

*EL TEMBLOR DE HUAJUAPAN DE LEÓN, OAXACA, MÉXICO,  
DEL 24 DE OCTUBRE DE 1980*

J. YAMAMOTO\*

Z. JIMENEZ\*

R. MOTA\*

*(Recibido: 10 de octubre, 1983)*

*(Aceptado: 9 de enero, 1984)*

RESUMEN

El análisis de los tiempos de arribo y primeros impulsos indica que el foco del temblor de Huajuapán de León, Oaxaca (14:54 GMT; 6.6 mb; 7.0 Ms) del 24 de octubre de 1980, se sitúa a los 18.03°N y 98.27°W y 65 km de profundidad, dentro de la Placa Continental. La ruptura principal ocurrió como un afallamiento normal a lo largo de un plano de rumbo N88°W y buzamiento de aproximadamente 26° hacia el NNE. Las réplicas están concentradas en una área de forma elíptica orientada NW-SE de 32 km de longitud por 10 km de ancho.

La distribución de intensidades muestra una clara amplificación hacia el sureste debido posiblemente a un fenómeno de enfocamiento, motivado por la orientación de la falla y el mecanismo de ruptura.

ABSTRACT

The analysis of arrival times and first motion data indicates that the focus of the October 24, 1980 (14:54 GMT; 6.6 mb; 7.0 Ms) Huajuapán de León, Oaxaca earthquake is located at 18.03°N and 98.20°W and 65 km deep inside the Continental Plate. The main rupture occurred as normal faulting probably along a fault striking N 88° W and dipping approximately 26° toward NNE. The aftershock activity defines a 32 km long and 10 km wide elongated area oriented NW-SE.

The seismic intensity distribution shows a clear amplification toward the southeast as compared to the north due possibly to an energy focusing phenomenon, caused by the orientation of the fault and the rupture mechanism itself.

\* *Instituto de Geofísica, UNAM, México, D. F., MEXICO.*

## INTRODUCCION

El 24 de octubre de 1980 a las 14:54 (GMT) se produjo un intenso movimiento sísmico (magnitud =  $6.6 m_b$ ;  $7.0 M_s$ ) que conmocionó la región limítrofe entre los estados de Oaxaca, Puebla y Guerrero, causando gran alarma y daños de consideración en poblaciones situadas en un radio de 100 km del epicentro. Sus efectos fueron particularmente devastadores en Huajuapán de León, Oaxaca, población situada aproximadamente a 60 km al sureste del epicentro (figura 1), en donde el 90% de las construcciones fueron seriamente dañadas y muchas de ellas completamente destruidas.

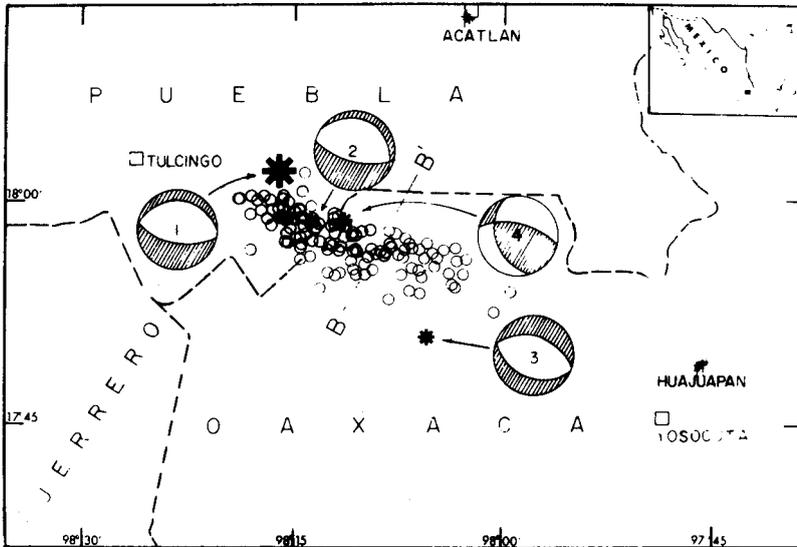


Fig. 1. Mapa que muestra la región epicentral del temblor del 24 de octubre de 1980. Los asteriscos (\*) y (\*) indican respectivamente la posición del evento principal y de las tres réplicas de mayor magnitud (tabla 1). Los círculos (o) y cuadros (□) representan otras réplicas y estaciones sísmológicas respectivamente. Se muestra también el diagrama del mecanismo focal de los eventos estudiados. Los cuadrantes sombreados corresponden a las compresiones. Se usó proyección sobre el hemisferio inferior.

Por otro lado, en la Ciudad de México, situada a 180 km del epicentro, se produjeron alarma general, algunos brotes de histeria y pánico colectivo, ocasionados por el intenso movimiento y por la suspensión de energía eléctrica en prácticamente toda la ciudad, con el consiguiente caos en el tráfico de personas y vehículos en esta ya de por sí conflictiva hora de la mañana (8:54 a.m. hora local). Afortunadamente, fuera del impacto psicológico en la población, los daños materiales pueden hoy catalogarse como moderados.

Una característica notoria fue la duración extremadamente larga de las oscilaciones con que fue sentido este temblor en comparación con otros eventos de magnitud similar que ocurren frecuentemente en las costas del Pacífico.

Reportes oficiales consignan un total de 53 personas muertas, más de mil heridos y cerca de 15 mil damnificados, con no menos de 6 ciudades y 60 poblaciones dañadas. La evaluación de las pérdidas materiales totales no ha sido publicada aún, pero la inspección visual del área, hace suponer que asciende a muchos millones de pesos. Por otro lado, produjo daños de incalculables proporciones a innumerables edificios históricos, principalmente a iglesias y catedrales que datan de la época colonial.

Durante los últimos 60 años, esta región conocida como la Mixteca Alta, ha sido conmocionada con resultados similares por el temblor del 10 de febrero de 1928 ( $m_b = 6.5$ ) y por el del 11 de octubre de 1945 ( $m_b = 6.5$ ), cuyas profundidades focales fueron de 84 km y 95 km, respectivamente (Jiménez y Ponce, 1978).

El presente trabajo da a conocer los resultados obtenidos del análisis de: *i*) tiempos de arribo y distribución de los primeros impulsos de la onda P, *ii*) distribución de intensidades, *iii*) distribución de las réplicas de mayor magnitud. En un esfuerzo por visualizar algunas características del proceso de ruptura de este importante temblor y su posible relación con la tectónica regional.

## CUADRO GEOLOGICO

Numerosas investigaciones de la evolución tectónica del sur de México en años recientes (Urrutia, 1981), indican que esta región tiene una compleja historia tectónica de repetidas fases de plegamientos, magmatismo y metamorfismo. De acuerdo con Ortega (1981) el sur de México puede ser dividido por lo menos en cuatro regiones basándose en sus bien diferenciadas características geológicas. Así, se propone la existencia de las siguientes estructuras (figura 2): *i*) Complejo Oaxaqueño, *ii*) Complejo Acatlán, *iii*) Complejo Xolapa, *iv*) Complejo Tierra Caliente.

A continuación se describen brevemente algunos aspectos del origen y estructura de la región de interés, para detalles se sugiere consultar los trabajos geológicos hechos por Ortega (1978, 1981).

Se denomina Complejo Acatlán a las rocas metamórficas del Paleozoico Temprano, expuestas en la región de la Mixteca, situada al sur del estado de Puebla y noroeste de Oaxaca (figura 2). Las afloraciones conocidas se extienden aproximadamente 270 km y 170 km en dirección Este-Oeste y Norte-Sur, respectivamente, con una área superficial del orden de los 10 mil kilómetros cuadrados y un espesor mínimo de 15 km. En general esta región presenta un aspecto de lomerío, con altitudes topográficas máximas de 1 700 a 1 800 m sobre el nivel del mar.

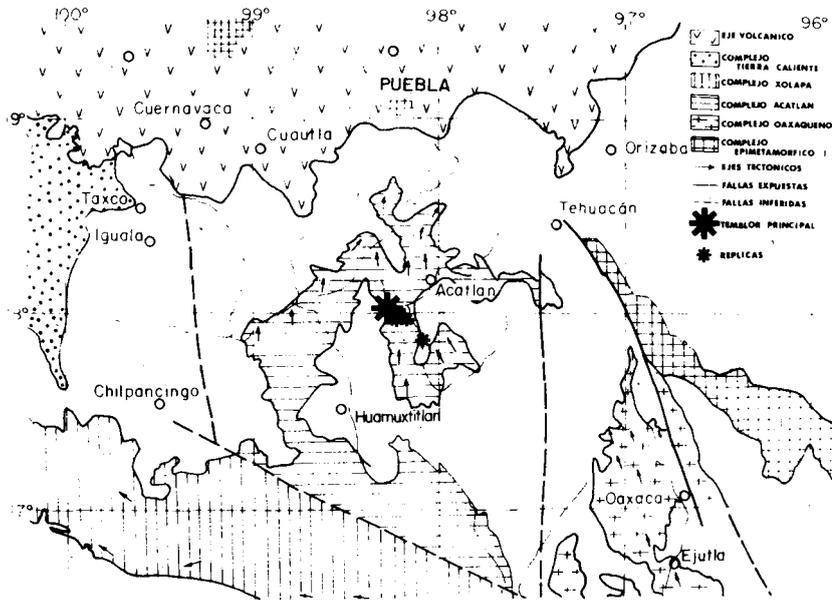


Fig. 2. Mapa geológico del sur de México (tomado de Ortega, 1978). El temblor del 24 de octubre de 1980 y las principales réplicas están indicados con asteriscos (\*) y (\*) respectivamente.

En el Complejo Acatlán se distinguen dos subgrupos estratigráficos denominados: Acateco y Petlalcingo. La secuencia Acateco formada por rocas metasedimentarias y metavolcánicas interestratificadas, constituye la parte superior del Complejo. En ésta, se distinguen tres unidades litográficas: Formación Xayacatlán, Granitos Esperanza y Formación Tecomate.

El subgrupo Petlalcingo está constituido por tres formaciones: Migmatita Magdalena, Formación Chazumba y Formación Cosoltepec. Estas dos últimas formaciones son en su mayor parte de origen sedimentario marino.

Aparentemente cuatro fases de deformación han afectado al Complejo Acatlán, probablemente en el Pre-Carbonífero, aunque otras menos pronunciadas deben estar relacionadas con los movimientos orogénicos del Paleozoico, Jurásico y Cretácico-Terciario. Esta estructura es muy complicada debido a que las capas que la forman aparentemente siguieron diferentes procesos de metamorfización.

El carácter marino de las formaciones meta-sedimentarias del Complejo Acatlán sugieren que su origen está relacionado con la apertura y cierre de una Cuenca Oceánica Paleozoica. Así, la reconstrucción del pasado tectónico del sur de México supone la existencia de un Proto-Océano que se extinguió y cuyos vestigios se observan

actualmente en el Complejo Acatlán. El contacto entre los Complejos Acatlán y Oaxaqueño representa la zona de sutura de los dos paleocontinentes.

El límite oriental del Complejo Acatlán está constituido por una amplia zona de falla, al oriente de la cual aflora el Complejo Oaxaqueño de edad Precámbrica. Esta falla casi vertical se extiende de Norte a Sur y ha tenido repetidos movimientos probablemente desde el Paleozoico (Ortega, 1978).

El Complejo Oaxaqueño es una franja de 50-100 km de ancho y un espesor mínimo de 10 km que se extiende en la parte central de Oaxaca desde Puerto Angel al sur de Puebla. Este cinturón metamórfico representa la parte más antigua (Proterozoico medio) del sur de México. De acuerdo con los mencionados estudios, la edad y litología de este complejo son muy similares a los de la Provincia Grenville del Escudo Canadiense de Norteamérica.

### SISMICIDAD REGIONAL

La sismicidad de la parte central de México está caracterizada por una escasa actividad de temblores de magnitud baja ( $m_b < 5$ ) y la ocurrencia ocasional de temblores mayores ( $M_s \geq 7.0$ ). Este último tipo de temblores es en su mayoría de profundidad intermedia y van acompañados generalmente de muy pocas réplicas. Invariablemente, la ocurrencia de estos temblores mayores va acompañada de numerosos daños debido a la pobre calidad de las construcciones (generalmente pesadas edificaciones de adobe) que caracterizan esta región de México.

La distribución de epicentros en esta zona (figura 3) muestra una franja de escasa actividad sísmica, orientada aproximadamente Este-Oeste siguiendo más o menos el límite sur del Eje Volcánico Transmexicano.

La actividad sísmica de la costa es bastante mayor y se caracteriza por ser superficial y mostrar zonas de concentración de focos sísmicos. Estas zonas de mayor actividad se extienden en franjas aproximadamente perpendiculares a la dirección de la costa. Numerosos eventos mayores han ocurrido en esta región costera en lo que va del siglo XX.

Las soluciones de mecanismo focal asociadas con los temblores de profundidad intermedia de la parte central de México, obtenidas a partir de estudios sismológicos, sugieren afallamientos del tipo normal (Jiménez, 1977). La dirección de los esfuerzos regionales derivados de estos estudios muestran una tendencia NE-SW para el eje de Tensiones. En la costa, los temblores mayores indican afallamientos de tipo inverso con rumbo paralelo a la dirección de la costa y buzamiento de poca pendiente, típico de zonas de subducción.

En la figura 3 se muestra un mapa con los epicentros de los temblores ( $m_b \geq 3.4$ ) ocurridos entre enero de 1960 y el 26 de octubre de 1980. Algunos temblores mayores ( $M_s \geq 7.0$ ) ocurridos antes de 1960 también están indicados. Con objeto de mostrar más claramente el patrón de sismicidad, se presenta en la misma figura una porción ampliificada del mapa de epicentros. Como puede observarse, la región cercana al epicentro del temblor del 24 de octubre, muestra una escasa actividad sísmica en los últimos 20 años. Nótese además en la misma figura, que en los últimos 20 años no ocurrieron temblores importantes.

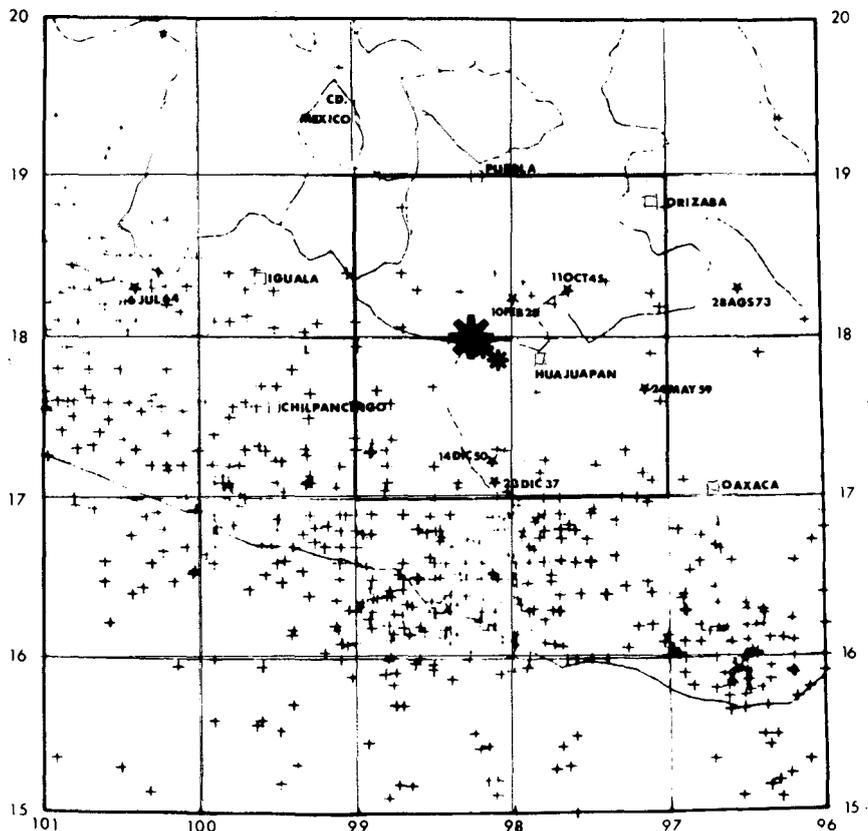


Fig. 3(a) Mapa que muestra los epicentros (+) de los temblores ( $m_b \geq 3.4$ ) ocurridos de enero de 1960 a octubre de 1980. Algunos temblores mayores ( $M_s \geq 7.0$ ) ocurridos antes de 1960 están indicados con una estrella (\*). El evento principal y las principales réplicas están indicados con asteriscos (\*) y (\*) respectivamente.

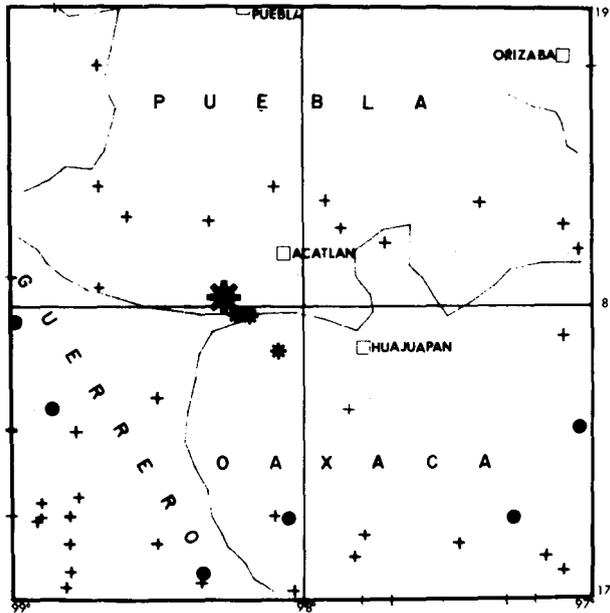


Fig. 3(b) Porción amplificada del mapa de epicentros. Los círculos llenos (●) representan los temblores ocurridos durante los últimos dos años previos al temblor del 24 de octubre.

### LOCALIZACION HIPOCENTRAL

Para la localización del epicentro y la determinación de la profundidad focal del evento principal, se usaron además de la información de la Red Sismológica Nacional, sismogramas de período corto y largo de 60 estaciones de la Red Mundial (WWSSN) y la información contenida en el EDR publicado por el U. S. Geological Survey.

Se analizaron los sismogramas interpretando el tiempo de arribo de la onda P, duración del intervalo  $p$ -P y  $s$ -P y la polaridad del primer arribo de P o PKP. A distancias regionales intervalos S-P fueron leídos en los sismogramas de los equipos mecánicos de baja amplificación e incorporados en el cálculo del epicentro. La figura 4 muestra algunos de los sismogramas usados en el análisis y se indican las diferentes fases interpretadas.

Utilizando las tablas de tiempo de recorrido de Jeffreys-Shimshoni (1964), se obtuvieron profundidades focales de 72 km y 65 km con los intervalos  $p$ -P y  $s$ -P, respectivamente. Esta discrepancia en los valores de profundidad calculados con estos dos tipos de fases, ha sido observada con anterioridad por Jiménez y Ponce (1978) en otros temblores de la región central de México. Por otro lado, la profundidad focal calculada libremente por la computadora, usando únicamente primeros arribos fue de  $74 \pm 10$  km. En la tabla 1 se presentan los resultados obtenidos.

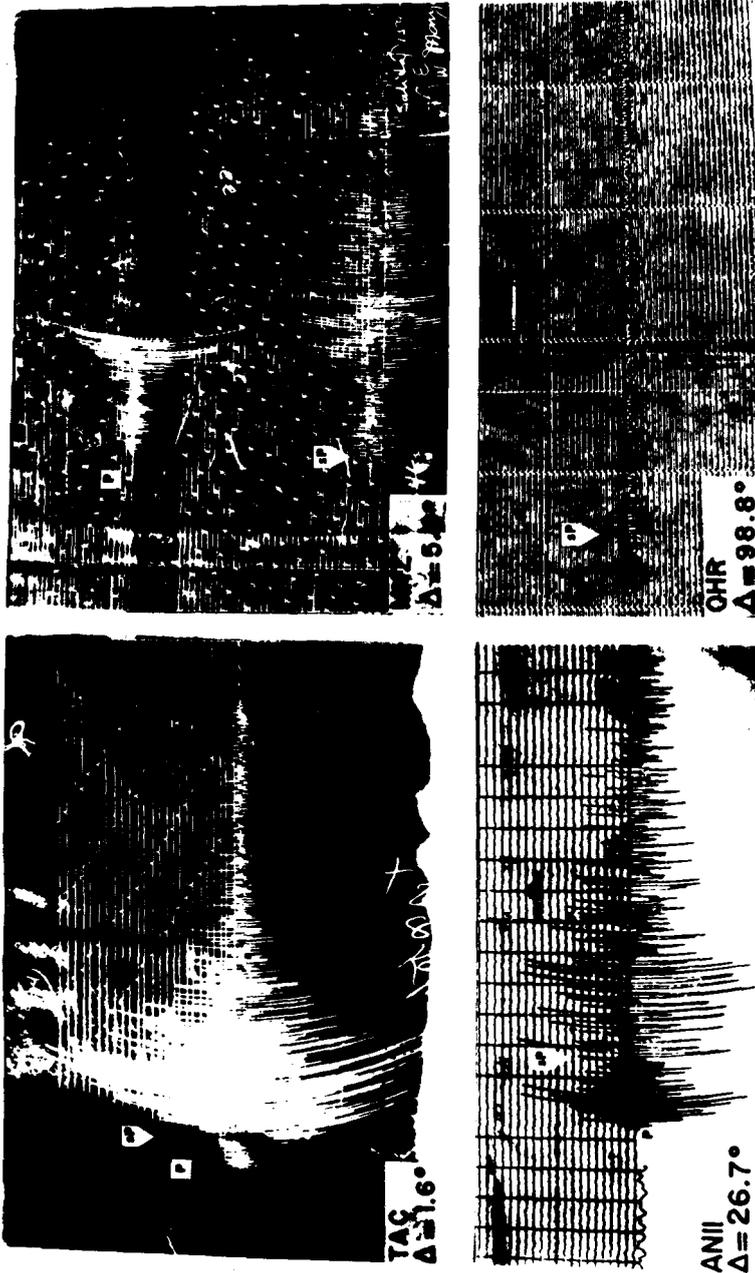


Fig. 4. Ejemplos de sismogramas de período corto y largo del temblor del 24 de octubre de 1980. Las flechas indican fases prominentes. La clave de la estación particular y la distancia epicentral ( $\Delta$ ) en grados también están indicadas.

De esta manera, el foco determinado usando toda la información disponible queda situado a los 18.03°N y 98.27°W a 65 km de profundidad, en la región limítrofe de los estados de Oaxaca, Puebla y Guerrero, conocida como la Mixteca Alta (figura 1). La profundidad adoptada de 65 km, corresponde al promedio de las profundidades obtenidas con los intervalos observados de  $\text{P-P}$ . Este valor de profundidad es probablemente el más realista por mostrar los sismogramas fases  $\text{P}$ , extremadamente claras.

### MAGNITUD Y MOMENTO SISMICO

La magnitud ( $M_s$ ) del temblor principal del 24 de octubre de 1980, reportada en este trabajo, fue calculada a partir de las amplitudes y períodos de las trazas máximas de 20 segundos aproximadamente, medidas en un selecto número de sismogramas de período largo de la Red Mundial de Estaciones Sismológicas (WWSSN). Promediando los valores de magnitud calculados con las componentes verticales se obtuvo una magnitud ( $M_{sz}$ ) de 6.96. Adicionando la información de las componentes horizontales la magnitud ( $M_{szH}$ ) resulta ser de 6.86.

La magnitud  $m_b$  fue calculada con el método convencional usando los sismogramas más claros de las componentes de período corto. El promedio resulta ser de 6.6 para  $m_b$ .

El momento sísmico ( $M_o$ ) calculado usando el valor  $M_{sz}$  y la relación  $\log M_o = 1.5 M_s + 16.1$  (Kanamori, 1977), resulta ser  $M_o = 3.47 \times 10^{26}$  Dina-cm.

### DISTRIBUCION DE DAÑOS

Simultáneamente con la operación de la red de sismógrafos portátiles instalada para estudiar la actividad que siguió al evento principal, se hizo un reconocimiento visual de la zona epicentral para conocer la magnitud de los daños ocasionados por el temblor y estimar la extensión de la zona de máxima intensidad.

Los máximos daños observados fueron desplomes completos de casas y edificios de pobre calidad de construcción, daños graves a edificios antiguos (iglesias, presidencias municipales, etcétera). Los edificios y casas bien construidos, en su mayoría sufrieron daños que van de moderados a menores.

Otras manifestaciones superficiales observadas en el terreno fueron derrumbes en algunos cerros y taludes de los caminos. Fisuras en las partes de relleno de las carreteras fueron frecuentes cerca de la zona epicentral.

A continuación se reseñan someramente las observaciones hechas en algunas poblaciones durante el reconocimiento visual del área de daños:

Petlalcingo, Pue.: Daños considerables a las torres de la iglesia principal. Desprendimiento de aplanados exteriores en algunas edificaciones de adobe.

Chila, Pue.: Daños considerables a la iglesia con el colapso de una de sus torres. Algunas casas aparentemente bien construidas localizadas en un costado de la iglesia sufrieron graves daños estructurales. En el resto del pueblo se observaron numerosas cuarteaduras y desprendimientos de aplanados en construcciones de adobe.

Acatlán, Pue.: Se observaron daños moderados que incluyen cuarteaduras y desprendimientos de aplanados y frontispicios en construcciones de adobe.

Huajuapán de León, Oax.: Esta ciudad de aproximadamente 45 000 habitantes fue la más afectada, sobre todo la zona más antigua. La catedral resultó seriamente dañada con el desprendimiento de una de sus torres. La Presidencia Municipal quedó inservible y parte del mercado se derrumbó, la calidad de ambas estructuras era muy pobre.

Construcciones recientes de mampostería, residencias de algunas dependencias federales situadas en la parte alta de la ciudad, muestran graves daños estructurales. Numerosos edificios públicos, hoteles y casas habitación resultaron seriamente dañados. Algunos edificios de departamentos se agrietaron. En resumen, la casi totalidad de las edificaciones sufrieron algún daño. Cabe hacer notar que la mayor parte de las víctimas reportadas ocurrieron precisamente en esta ciudad. Muchas familias tuvieron que ser evacuadas de sus hogares y concentradas provisionalmente en la plaza principal.

Yosocuta, Oax.: En esta población situada a 15 km al sur de Huajuapán de León, junto a la presa del mismo nombre, los daños observados en el conjunto habitacional de los trabajadores de la presa fueron prácticamente insignificantes. Estas casas están bien construidas sobre un terreno bastante firme.

Tamazulapán, Oax.: Cuarteaduras importantes en construcciones de adobe. Caída de tejados. Daños de moderados a menores en construcciones de mampostería. Graves daños a la iglesia y Escuela Normal.

Tlaxiaco, Oax.: Siguiendo la carretera a Oaxaca se observaron daños moderados en casas habitación. Derrumbes en algunos cerros y desprendimiento de taludes en el camino; fisuras en algunas secciones de la carretera; caídas de tejados y techos de lámina.

Tulcingo, Pue.: Esta población está dividida por el lecho de un río de temporal. Aquí algunas de las construcciones recientes de mampostería localizadas en una de las márgenes del río resintieron daños considerables, en tanto que construcciones de adobe en la margen opuesta solamente muestran cuarteaduras ligeras

y caída de aplanados.

En los poblados entre Tulcingo y Acatlán, Pue., se observaron cuarteaduras y desprendimiento de aplanados en construcciones de adobe y cuarteaduras en iglesias.

Xochihuehuetlán, Gro.: En esta población constituida en su mayoría por construcciones de adobe se observaron daños mayores consistiendo en cuarteaduras, caída de aplanados y techos.

En la iglesia se desplomó la nave principal y el frente mostraba cuarteaduras graves. Algunas construcciones recientes de mampostería no mostraron aparentemente daños graves.

Huamuxtitlán, Gro.: Aquí los daños también fueron severos. Derrumbe total del interior del edificio de la presidencia municipal. La nave central de la iglesia construida de mampostería se colapsó parcialmente. La iglesia sufrió además numerosas cuarteaduras en el frente. La mayor parte de las construcciones de adobe del pueblo sufrieron cuarteaduras y caída de aplanados. En un cerro cercano se produjeron algunos desprendimientos de su ladera. Sobre la carretera hacia Tlapa, Gro. hubo algunos derrumbes.

Tlapa, Gro.: Los daños fueron de moderados a ligeros y sólo se observaron cuarteaduras menores y desprendimientos de aplanados. Sobre la carretera que une esta población con Tixtla, Gro., sólo se observaron algunos derrumbes y daños menores en varias rancherías.

Debido a lo accidentado de la topografía y difícil acceso, no fue posible inspeccionar todos los poblados de la zona.

### DISTRIBUCION DE INTENSIDADES

Con objeto de construir un mapa de Isosistas, se solicitó a las autoridades de las poblaciones afectadas un informe de los efectos ocasionados por el temblor, usando para ello un cuestionario diseñado expresamente para estos casos.

Se analizó esta información y se estimó la Intensidad en 150 localidades. Los valores de estas intensidades se graficaron en el mapa mostrado en la figura 5. Las líneas de igual intensidad fueron ajustadas visualmente. Las porciones punteadas indican que las observaciones son insuficientes para hacer el ajuste.

De la figura 5 se concluye que el temblor del 24 de octubre fue sentido en una área total de aproximadamente 400 000 km<sup>2</sup>. El área de Intensidad (VIII) estimada en 9 000 km<sup>2</sup> está situada en los límites de los estados de Oaxaca, Puebla y Guerrero. Este temblor se manifestó con Intensidad Máxima (IX) en la zona de Huajuapán de León, Oaxaca.

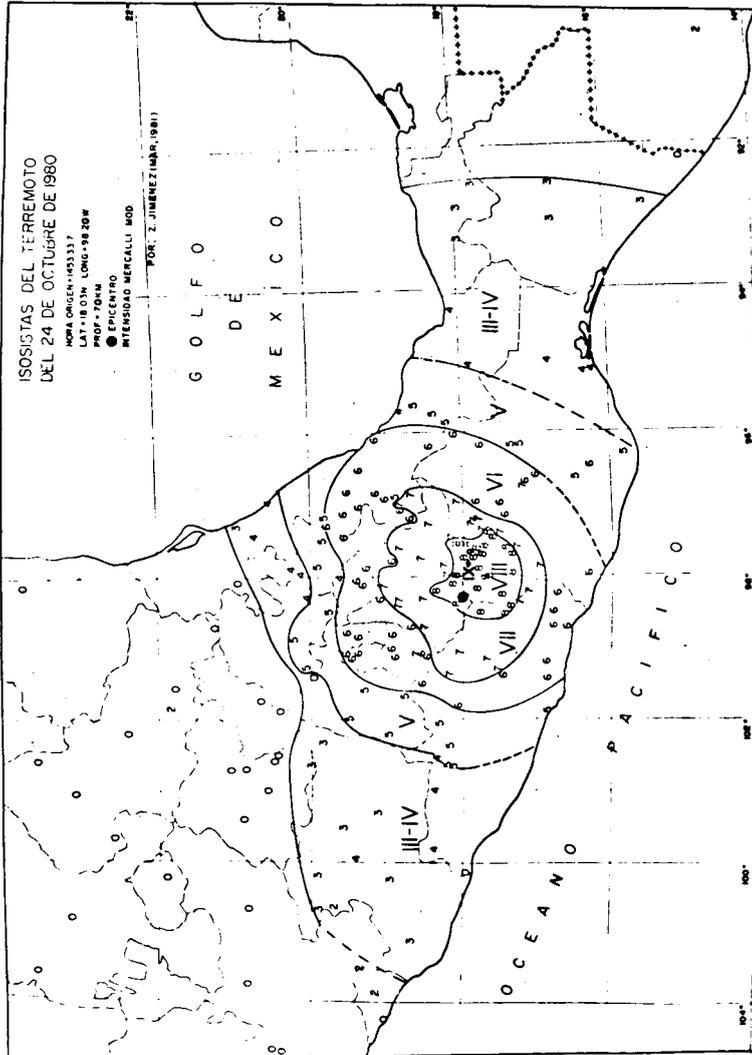


Fig. 5. Isosistas del temblor del 24 de octubre de 1980. El círculo lleno (●) indica la posición del epicentro. Los números arábigos representan la intensidad en la localidad particular en términos de la Escala de Mercalli modificada.

### DISTRIBUCION DE REPLICAS

El evento principal fue seguido por numerosas réplicas de menor magnitud que no causaron daño adicional. Las tres réplicas de mayor magnitud de las 17:16, 02:53 y 15:54 GMT del 24, 25 y 26 de octubre, respectivamente, fueron localizadas siguiendo un procedimiento análogo al usado en la localización del evento principal. Los resultados están consignados en la tabla 1 y presentados gráficamente en la figura 1.

Tabla 1

Fecha Evento principal	Hora origen	Coordenadas	Prof.	Parámetros focales					
				Plano A	Plano B	Eje T	Eje P		
1 oct. 24	14 53 33.7	18.03N 98.27W	65 <sub>(s.P-P)</sub> 72 <sub>(p.P-P)*</sub> 74 libre	$\theta = 101$	$\theta = 272$	AZ = 187°	AZ = 15°		
				$\delta = 63$	$\delta = 26^{\circ}$	BUZ = 18°	BUZ = 71°		
				$\lambda = -94$	$\lambda = -82$				
Réplicas									
2 oct. 24	17 16 24.6	17.97N 98.23W	53	$\theta = 105$	$\theta = 302$	AZ = 199	AZ = 3°		
				$\delta = 70SW$	$\delta = 23NE$	BUZ = 24	BUZ = 64		
				$\lambda = -84$	$\lambda = -106$				
3 oct. 25	02 53 34.0	17.86N 98.11	53	$\theta = 111$	$\theta = 288$	AZ = 199	AZ = 19°		
				$\delta = 50SW$	$\delta = 40NE$	BUZ = 5	BUZ = 85°		
				$\lambda = -93$	$\lambda = -87$				
4 oct. 26	15 54 16.2	17.97 98.18	51	$\theta = 162$	$\theta = 281$	AZ = 145	AZ = 36		
				$\delta = 42SW$	$\delta = 66NE$	BUZ = 54	BUZ = 12		
				$\lambda = 142$	$\lambda = 155$				

Adicionalmente, y con objeto de realizar un estudio detallado de la actividad sísmica subsecuente, se instaló una red de sismógrafos portátiles en la región epicentral. Así, 12 horas después de ocurrido el temblor principal, la primera de las estaciones en Acatlán, Pue. estaba ya registrando, y unas horas después la segunda en Yosocuta, Oax. (figura 1). La mañana siguiente se instalaron las estaciones de Tulcingo, Pue. y Tlaxiaco, Oax., por problemas de acceso la quinta estación fue instalada en Tlapa, Gro., varios días después.

Los instrumentos usados fueron cinco registradores Sprengnether MEQ-800 con sismómetros Kinometrics Ranger SS-1, con período natural de 1 segundo. Las estaciones estuvieron operando con amplificaciones de 30 000, excepto Tlaxiaco que operó a 60 000. Se mantuvo un estricto control en los sistemas de tiempo durante la operación, mediante la sincronización con la señal de la estación de radio WWV. La velocidad de registro utilizada fue de 120 mm/min. La red permaneció operando 9 días efectivos, durante los cuales se registraron aproximadamente 900 réplicas. Las 300 réplicas de mayor magnitud fueron localizadas y descritas en este trabajo.

Tiempos de arribo de onda P y S fueron usados en conjunción con el programa HYPO-78 para efectuar las localizaciones hipocentrales. En el cálculo se utilizó un modelo de velocidades apropiado para Oaxaca suponiendo una corteza de 38 km (Helsley *et al.*, 1975; Matumoto *et al.*, 1977).

En la figura 1 se muestran las localizaciones epicentrales de las réplicas. En esta figura se observa que la mayor parte de los epicentros de las réplicas se sitúan en una área de forma elíptica de dimensiones 10 x 32 km aproximadamente. Nótese además que el área de réplicas no muestra una distribución uniforme de epicentros, sino que se observan zonas de agrupamiento separadas por franjas de menor actividad orientadas Norte-Sur.

En la figura 6 se muestra una sección vertical de los hipocentros de las réplicas perpendicular a la tendencia de la distribución (BB' en la figura 1). Las profundidades de foco de las réplicas varían entre 35 y 55 km, siendo los de la porción sureste los más profundos y los del borde sur de la distribución los más superficiales.

En esta figura se observa que los focos de profundidad mayor de 40 km describen en promedio un plano de aproximadamente  $53^{\circ}$  de inclinación respecto de la horizontal, que buza hacia el NNE. Para profundidades menores el plano se hace casi vertical. De nueva cuenta el carácter segmentado de la distribución es notorio. Nótese además que el foco del evento principal está considerablemente separado de la distribución de las réplicas estimadas. El origen de esta aparente separación, podría deberse a que se usaron modelos de velocidades diferentes en la localización del epicentro del evento principal y de las réplicas. Una conclusión a este respecto requiere un análisis más detallado.

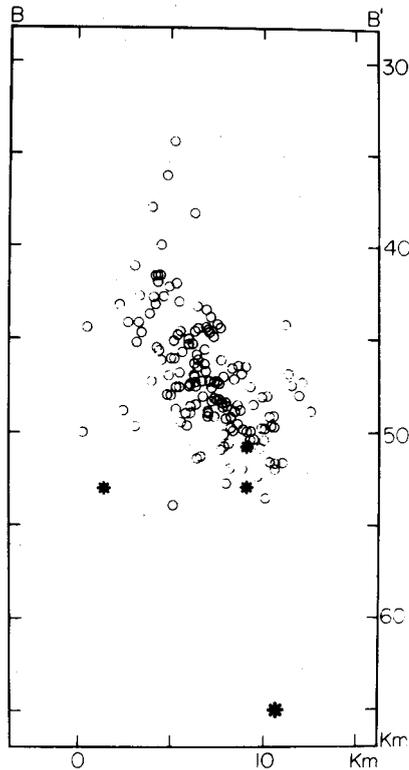


Fig. 6. Sección vertical de la localización de los hipocentros proyectados sobre un plano en dirección Noreste-Suroeste (B-B' en fig. 1).

### MECANISMO FOCAL DEL EVENTO PRINCIPAL Y REPLICAS

Las soluciones del mecanismo focal del evento principal y de las tres réplicas de mayor magnitud fueron determinadas usando las polaridades de los primeros arribos de la onda P, leídas preferentemente en las componentes verticales de período largo, aunque también se usaron registros de período corto en ausencia de las primeras.

Las polaridades de los primeros arribos fueron graficadas a sus correspondientes azimut y ángulos de emergencia sobre el hemisferio inferior de la esfera focal, empleando la proyección estereográfica de igual área (figura 7). Los ángulos de emergencia a distancias teleísmicas se calcularon con base en las tablas de tiempos de recorrido de Jeffreys-Bullen (1940), en tanto que para distancias cortas, se utilizó el modelo de velocidades para la costa de Oaxaca.

OCT 24, 1980

14:54

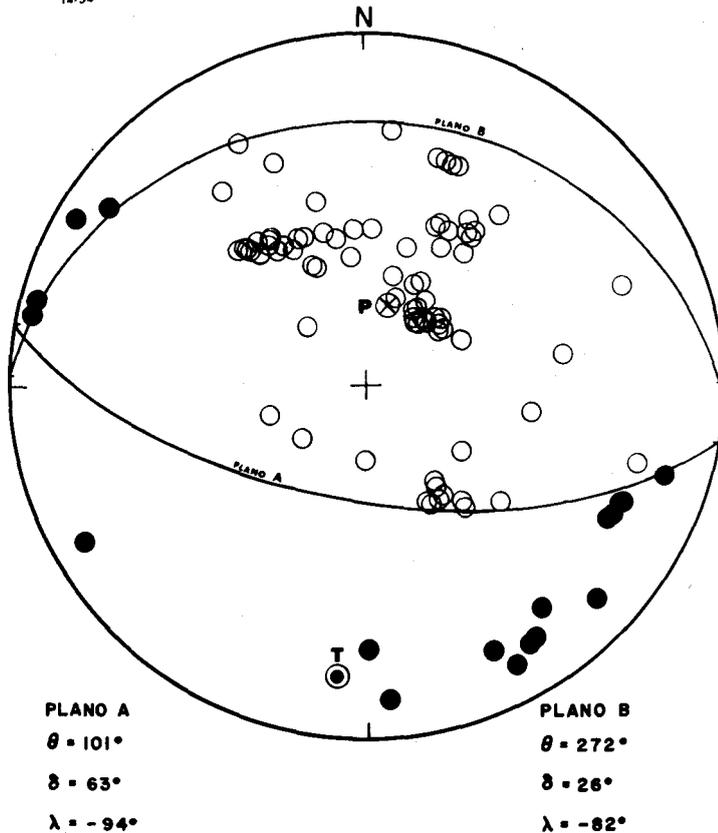


Fig. 7(a). Diagrama del mecanismo de falla del temblor principal (14:54 GMT) del 24 de octubre de 1980. Círculos llenos (●) y vacíos (○) representan compresiones y dilataciones respectivamente.

Los parámetros geométricos que describen los planos nodales de las soluciones están consignados en la tabla 1. En ésta,  $\theta$ ,  $\delta$  y  $\lambda$  representan el rumbo del plano nodal medido a partir del norte, su inclinación con respecto a la horizontal y la dirección del deslizamiento durante la ruptura respectivamente. T, P y N corresponden a los ejes de máxima Tensión, Compresión y Nulo en el orden mencionado.

Puede considerarse que la solución obtenida a partir de las polaridades de los primeros arribos es bastante buena, puesto que los dos planos están razonablemente restringidos. El diagrama de la figura 7a del evento principal presenta una distribución de compresiones y dilataciones típica de un proceso de afallamiento normal, con la dislocación ocurriendo en alguno de los dos planos nodales. En la misma figura se observa que el eje de máxima Tensión es predominantemente perpendicular a la tendencia del área de réplicas, mientras que el eje Nulo es casi paralelo.

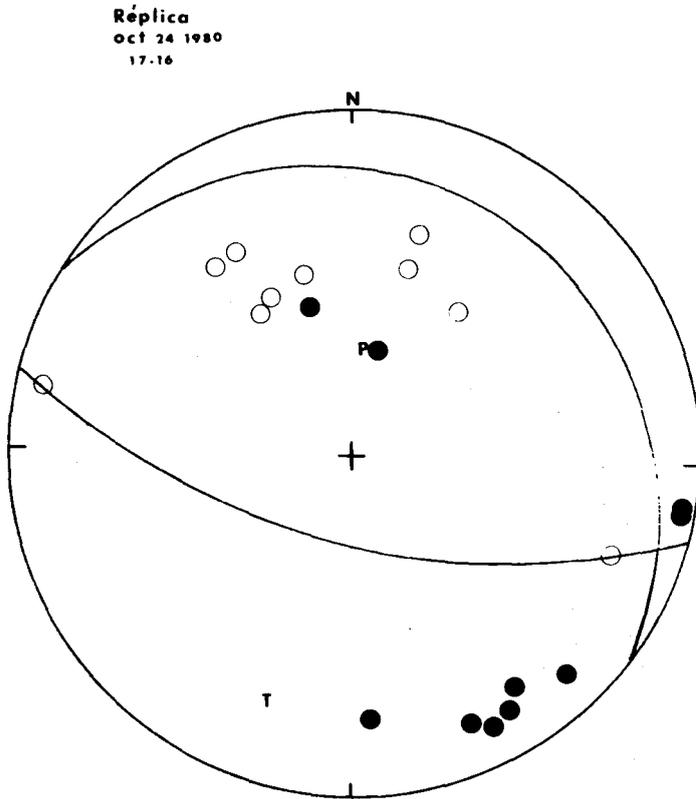


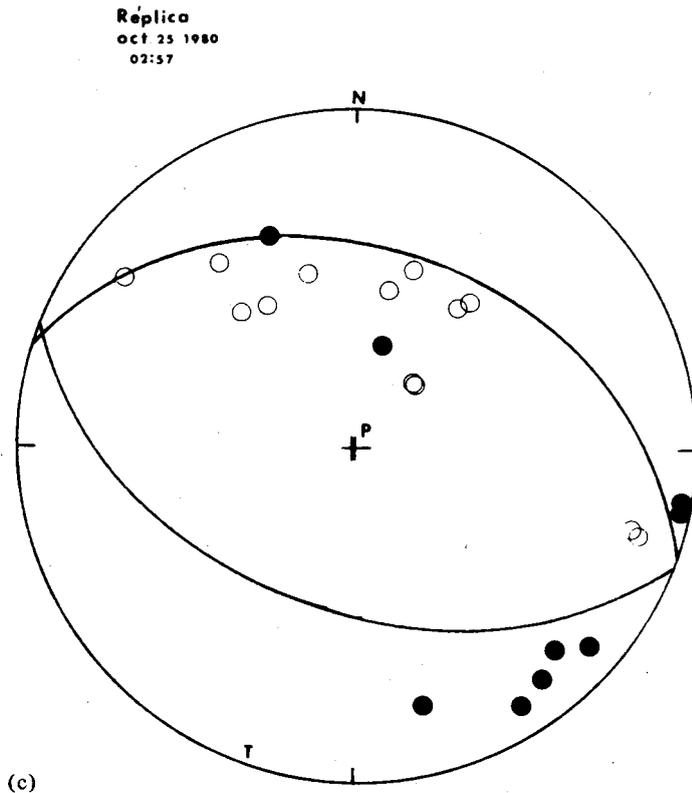
Fig. 7 (b), (c) y (d). Diagramas correspondientes a las réplicas de las 17:16 (24 oct.), 02:57 (25 oct) y las 15:54 (26 oct). P y T representan los ejes de Máxima Compresión (⊗) y Tensión (⊙) respectivamente. Proyección sobre el hemisferio inferior.

En las figuras 7b-d se presentan los diagramas de los mecanismos focales de las tres réplicas de mayor magnitud. Como puede observarse, la distribución de compresiones y dilataciones de las réplicas de las 17:16 y 02:53 es sensiblemente similar a la del evento principal, indicando que tuvieron mecanismo de ruptura semejante. Por otro lado, la réplica de las 15:54 muestra una distribución distinta, típica de un afallamiento de tipo inverso.

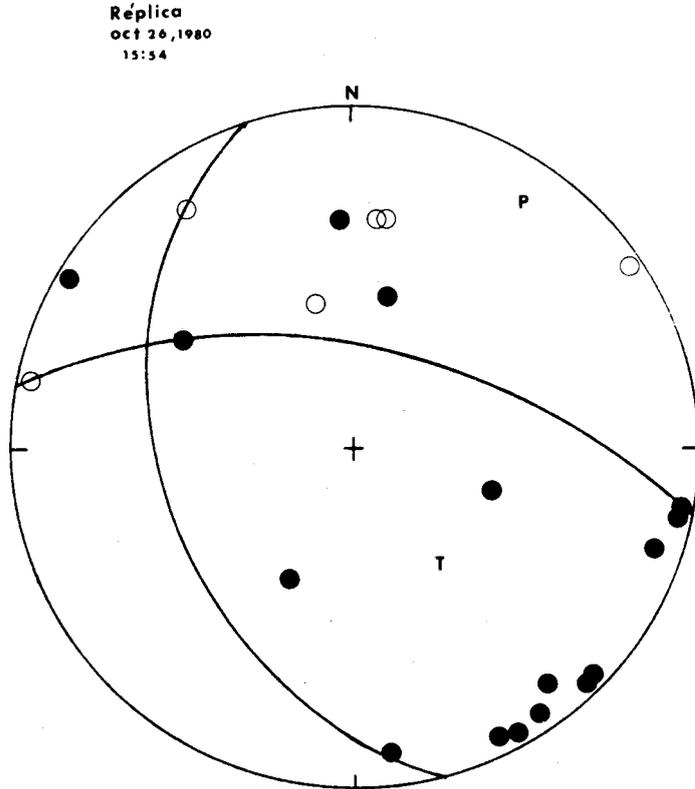
Se acepta generalmente que la distribución de las réplicas describe aproximadamente la geometría y orientación del plano de falla del temblor principal, de manera que esta información es un excelente auxiliar para la apropiada selección del plano nodal que corresponde al plano real de falla.

La distribución espacial de los epicentros de las réplicas que siguieron al temblor del 24 de octubre muestra una forma elíptica, con eje mayor en la dirección E 25° S,

aproximadamente (figura 1). La distribución de los focos de las réplicas ( $h \geq 40$  km) por otro lado, describe una franja cuya inclinación con respecto a la horizontal es de  $\sim 53^\circ$  en promedio hacia el noreste (figura 6). Debe hacerse notar sin embargo, que en detalle esta distribución presenta un carácter segmentado y que las profundidades focales de estas réplicas son considerablemente menores que la del evento principal.



La orientación del Plano A (figura 7a) es congruente con la distribución de los epicentros de las réplicas, aunque presenta discrepancia en la dirección del echado. El Plano A buza hacia el SSW en tanto que los focos de las réplicas se hacen más profundos hacia el noreste en dirección perpendicular a la tendencia del área de réplicas y hacia el extremo sureste. El Plano B, por otro lado, es también congruente con la tendencia de la distribución de los epicentros de las réplicas y además presenta prácticamente la misma dirección de buzamiento, aunque el ángulo de inclinación con respecto a la horizontal ( $\sim 53^\circ$ ) del plano donde se sitúan los focos de las réplicas, es bastante mayor que el que muestra el Plano B ( $\sim 26^\circ$ ). Así, la distribución de réplicas sugiere que el Plano B es el plano de falla, tomando en cuenta que el error en la estimación del rumbo y echado con la técnica que emplea primeros arribos únicamente puede ser de 10 a 20 grados. El rumbo del plano de falla infe-



rido es congruente con la orientación de la tendencia general Este-Oeste de la sismicidad en la región.

En este caso, aparentemente no es posible correlacionar el resultado sismológico directamente con el sistema de fallas principales, expuestas en la región. De acuerdo con Ortega (1980), el bloque septentrional del estado de Oaxaca, está caracterizado por estructuras orientadas  $N10^{\circ}W$  y la presencia de fracturamientos y grandes fallas en esa misma dirección. La dirección de la falla, inferida con información sismológica a lo largo de la cual presumiblemente se originó el temblor del 24 de octubre, indica por otro lado, una orientación sensiblemente Este-Oeste a una profundidad de 65 km. En cierto sentido este resultado no debe extrañar, puesto que esta zona es geológicamente muy compleja, debido a los intensos movimientos orogénicos a que ha sido sometida (Ortega, 1980).

### CONCLUSIONES

El análisis de los sismogramas indica que el foco del temblor principal del 24 de octubre de 1980, se sitúa a los  $18.03^{\circ} N$  y  $98.27^{\circ} W$  en la región de la Mixteca Alta a 65 km de profundidad, probablemente en la Placa Continental.

La solución del mecanismo de falla indica que el afallamiento es del tipo normal y que la dislocación pudo haber ocurrido (i) sobre un plano (Plano A) de rumbo E  $11^{\circ}$  S y que buza abruptamente ( $\sim 63^{\circ}$ ) hacia el SSW o (ii) sobre un plano (Plano B) de rumbo N  $88^{\circ}$  W con un buzamiento moderado ( $\sim 26^{\circ}$ ) hacia el NNE. La distribución de réplicas sugiere que el Plano B es el plano de falla. Aunque se hace notar que la evidencia no es del todo concluyente. La conclusión implícitamente supone que la distribución de réplicas, aunque separada del evento principal, indirectamente mapea la dirección del plano sobre el que ocurrió la ruptura principal.

Una característica importante que se observa, es el hecho de que el temblor principal es más profundo (65 km) que todas las réplicas estudiadas ( $h \sim 35 - 55$  km), sugiriendo que la ruptura profunda inicial posiblemente activó una zona de debili-



Foto 1: Petlalcingo, Pue.

Fig. 8. Fotografías mostrando algunos daños ocasionados por el temblor del 24 de octubre de 1980. El nombre de la localidad particular está indicado en cada fotografía.

dad localizada por encima de ella. Esta suposición no es del todo improbable puesto que esta región de Oaxaca está bastante fracturada y además explica el hecho de que este temblor tuviera muchas réplicas en comparación con otros eventos de profundidad intermedia de la misma región.

Es reconocido que la distribución de la actividad sísmica que sigue a la ocurrencia de grandes temblores está relacionada con los rasgos geológicos de la región (Jordan *et al.*, 1965; Mogi, 1969). El carácter discontinuo de la distribución de réplicas del temblor del 24 de octubre sugiere que el volumen en que tuvieron lugar las



Foto 2: Chila, Pue.

réplicas está fracturado en varios segmentos en dirección Norte-Sur aproximadamente. Estos fracturamientos están probablemente relacionados con la tendencia (N 10° W) de las antiguas estructuras y fallas reportadas.

La distribución de intensidades (figura 5) muestra una marcada atenuación hacia el noroeste del epicentro en comparación con el sureste. Probablemente el mecanismo de ruptura y la orientación de la falla, jugaron un papel preponderante en la notable concentración de la energía hacia el sureste, explicando así, el por qué la mayor parte de los daños severos están localizados al sureste del epicentro.



Foto 3: Chila, Pue.

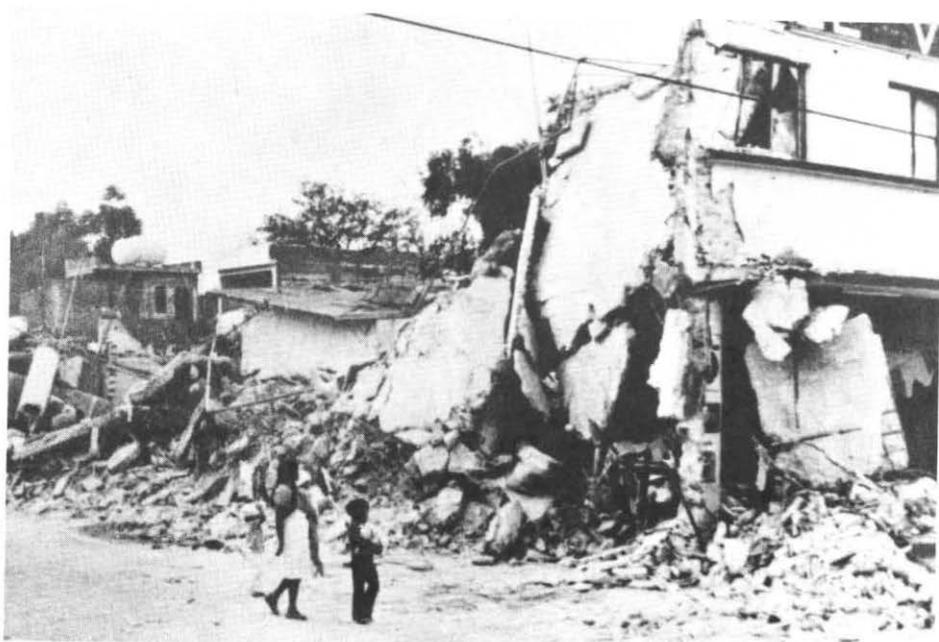


Foto 4: Huajuapán de León, Oax.



Foto 5: Huajuapán de León, Oax.



Foto 6: Huajuapán de León, Oax.

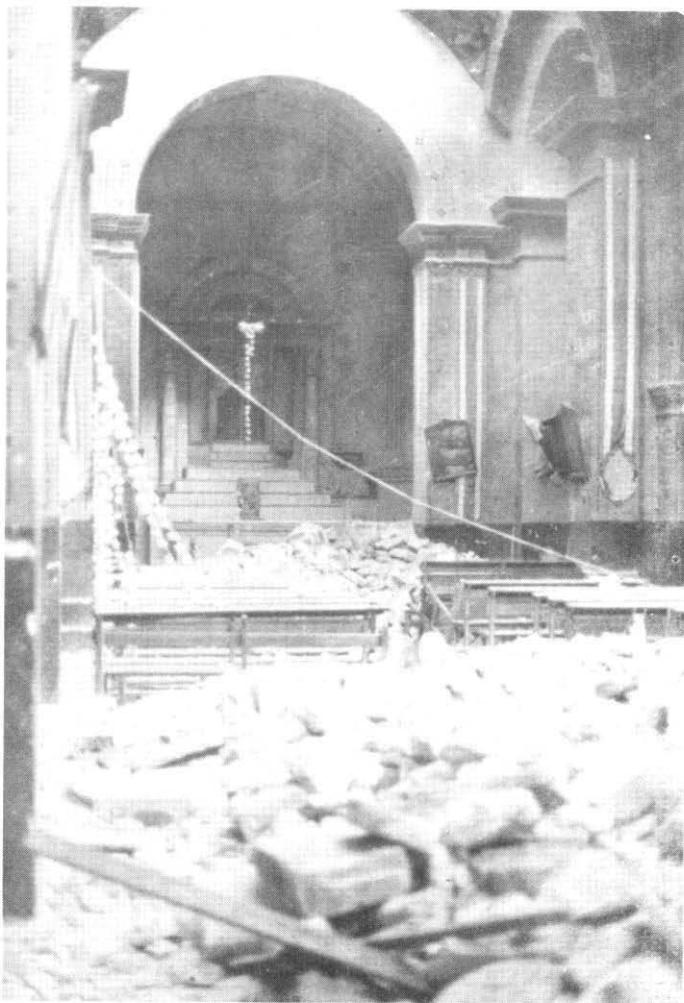


Foto 7: Xochihuehuetlán, Gro.  
Interior de la iglesia.



Foto 8: Xochihuehuetlán, Gro.



Foto 9: Tulcingo, Pue.



Foto 10: Tulcingo, Pue.

## RECONOCIMIENTOS

Deseamos expresar nuestra gratitud al personal de las estaciones sismológicas que gentilmente nos facilitaron copias de sus sismogramas, a las autoridades municipales y al personal del Servicio Meteorológico Nacional de la SARH por su colaboración. A los técnicos del Servicio Sismológico Nacional, C. Jiménez, L. González, B. Rubí, F. Núñez y C. Figueroa por su valiosa colaboración en el análisis de los datos. Asimismo, agradecemos a los revisores anónimos por sus acertadas sugerencias.

## BIBLIOGRAFIA

- HELSEY, C. E., J. B. NATION and R. P. MEYER, 1975. Seismic Refraction Observations in Southern Mexico. *Trans. Am. Geophys. Union*, 56, 452.
- JIMENEZ, Z., 1977. Mecanismo focal de siete temblores ( $m_p \geq 5.5$ ) ocurridos en la región de Orizaba, México, en el período de 1928 a 1973. Tesis profesional. Fac. de Ciencias, UNAM, p.122.
- JEFFREYS, H., y K. BULLEN, 1940. Seismological Tables, British Association for the Advancement of Science, London.
- JEFFREYS, H., y SHIMSHONI, 1964. The time of  $p_p$ ,  $s_s$ ,  $s_p$  and  $p_s$ . *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 8, 324-340.
- JIMENEZ, Z. y L. PONCE, 1978. Focal mechanism of six large earthquakes in Northern Oaxaca, Mexico, for the period 1928-1973. *Geof. Intern.* 17, 379-386.
- JORDAN, J. N., J. F. LANDER and R. A. BLACK, 1965. Aftershocks of the 4 February 1965 Rat Island Earthquake. *Science*, 1323-1325, June.
- KANAMORI, H., 1977. The Energy Release in Great Earthquakes. *J. Geophys. Res.*, 82, 2981-2987.
- MATUMOTO, T., O. MAZAKAZU, G. LATHAM and J. UMAÑA, 1977. Crustal Structure in Southern Central America. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 67, 121-134.
- MOGI, K., 1969. Some Features of Recent Seismic Activity in near Japan (2). Activity before and after great Earthquakes. *Bull. Earthq. Res. Inst., Tokyo Univ.*, 47, 395-417.
- ORTEGA G., F., 1978. Geología del contacto entre la Formación Acatlán Paleozoica y el Complejo Oaxaqueño Precámbrico, al oriente de Acatlán, estado de Puebla. *Bol. Soc. Geol. Mex.*, 39, 27-28.
- ORTEGA G., F. 1980. Constitución geológica y evolución tectónica del estado de Oaxaca. Ponencia presentada en el Simposio "Los Riesgos Sísmicos y los Asentamientos Humanos México, Centroamérica y el Caribe". Oaxaca, Oax., noviembre.
- ORTEGA G., F., 1981. Metamorphic Belts of Southern Mexico and their Tectonic Significance. *Geof. Intern.*, 20, 177-202.
- URRUTIA F., J., 1981. (Editor). Palaeomagnetism and Tectonics of Middle America and Adjacent Regions, Part I. *Geof. Intern.*, 20, 1-270.