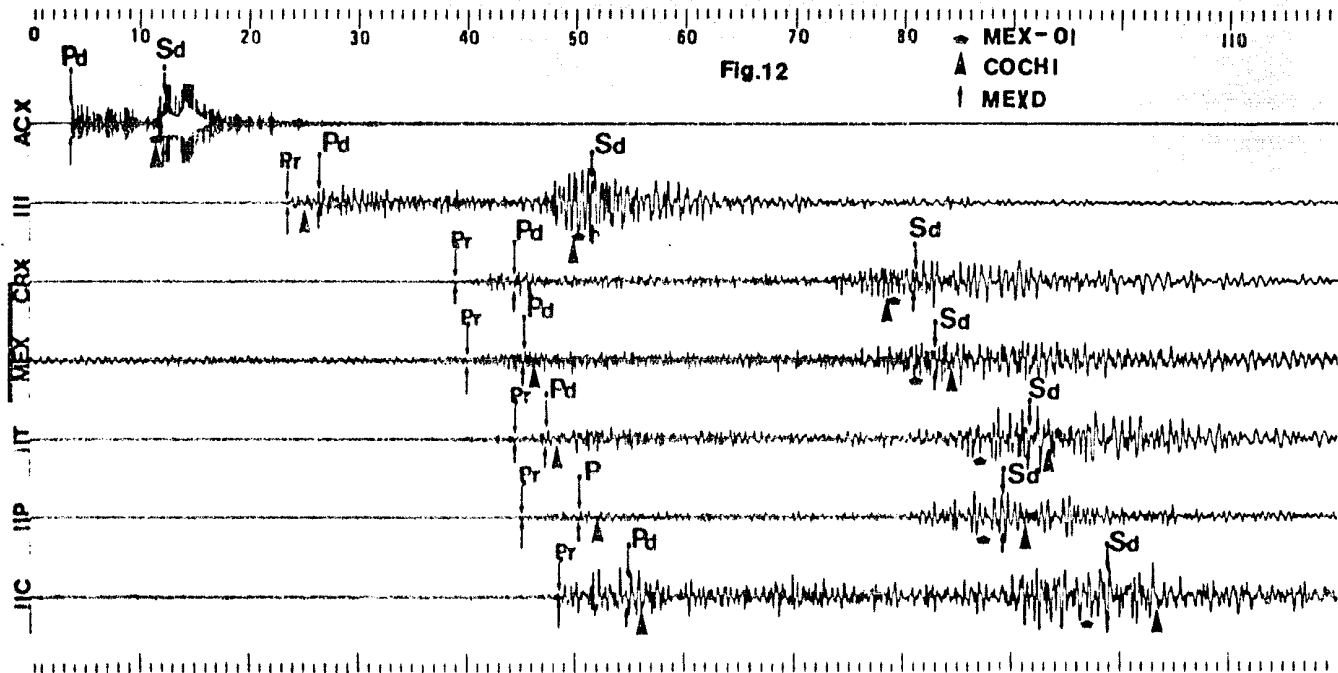


Fig.13 Se muestran las diferencias comparativas de los resultados de tiempos de arribo entre los modelos MEX-01,COCHI v MEXD.

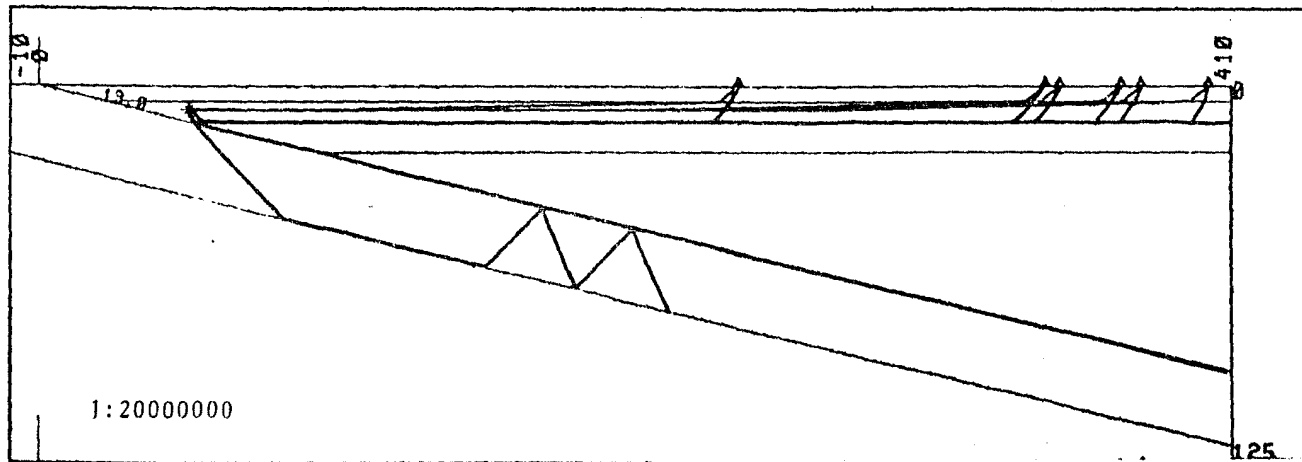


Fig.13.A Representación de las trayectorias seguidas en el modelo COCHI para el evento 27-006.

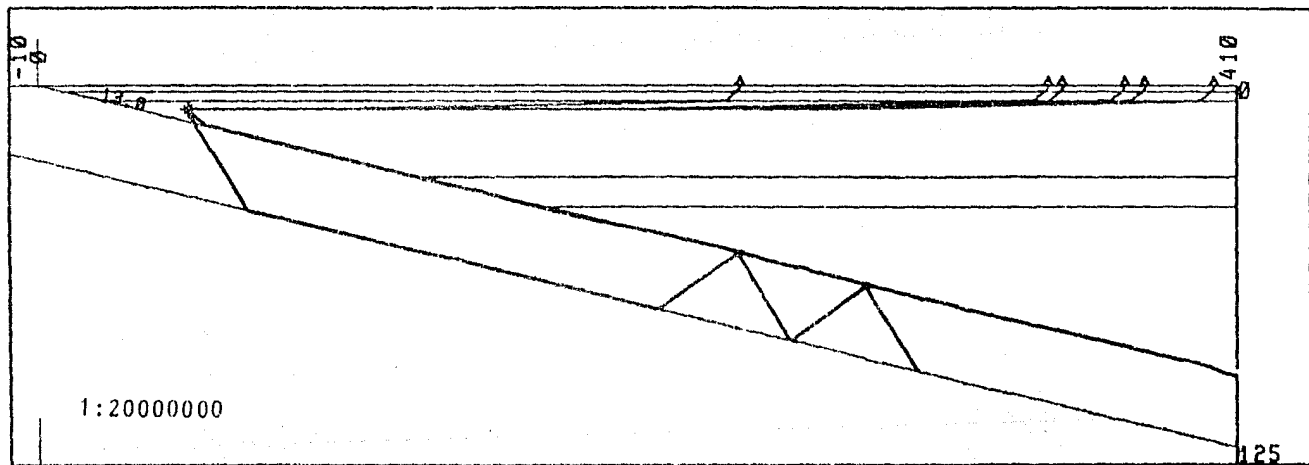


Fig.13.B Representación de las trayectorias seguidas en el modelo MEX-01 para el evento 27-006.

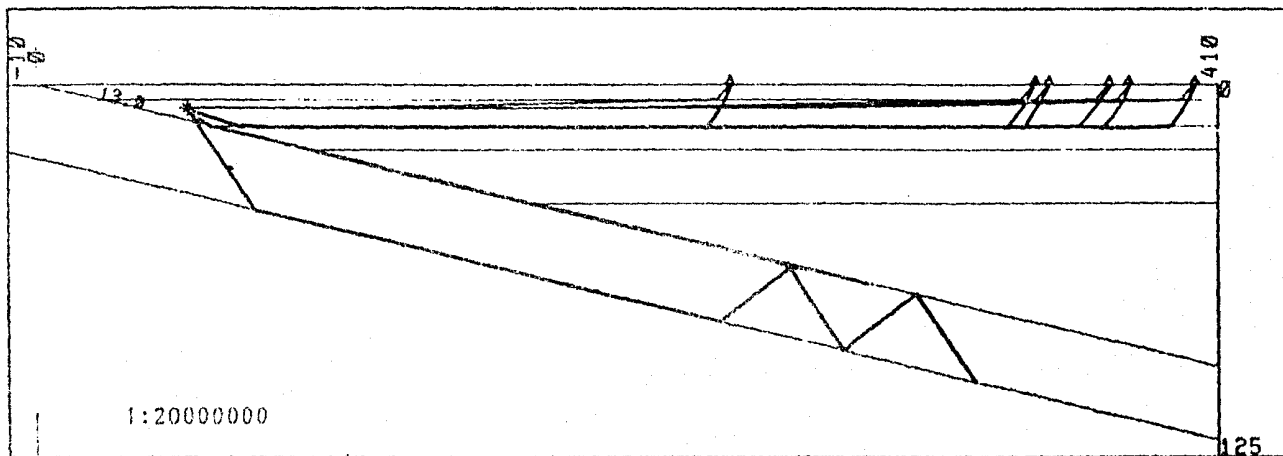


Fig. 13.6. Representación de las trayectorias seguidas en el modelo MEXD para el evento 26-006.

REFERENCIAS

Bracewell, R., 1965, The Fourier Transform and its applications. McGraw Hill, 381 pp.

Boletín RESMAC, 1984, Instituto de Geofísica.

Bullard, E., 1969, El origen de los océanos. Scientific American. V 21, 214-225.

Carta Geológica de la República Mexicana, 1976, Compilada por Ernesto López Ramos, esc. 1:2000000, Instituto de Geología, UNAM.

Castro, R., 1980, Un modelo de la corteza terrestre para el sur de México mediante sismos Profundos. Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM, 74 pp.

Chael, E., and Stewart, G., 1983, Recent large earthquakes along the middle American Trench and their implications for the subduction process. J. Geophys Res. V 87.

Dewey, J.F., and Bird, F.M., 1970, Mountain belts and the new global tectonics. J. Geophys. Res., 75. 2625-2647

Dobrin, M., 1975, Introducción a la Prospección Geofísica Ediciones Omega, 475 pp..

Drowley, D., McNally, K., González, L., 1977-78, A dipping gradient layer velocity model for Southern Mexico. Geofísica Internacional, V 17, pp. 387-392.

Farnbach, 1975, The complex envelope in seismic signal analysis. Bull. Seism. Soc. Amer., 65, 951-962.

Fix, E.J., 1975, The crust and upper mantle of Central México. *J. Geophys. Res.*, 43, 113-129.

Havskov, J., 1978, Plate tectonics and seismic evidence for mantle inhomogeneities, Ph. D. thesis, Department of Physics, University of Alberta, CaP.2 y 4.

Lermo, J., 1984, Análisis de residuales de Primeros arriivos Para el centro de México, Tesis Profesional Facultad de Ingeniería, UNAM.

Lomnitz, C., 1981, Refracted Phases of subducted oceanic Plate from mexican intermediate depth earthquake. *Comunicaciones técnicas IIMAS, UNAM. Serie Naranja, No.276, 13 pp.*

Lomnitz, C., 1982, Direct evidence of a subdirected Plate under southern Mexico. *Nature*, 296, pp.235-238.

Mammerickx, J., and Klitgaard, K., 1982, Northern East Pacific Rise: Evolution from 25 M.Y. B.P. to the Present. *J. Geophys. Res.*, 87, 67, 6751-6759.

McNally, K., 1981, Plate subduction and the Prediction of earthquakes along the Middle America trench. *Earthquakes Prediction, Maurice Ewing Ser.*, 4, A.G.U. Washington, D.C.

Minster, J.B., Jordan, T.H., 1978, Present-day Plate motions. *J. Geophys. Res.*, V 83, 5331- 5354.

Molnar, P., and Sikes, L.R., 1969, Tectonics of the Caribbean and Middle America regions from focal mechanisms and seismicity. *Bull. seism. Soc. Amer.* 80, 1639-1684.

Nava, F.R., Brune, J., 1982. An earthquake-exploration reversed refraction line in Peninsular ranges of Southern California and Baja California Norte. Bull. Seism. Soc. Amer., 72, 1195-1206.

Nava, F.R., 1984. A Program for 2D seismic ray tracing in Benioff Zones. Computers o Geosciences. Submitted.

Nava, F.R., Toledo, V. and Lownitz, C., 1984. Plate tectonics and the 1984 Huajuapán de León, México, earthquake. Tectonophysics, in Press.

Novelo, B., 1989. Sismicidad Profunda en Chiapas. Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM. 76 p.

Ogúiza, F.V., 1980. Sismicidad en la región del Volcán de Orizaba: observaciones del 20 de enero al 15 de abril de 1979. Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, UNAM. 27 p.

Ponds, et al., 1982. Source mechanism and aftershock study of the Colima, Mexico earthquake of January 30, 1979. Bull. Seism. Soc. Amer., 69, 1819-1840.

Steinhart, J., and Meyer, R., 1961. Explosion studies of continental structure. Carnegie Inst. of Washington Publ. 622, 344-391.

Toledo, V.R., y Nava, F.R., 1983. Ondas de Plaza y el sismo de Huajuapán de León de 1980. Comunicaciones Técnicas IIMAS, UNAM. Serie Naranja, No.330. 65 pp.

Ugón, M., 1971. Introducción a la sismología y estructura de la tierra. 150 pp.

Valdés, C., Mooney, H., Singh, S., Lonitz, C.,
1984. Crustal structure of Oaxaca, México, from
seismic refraction measurements. Bull. seism. Soc.
Amer., submitted.

Valdés, C.M. y Zuñiga, F.R., 1980, Análisis de las
réplicas del temblor de Poxtlán del 14 de marzo de
1979. Tesis Profesional, Fac. de Ingeniería, UNAM,
60 pp.

APENDICE

LISTADO DEL PROGRAMA

```

C ESTE PROGRAMA CALCULA LOS TIEMPOS DE ARRIVO PARA LAS ONDAS
C REFRACTADAS CON EL FIN DE REALIZAR UN MODELO ESTRUCTURAL
C DE LA TRINCHERA DE ACAPULCO
C VARIABLES UTILIZADAS:

```

```

C U= VELOCIDADES DE CADA UNA DE LAS CAPAS
C Z= ESPESORES DE LAS CAPAS
C M= NUMERO DE CAPAS
C P= PROFUNDIDAD DEL FOCO
C ALFA= ECHADO DE LA PLACA
C UP= VELOCIDAD DE LA PLACA
C L= DISTANCIA ENTRE LA TRINCHERA Y EL DETECTOR
C XH= DISTANCIA DE LA TRINCHERA AL EPICENTRO
C UP1= VELOCIDAD BAJO LA PLACA INCLINADA
C ES= ESPESOR DE LA PLACA

```

```

C LECTURA DE DATOS

```

```

C DIMENSION U(15),PR(15),MIZ(15),Z(15)

```

```

49 PIS=-1
SIP=-1

```

```

C TYPE*, ' MODELOS A ESCOGER'
TYPE*, 'COCHI=0 U=4,4,5,6,6,4,8,2 Z=5,7,10,80'
TYPE*, 'MOD=1 MEXD U=4,5,6,8,25,7,1,8,1 Z=5,9,8,18,80'
TYPE*, 'MOD=-1 A ESCOGER DATOS'

```

```

TYPE*, 'MOD='
READ(5,*)MOD
TYPE*, 'P=,ALFA=,W=,XA= ?'
READ(5,*)P,ALFA,W,XA

```

```

002 ES=24.
SIP=-1
PIS=-1

```

```

PIH=1
ESIM=ES
WIM=W

```

```

ALIM=ALFA
XAIM=XA

```

```

IF(W-XA)779,777,777

```

```

779 CALL DIZ(P,ALFA,ES,W,XA,MOD,SIP,PIS)
GO TO 45

```

```

777 IF(MOD)700,800,800

```

```

700 TYPE*, 'Nº MERO DE CAPAS M= '

```

```

READ(5,*)M
TYPE*, 'VELOCIDAD DE LA PLACA UP='
READ(5,*)UP
TYPE*, 'VELOCIDAD BAJO LA PLACA UP1='
READ(5,*)UP1
DO 1 I=1,M

```

```

TYPE*, 'U(,I,)= , Z(,I,)= ?'
READ(5,4)U(I),Z(I)

```

```

1 CONTINUE

```

```

C SE ESCOGE EL MODELO ADECUADO

```

```

000 PI=3.14159
ALFA=(ALFA*PI)/180.
UP=7.5
UP1=0.2

```

```

411 IF(MOD)827,850,875

```

```

050 M=4.
U(1)=4.4
U(2)=5.6
U(3)=6.4

```

```

U(4)=8.2
Z(1)=5.
Z(2)=7.
Z(3)=10.
Z(4)=30.
IF(PIS)626,420,420
826 IF(SIP)825,410,410
075 M=5.
U(1)=4.0
U(2)=5.9
U(3)=6.25
U(4)=7.1
U(5)=8.2
Z(1)=5.
Z(2)=9.
Z(3)=8.
Z(4)=10.
Z(5)=30.
IF(PIS)827,420,420
827 IF(SIP)825,410,410
025 DO 41 IL=1,M
IF(VI-U(IL))41,46,41
41 CONTINUE
R=99999.0
C CONTROL INICIAL
PP=XATAN(ALFA)
IF(PP-P)450,4,4
C CALCULAR EN QUE CAPA DEL MODELO SE ENCUENTRA EL FOCO
4 ZA=0.0
DO 2 I=1,M
ZA=ZA+Z(I)
IF(ZA-P)2,3,3
2 CONTINUE
C LA ES EL NUMERO DE CAPA EN DONDE SE ENCUENTRA EL FOCO
3 LA=I
LAP=LA
C "AL" ES LA PROFUNDIDAD DESDE LA SUPERFICIE HASTA UNA CAPA ANTES
TYPE*, 'LA=NUMERO DE CAPA QUE CONTIENE AL FOCO',LA
TYPE*, 'MODO DE TRANSMISION DE BAJADA PARA',M, 'CAPAS S=1.?'
CALL AME(M,U)
TYPE*, 'TRANSMISION EN LA PLACA Y BAJO DE ELLA'
READ(5,*)TR,FR
IF(TR.EQ.1.)UP=UP/1.7320508
IF(FR.EQ.1.)UP1=UP1/1.7320508
C DE LA CAPA QUE CONTIENE EL FOCO
409 AL=0.0
DO 27 K=1,LA-1
AL=AL+Z(K)
27 CONTINUE
C CALCULO DE ANGULOS CRITICOS 'AC'
L=LA
NA=1
IFE=0
DO 10 J=LA,M
IF(U(J+1).EQ.0.)U(J+1)=UP
114 IF(U(J+1)-U(J))96,334,334
334 AC=ASIN(U(J)/U(J+1))
C SE APLICA EL CONTROL
ZB=0
DO 11 I=1,L
ZB=ZB+Z(I)
11 CONTINUE
IF(1-NA)*TAN(AC)+XA
30 XLI=(ZB-P)*TAN(AC)+XA

```

```

PP=XL1*TAN(ALFA)
IF(R-XL1)65,65,32
31 XL=Z(J)*TAN(AC)+XL1
PP=XL*TAN(ALFA)
IF(R-XL)65,65,32
32 IF(PP-Z)13,13,12
12 IF(1-NA)8000,6500,6500
8500 JEN=LA
GO TO 8300
8000 JEN=1
8300 IFE=IFE+JEN
IF((J+2)-M)15,15,13
15 AC=ASIN(U(J)/U(J+2))
IF(1-NA)34,33,33
33 XL1=(ZB-P)*TAN(AC)+XA
IF(R-XL1)65,65,35
34 XL1=Z(J)*TAN(AC)+XL1
IF(R-XL1)65,65,35
35 PP=XL1*TAN(ALFA)
IF(PP-ZB)13,13,9
9 L=L+1
NA=NA+1
10 CONTINUE

C
C SE CALCULA EL ANGULO CRITICO CON LA PLACA.
13 IF(U(J)-UP)423,423,46
423 ACP=ASIN(U(J)/UP)
IF(R-99999.0)97,58,97

C
C
C CALCULAR LOS TIEMPOS DE RECORRIDO
58 RO=0.0
IF(J.EQ.LA)GO TO 40
IF((J-LA)-2)25,16,16
C SE CALCULA EL TIEMPO DE BAJADA PARA CAPAS HORIZONTALES
16 TBA=(ZA-P)*U(LA+2)
TBD=U(LA)*SQRT((U(LA+2)**2)-(U(LA)**2))
TB=TBA/TBD
IF((J-1)-(LA+1))18,57,57
57 SAT=0.0
DO 17 I=LA+1,J-1
TB=TB+(Z(I)*U(I+2))/(U(I)*SQRT((U(I+2)**2)-(U(I)**2)))
17 CONTINUE
PH=0.0
GO TO 18
C TIEMPOS PARA LA ULTIMA CAPA Y LA PLACA
25 IF(U(LA+2).EQ.0.)U(LA+2)=UP
225 TBA=(ZA-P)*U(LA+2)
TBD=U(LA)*SQRT((U(LA+2)**2)-(U(LA)**2))
TB=TBA/TBD
18 IF(XL1.EQ.0.0)GO TO 40
GO TO 42
40 CX=XA
CY=P
TB=0.0
GO TO 43
42 CX=XL1
CY=0.0
DO 19 I=1,J-1
CY=CY+Z(I)
19 CONTINUE
C CALCULO DE LAS COORDENADAS DEL PUNTO E
43 AQ=SQRT((UP**2)-(U(J)**2))
AH=ACOS(ALFA)+U(J)*SIN(ALFA)

```

```

IM=(U(J))*COS(ALFA)-AQ*SIN(ALFA)
EM=(PI/2)-I
EX=(CY-(EM*CX))/(TAN(ALFA)-EM)
EY=EX*TAN(ALFA)
CE=SQRT(((CX-EX)**2)+((CY-EY)**2))
TD=CE*U(J)
SIF=SIF+1
GO TO 411
C
-110 CALCULO DE LAS COORDENADAS DEL PUNTO I
TYPE*, 'FORMA DE TRANSMISION DE SUBIDA P=0 S=1 '
TYPE*, '<MODO DE TRANSMISION PARA',M,'CAPAS> ?'
CALL AME(M,U)
XX=0.0
106 JI=J
1060 DO 90 JA=1,JI-1
XX=XX+(Z(JA)*U(JA)/SQRT((U(JA+2)**2)-(U(JA)**2)))
90 CONTINUE
XI=X-XX
YI=0.0
DO 91 JA=1,JI-1
YI=YI+Z(JA)
91 CONTINUE
C
CALCULO DE LAS COORDENADAS DEL PUNTO G
AQ=SQRT((UP**2)-(U(J)**2))
CM=(AQ)*COS(ALFA)-(U(J)*SIN(ALFA))
DM=((U(J)*COS(ALFA))+(AQ*SIN(ALFA))
GM=(-1)*(CM/DM)
GX=(YI-(GM*XI))/(TAN(ALFA)-(GM))
GY=GX*TAN(ALFA)
C
COMPARACION DE PROFUNDIDADES DE LA PLACA Y LA ULTIMA CAPA
IF(GY-ZB)95,95,196
196 JI=JI+1
J=J1
IF(UP-U(JI))96,1060,1060
C
SE CALCULAN LAS DISTANCIAS CE,EG Y GI
95 EG=SQRT(((EX-GX)**2)+((EY-GY)**2))
GI=SQRT(((GX-XI)**2)+((GY-YI)**2))
C
SE CALCULAN LOS TIEMPOS
IF(EX.GT.GX)GO TO 333
GO TO 222
333 TYPE*, '***** MAYOR DISTANCIA *****'
GO TO 198
222 TE=EG/UP
C
SE CALCULA EL TIEMPO DE SUBIDA
TS=0.0
DO 20 I=1,JI-1
IF(U(I+2).EQ.0.)U(I+2)=UP
202 TS=TS+(Z(I)*U(I+2)/(U(I)*SQRT((U(I+2)**2)-(U(I)**2))))
20 CONTINUE
C
TIEMPO DE RECORRIDO TOTAL
TT=TH+TD+TE+TF+TS
TYPE*, 'TIEMPO DE RECORRIDO TOTAL TT= ',TT
C
INTERFASE PLACA-MANTO
GO TO 449
C
CASO EN EL QUE EL FOCO ESTA EN LA PLACA.
-190 TYPE*, '<TRANSMISION DE SUBIDA PARA',M,'CAPAS> ?'
CALL AME(M,U)
HI=(IS/(SIN(PI/2)-ALFA))+(XAKTAN(ALFA))
IF(HI-P)478,478,480
478 ES PARA EL RAYO DIRECTO
-180 P3=P-(XAKTAN(ALFA))
P1=P*(SIN(PI/2)-ALFA)
ES=ES-P1

```

```

RS=ES/(COS(ASIN(UP/UP1)))
FS=ES*PI
RX=X1
RY=P
AP=(PI/2)-ASIN(UP/UP1)+ALFA
SX=RX+(RS*COS(ARG))
SY=RY+(PS*SIN(ARG))
DO 455 J0=1,M-1
IF(U(J0+2).EQ.0.)U(J0+2)=UP
457 IF(U(J0+2)-U(J0))896,458,458
456 TYPE*, '***** LA ENERGIA SE ENTRAMPO EN LA PLACA *****'
GO TO 478
458 AC=ASIN(U(J0)/U(J0+2))
ZR=0.
ZR=ZP+Z(J0)
UA=Z(J0)*TAN(AC)+UA
HE=H1
HE1=ZR/TAN(ALFA)
IF((HE-HE1).GE.HE)GO TO 460
IF(J0.EQ.(M-1))GO TO 4467
455 CONTINUE
4467 J0=J0+1
460 TS=0.0
DO 441 IU=1,J0
IF(IU.EQ.(J0-1))U(IU+2)=UP
IF(IU.EQ.J0)U(IU+2)=UP1
IF(U(IU+2).EQ.0.)GO TO 999
IF(U(IU).EQ.U(IU+2))GO TO 999
461 TS=TS+(Z(IU)*U(IU+2)/(U(IU)*SQRT((U(IU+2)**2)-(U(IU)**2))))
461 CONTINUE
999 IF(U(J0-1).EQ.0.)GO TO 666
GO TO 444
666 HE2=H-(Z(1)*TAN(ASIN(U(1)/UP1)))
GO TO 465
444 IF(U(J0-2).EQ.0.)GO TO 667
GO TO 445
667 HE2=H-((Z(1)*TAN(ASIN(U(1)/UP1)))+(Z(2))*
*TAN(ASIN(U(2)/UP1)))
GO TO 465
115 DO 888 I=1,J0-2
HE2=HE2+(Z(I)*TAN(ASIN(U(I)/U(I+2))))
438 CONTINUE
HE2=HE2+(Z(J0-1)*TAN(ASIN(U(J0-1)/UP1)))
IF(U(J0).EQ.UP1)GO TO 899
GO TO 899
890 TYPE*, '***** LA ENERGIA SE ENTRAMPO *****'
GO TO 478
899 HE2=HE2+(Z(J0))*TAN(ASIN(U(J0)/UP1))
465 UX=H-UF2
UY=UX*TAN(ALFA)
PPS=RS/(COS(ASIN(UP/UP1)))
AR=(PI/2)-ALFA-(ASIN(UP/UP1))
TX=UX-(PPS*COS(AR))
TY=UY+(PPS*SIN(AR))
IF(T.LT.SX)GO TO 98
RS=SQRT(((SX-RX)**2)+((SY-RY)**2))
ST=SQRT(((TX-SX)**2)+((TY-SY)**2))
TU=SQRT(((TX-UX)**2)+((TY-UY)**2))
TER=(RS/UP)+(ST/UP1)+(TU/UP)+TS
TYPE*, '*** TIEMPO PLACA=MANTO= ',TER
GO TO 478
449 COT=(1/TAN(ASIN(U(J)/UP1)-ALFA))
RX=(Y-(CX*COT))/(TAN(ALFA)-COT)
RY=RX*TAN(ALFA)

```



```

GO TO 411
120 TYPE*, 'WAR'
201 T=((ZA-P)*U(LA+1))/(U(LA)*SQRT((U(LA+1)**2)-(U(LA)**2)))
TE=XA+(ZA-P)*TAN(ASIN(U(LA)/U(LA+1)))
TE=TE+(Z(LA)*TAN(ASIN(U(LA)/U(LA+1))))
IF(LA-1)204,206,204
204 DO 205 K=1,LA-1
TE=TE+(Z(K)*TAN(ASIN(U(K)/U(K+2))))
205 CONTINUE
IF(W-TE)98,206,206
206 T=T+(W-TE)/U(LA+1)
IF(P-ZA)328,327,328
327 LA=LA+1
328 DO 207 K=1,LA-1
T=T+((Z(K)*U(K+2))/(U(K)*SQRT((U(K+2)**2)-(U(K)**2))))
207 CONTINUE
IF(P-ZA)331,330,331
330 LA=LA-1
331 T=T+(Z(LA)/(U(LA)*COS(ASIN(U(LA)/U(LA+1))))
TYPE*, '**** TIEMPO REFRACTADO T1=',T
GO TO 250
C
210 CALCULO DEL TIEMPO PARA MAS DE DOS CAPAS
T=(ZA-P)/(U(LA)*COS(ASIN(U(LA)/U(LA+2))))
TE1=0.0
DO 212 K=1,LA
T=T+(Z(K)/(U(K)*COS(ASIN(U(K)/U(K+2))))))
TE1=TE1+(Z(K)*TAN(ASIN(U(K)/U(K+2))))
212 CONTINUE
IF(U(KA+1).EQ.0.)GO TO 478
TE1=TE1+((ZA-P)*TAN(ASIN(U(LA)/U(LA+2))))+XA
TE1=TE1+(2*(Z(KA)*TAN(ASIN(U(KA)/U(KA+1))))))
IF(W-TE1)98,214,214
214 T=T+((W-TE1)/U(KA+1))
T=T+(2*(Z(KA)/(U(KA)*COS(ASIN(U(KA)/U(KA+1))))))
IF(LA-(KA-1))215,213,213
213 TYPE*, '**** TIEMPO REFRACTADO T2=',T
GO TO 250
215 IF(U(KA+1).EQ.0.)GO TO 478
T=T-((W-TE1)/U(KA+1))
DO 217 K=LA+1,KA-1
T=T+(2*(Z(K)/(U(K)*COS(ASIN(U(K)/U(K+2))))))
IF(U(KA+2).EQ.0.)GO TO 217
TE1=TE1+(2*(Z(K)*TAN(ASIN(U(K)/U(K+2))))))
217 CONTINUE
IF(W-TE1)98,220,220
220 T=T+((W-TE1)/U(KA+1))
KS=K-2
TYPE*, '**** TIEMPO REFRACTADO PARA ',KS,'T=',T
250 CONTINUE
478 PP=XATAN(ALFA)
CALL RAD(LAP,Z,P,W,XA,PI,MOD,M,PP,ES,ALFA,AL)
C
C
45 TYPE*, 'OTRA VEZ? SI=1 NO=-1'
READ(S,X)MAR
IF(MAR)48,48,498
498 TYPE*, '???? CON LOS MISMOS DATOS S=1 ????????'
READ(S,I)IJZ
IF(IJZ.EQ.1)GO TO 1112
GO TO 49
1112 P=PIII
ES=ESII
W=WII
XA=XIII

```


ALFA-ALIM
PIS--1
SIP--1
GO TO 602
4B CALL EXIT
END