

4
2 ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD CIENCIAS

Estudio de las deformaciones superficiales
verticales intersísmicas en la brecha sísmica
de Guerrero por nivelación de primer orden

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
FÍSICO

P R E S E N T A
Julio Mimiaga Mendoza

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Vladimir Kostoglodov



FACULTAD DE CIENCIAS
UNAM



273451

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MEXICO

M. en C. Virginia Abrín Batule
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
P r e s e n t e

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:
"ESTUDIO DE LAS DEFORMACIONES SUPERFICIALES INTERSISMICAS EN LA BRECHA SISMICA DE
GUERRERO POR NIVELACION DE PRIMER ORDEN"

realizado por MIMIAGA MENDOZA JULIO

con número de cuenta 8519262-1 , pasante de la carrera de Física.

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis
Propietario

DR. VLADIMIR KOSTOGLODOV
Propietario

DR. GUSTAVO TOLSON JONES
Propietario

DRA. PATRICIA GOLDSTEIN MENACHE
Suplente

DR. RAUL VALENZUELA WONG
Suplente

M. EN C. AUGUSTO CABRERA MANUEL

Atentamente
Roberto Ruelas
Patricia Goldstein
Raul Valenzuela
Augusto Cabrera



Consejo Departamental de Física

Ruelas

DR. ROBERTO ALEJANDRO RUELAS MAYORGA
Coordinador de Licenciatura.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Vladimir Kostoglodov por la dirección de esta tesis y por su constante apoyo durante la realización de la misma así como por el apoyo económico que me otorgo. Al Dr. Alexei Gorbatov por su valiosa asesoría, ayuda y comentarios, sin los cuales este trabajo no hubiera sido posible. A los integrantes del jurado, Drs. Gustavo Tolson Jones y Raúl Valenzuela Wong, Dra. Patricia Goldstein y al M. En C. Augusto Cabrera Manuel, por la revisión de la tesis. Así como al M. En C. Jaime Domínguez por su ayuda en la estructura de la tesis y por la revisión de la misma.

Asimismo a Sara I. Franco Sánchez, Javier Andrés Alvarado Noé, Angel J. Minchaca Cital y Roberto Peláez por su ayuda en la realización del trabajo de campo.

A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) por su apoyo económico mediante la beca asociada al proyecto IN102697

A mis amigos de la facultad: Aracemi Carmona, Cesar Badillo, Leopoldo Huerta, Alejandro Suárez, Julio Ortega, Luis Fernando Teran, Fernando Ramírez, Luis Antonio Aceves, Yuri de la Rosa, Sergio Aguilera, Gabriel Ramos, José Luis Rosado y Raymundo Pérez por su apoyo y por los buenos momentos compartidos.

A mis amigos del *Universum*: Bibiana García, Irma Castillo, Vicky Castillo, Reyna Miranda, Emma Rosales, Cecilia García, Miroslava Contreras, Aidé Marquez, Ana Luisa Montañez, Juanita Cortez, Leticia Escobar, Martha Carrillo, Araceli Zamora, Arcela, Eduardo Jiménez, Manuel Posada, Alberto Fuertes, Manuel(Clint), Leobardo Jiménez, Alfredo(mantenimiento), Rogelio Zamora, Ricardo Song, Ramón Serrano, Omar Reyes, Daniel

Hernández y todas las demás personas que lamentablemente en estos momentos no me acuerdo de sus nombres por su apoyo y por los buenos momentos compartidos.

A mis amigos y compañeros del Departamento de Sismología del Instituto de Geofísica.

Pero sobre todo agradezco a mis padres Leandro Mimiaga y Magdalena Mendoza por haber dado la vida, la oportunidad de estudiar y por estar siempre cerca de mí.

RESUMEN

En la costa Pacífica del estado de Guerrero hay una alta probabilidad de que ocurra un sismo fuerte de subducción con $M_w > 8.0$.

El estudio sobre la deformación superficial vertical en esta zona nos proporciona datos importantes para la comprensión del proceso intersísmico de la acumulación de la deformación elástica antes de un sismo. Durante los últimos cuatro años la nivelación de alta precisión nos ha permitido examinar el nivel en tres perfiles.

La tasa de deformación en los diferentes perfiles de la costa de Guerrero se determina a través de los cambios en el nivel que se registra en las diferentes nivelaciones. Lo cual nos indica que la deformación elástica acumulada tiene lugar en el gap. La tasa de deformación vertical en la costa es para los años de 1995-1996 y 1995-1997 en Acapulco de aproximadamente 12mm y 7.3mm respectivamente en una base de 16 km. Ahora para el perfil de Atoyac la deformación vertical en los años 1995-1996 y 1995-1997 fue de aproximadamente de 2mm en una base de 10 km, y para el año de 1997-1998 fue de aproximadamente 7.8mm en una base de 17 km.

Estos resultados de la tasa de deformación calculada son comparados con un modelo de dislocación elástico para diferentes buzamientos y anchos de falla y observamos que las zonas de contacto sismogénico que mejor se ajustan a la deformación vertical para los diferentes perfiles son:

- 1.- Para Acapulco de 60-65 Km de ancho con un buzamiento de 7-10 grados.
- 2.- Para Atoyac de 45-50 Km de ancho con un buzamiento de 7-10 grados.

INDICE

RESUMEN

INTRODUCCIÓN.....	3
1. ANTECEDENTES	
1.1. TECTÓNICA DE PLACAS.....	5
1.2. FALLAS, REBOTE ELÁSTICO Y MOMENTO SÍSMICO.....	8
1.3. BRECHA SÍSMICA DE GUERRERO	13
2. DEFORMACIONES DE LA BRECHA DE GUERRERO	
2.1 RED DE NIVELACIÓN DE GUERRERO.....	15
2.2 METODOLOGÍA.....	16
2.3 DATOS REGISTRADOS.....	18
3. ANALÍISIS DE RESULTADOS	
3.1 CALCULO DE LAS DEFORMACIONES.....	27
4. MODELACIÓN TEORICA DE LA DEFORMACIÓN DE LA BRECHA DE GUERRERO	
4.1 MODELACIÓN DE ELEMENTOS DE LÍMITE EN TRES DIMENSIONES (3D).....	34
4.2 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	48
5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	50
BIBLIOGRAFÍA.....	51

INTRODUCCIÓN

En la costa de Guerrero se ubica una de las brechas sísmicas de la Trinchera Mesoamericana (McCann, et. al.,1979;Le Fevre y McNally,1985), la cual se ha determinado que es una región con el potencial suficiente para producir un terremoto de magnitud similar al que ocurrió en Michoacán en 1985, ($M_s=8.1$) (Nishenko y Singh,1987;Suárez, et. al., 1990).

Con el fin de realizar estudios del acoplamiento entre las placas de Norteamérica y Cocos en la brecha sísmica de Guerrero se instaló una red sismológica telemétrica a finales de 1987. Hasta diciembre de 1993, la red ha registrado cerca de 7000 sismos. Con estos datos se han realizado estudios de la geometría de la subducción (Araujo,1991; Domínguez, 1991; Suárez et. al., 1990; Pardo y Suárez, 1994), de calibración de magnitud de momento (M_w) (Escobedo,1993), y de modelos unidimensionales de velocidades (Ligorria,1989; Suárez et al.,1992).

Suárez, et. al, (1990), a través de la sismicidad registrada por la red sismológica telemétrica, sugieren que la Placa de Cocos subduce a la de Norteamérica con un ángulo progresivo de aproximadamente 12° y que la profundidad máxima del contacto sismogénico entre Placas es de 25 km, bajo ésta profundidad la Placa asume una trayectoria horizontal bajo el sur de México, hasta una distancia de 150 km.

Pardo y Suárez, (1995), proponen que el ancho de la zona sismogénica para la Placa de Cocos es de 60 Km.

Suárez y Sánchez, (1996), utilizando una línea de nivelación que cruza la zona de ruptura del sismo del 19 de septiembre de 1985, en Michoacán determinaron mediante la comparación de datos de nivelación con modelos de dislocación una zona de contacto sismogénico de 20 km de profundidad, 60 km de ancho, buzamiento de 16° y un deslizamiento promedio de 2.3 m.

Kostoglodov et. al.,(1996), utilizando datos de sismicidad de la red y datos gravimétricos de la zona de la brecha sísmica de Guerrero determinaron para la zona de subducción una geometría en la cual el buzamiento es de $<10^\circ$ y la profundidad máxima es de 35-40.

Valdés y Novelo, (1998), por medio de microsismicidad asociada con los sismos de Petatlán (1979) y Zihuatanejo (1985) determinaron que la zona de contacto sismogénico para el oeste de Guerrero es de: 90 km de ancho y que tiene aproximadamente un

buzamiento de 14°. Además determinaron que hay una zona asísmica de aproximadamente 40 km de ancho desde la trinchera.

Dragert et. al. (1994), determinaron la zona sismogénica en la región norte de Cascadia utilizando datos gravimétricos y de nivelación para determinar la deformación intersísmica acumulada en esa región. Estos datos de deformación fueron comparados con diferentes modelos de dislocación elástica encontrando que para esta región la zona de contacto sismogénico que mejor se aproximaba a los datos era aproximadamente de 40-60 km de ancho para una zona de contacto fuerte mas 40-60 km de ancho para una zona de transición con una profundidad máxima de 25-30 km y un buzamiento de 7-12°.

Con el fin de comprender mejor la geometría de la subducción, el trabajo que presentaremos tiene como objetivo caracterizar la geometría de la zona de contacto sismogénico de la brecha de Guerrero. Esta caracterización se hará a través de mediciones de la deformación vertical en la costa de la brecha y su modelación ya que la deformación superficial vertical en la costa y en el interior del país esta íntimamente ligada al proceso que da origen a las brechas sísmicas. La caracterización de la zona de contacto nos permitirá determinar las dimensiones y ubicación de la zona de ruptura esperada.

Las características principales de este estudio de deformaciones verticales por nivelación de primer orden son:

1. Ubicación de los perfiles de nivelación en la brecha sísmica.
2. Mediciones periódicas en los puntos del perfil.
3. Modelación teórica de las deformaciones en la brecha sísmica de Guerrero.
4. Comparación de los datos de la deformación con los calculados por los modelos teóricos.
5. Interpretación de los resultados.
6. Conclusiones.

1. ANTECEDENTES

1.1 TECTÓNICA DE PLACAS

La superficie terrestre se asemeja a una esfera fragmentada, en la cual cada uno de los mosaicos o placas que la conforman son esencialmente sectores esféricos rígidos de litosfera; el movimiento relativo entre ellos provoca en las zonas de interacción los principales cinturones sísmicos.

La litosfera está formada por los primeros 100 km de espesor de la tierra, incluyendo la corteza y parte del manto superior, siendo más delgada en la parte oceánica y más gruesa en los continentes. Esta, se comporta como una unidad rígida en contraste con la capa subyacente, o sea la astenosfera, que es una capa débil y en estado de semifusión. Esta capa permite el desplazamiento de la litosfera sobre ella.

Actualmente existen seis placas principales (figura 1) y numerosas placas secundarias. Las principales son:

- a).- Placa del Pacífico.
- b).- Placa Americana.
- c).- Placa Africana.
- d).- Placa Antártica.
- e).- Placa Euroasiática.
- f).- Placa Indoaustraliana.

Los tipos de contactos, o fronteras entre éstas placas, dan lugar a tres tipos fundamentales de márgenes que son:

- 1).- Márgenes de divergencia o extensión.
- 2).- Márgenes de deslizamiento horizontal o transformación.
- 3).- Márgenes de convergencia o subducción.

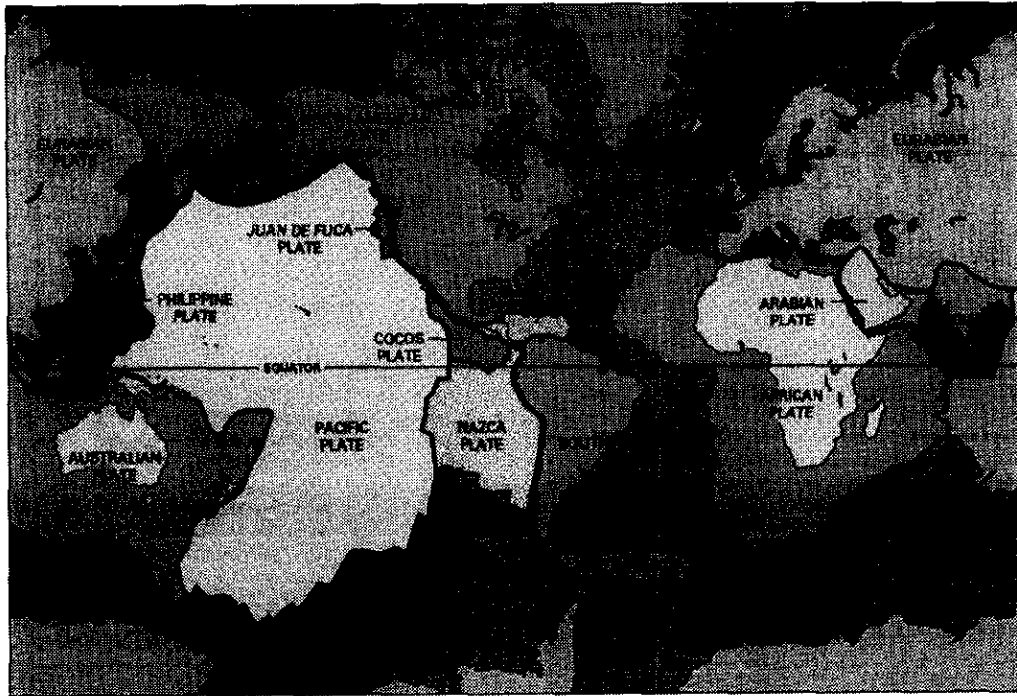


Fig. 1. Distribución global de las principales placas litosféricas.

En el primero, las placas se separan una de otra creándose entre ellas nueva corteza de tipo oceánico. En el segundo caso, éstas se deslizan horizontalmente una con respecto a otra sin que haya creación ni destrucción de la misma.

En los márgenes de convergencia o subducción, la placa oceánica se introduce en el manto por debajo de la placa continental, produciéndose en estos márgenes una *destrucción corteza*.

Los márgenes de subducción, marcan aquellas zonas en que las placas convergen unas con otras. Este movimiento obliga a que la placa oceánica se introduzca debajo de la continental debido a su mayor densidad, dando como resultado destrucción de corteza.

En general, en las zonas de subducción, el hundimiento de la placa produce una hondonada que se ha denominado "trinchera". Parte del material introducido en el manto asciende hacia la superficie continental formando zonas de vulcanismo activo, figura 2. Uno de los indicios más claros de estas zonas de convergencia es la existencia de focos sísmicos.

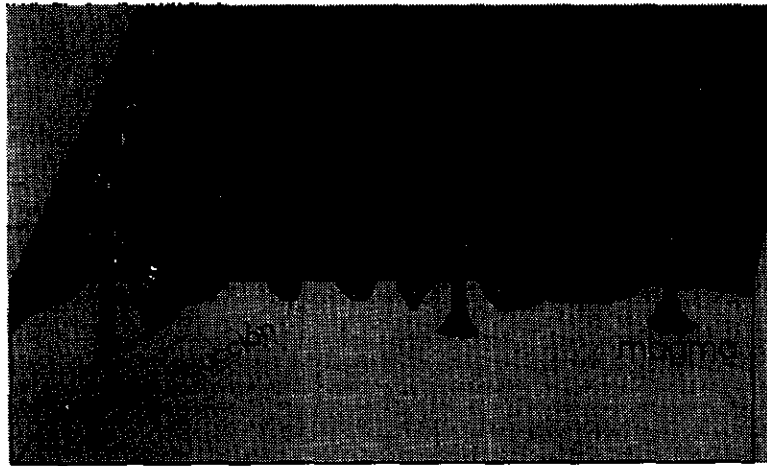


Fig. 2. Movimiento relativo de las placas. a) Margen de transformación, b) de subducción, c) de extensión.

El interior de la capa buzante está sometida a tensiones a lo largo de la placa, mientras que en las partes profundas lo está a compresiones, debido a la resistencia que opone el material del manto a la penetración de la placa.

Por otro lado tenemos, que los contactos entre placas pueden estar compartiendo parte de un océano y un continente, formando parte de un océano, o bien formar parte de un continente.

TECTONICA REGIONAL.- El territorio de la República Mexicana forma parte de la llamada Placa Norteamericana, adjunta a esta tenemos la del Pacífico; ésta, a su vez se subdivide en varias placas secundarias (Placas de Rivera y Cocos) figura 3.

La placa oceánica de Cocos domina el régimen tectónico de la parte central de México al subducir bajo la placa continental de Norteamérica. La placa de Cocos subduce en una razón que se incrementa hacia el sureste, y va de 4.8 cm/año en 104.5° W a 7.5 cm/año en 94° W (Pardo y Suárez, 1995. DeMets et. al., 1994). La geometría de subducción en la costa de México muestra en general una placa de Cocos subduciendo con un ángulo de baja inclinación (aproximadamente 12°), con respecto a la placa de Norteamérica (Suárez et. al., 1990).

La porción de la trinchera oceánica que se extiende desde la boca del Golfo de California hasta Centroamérica se le llama "Trinchera Mesoamericana", ésta se

sitúa a lo largo de la plataforma continental en el océano Pacífico y se continúa por Sudamérica hasta la tierra del fuego.



Fig. 3. Distribución de las principales placas litosféricas que interactúan en la República Mexicana.

1.2 FALLAS, REBOTE ELÁSTICO Y MOMENTO SÍSMICO

Un terremoto de origen tectónico puede considerarse producido por la ruptura de una parte de la corteza o manto. Esto es lo que en geología se conoce como una falla, es decir, una fractura del material con un corrimiento relativo del material que se encuentra a cada lado de ella.

Los parámetros que definen la orientación y dimensiones de una falla, así como la dirección y magnitud del deslizamiento que en ella ocurre se describen a continuación (Fig. 4).

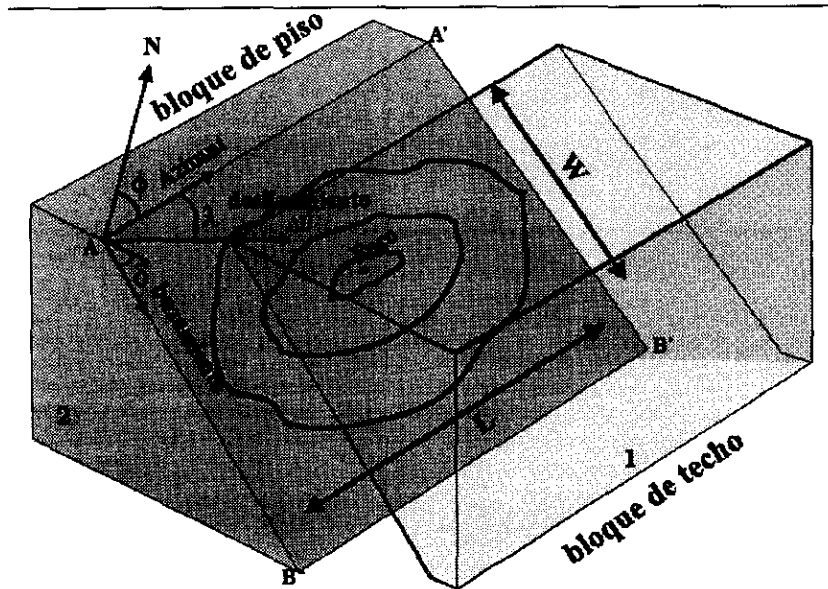


Fig. 4 Parámetros que definen el movimiento de una falla.

La línea AA', intersección del plano de falla (AA'BB') con el plano horizontal en superficie es la traza de la falla; el ángulo ϕ que forma la traza con el Norte geográfico es el acimut de la falla, y el ángulo que forma el plano de la falla con el plano horizontal es el buzamiento δ . Las dimensiones del plano de falla son su longitud L y ancho W, su área (suponiendo que su forma rectangular) es $S = LW$. El desplazamiento del bloque (1) con respecto al (2) es Δu , y se le llama deslizamiento o dislocación. La dirección del deslizamiento viene dada por el ángulo λ , entre la dirección de Δu y la horizontal, medido sobre el plano de falla.

Por tanto los parámetros que definen el movimiento de una falla son:

L: longitud de la falla;

W: ancho de la falla;

ϕ : acimut de la traza (*strike*);

δ : buzamiento del plano (*dip*);

λ : ángulo de desplazamiento (*slip angle*);

Δu : dislocación.

De acuerdo con los valores que tomen los ángulos δ y λ , tenemos diversos tipos de fallas, por ejemplo:

$\delta = 90^\circ$; $\lambda = 0^\circ$ falla lateral - movimiento horizontal ;

$\delta = 90^\circ$; $\lambda = 90^\circ$ falla de gravedad - movimiento vertical ;

$\delta = 45^\circ$; $\lambda = 90^\circ$ falla normal - movimiento vertical;

$\delta = 135^\circ$; $\lambda = 90^\circ$ falla inversa - movimiento vertical .

REBOTE ELÁSTICO: El primer modelo mecánico del origen de los terremotos fue propuesto, en 1911, por E. Reid con la teoría del rebote elástico. Según esta teoría, las deformaciones elásticas se van acumulando en una región, hasta que se supera la resistencia del material, y se produce una fractura con movimiento relativo de sus dos partes, con la relajación de las deformaciones acumuladas (fig. 5). La energía elástica se almacena de forma lenta, en procesos que pueden durar diez o cien años, relajándose súbitamente en un terremoto que sólo dura algunas decenas de segundos.

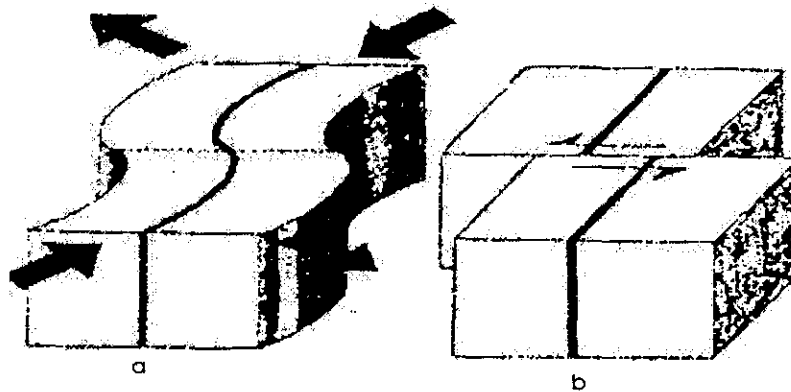


Fig. 5. Teoría del rebote elástico de Reid: a) situación deformada anterior al terremoto; b) situación después del terremoto.

Una implicación importante de este modelo es la existencia de un ciclo repetitivo de acumulación y liberación de la energía en un terremoto, denominado ciclo sísmico.

El ciclo sísmico se refiere a la observación de la ocurrencia de un sismo a lo largo de una falla. De hecho, observaciones sísmicas y geológicas indican que una falla dada sufre repetidas rupturas. Esto lleva a una noción de un ciclo sísmico, aunque "ciclo" no

implique que los terremotos sean periódicos o regulares (en otras palabras, "ciclo" no implica que los terremotos tengan una conducta).

El ciclo sísmico se divide en tres periodos: cosísmico, postsísmico e intersísmico.

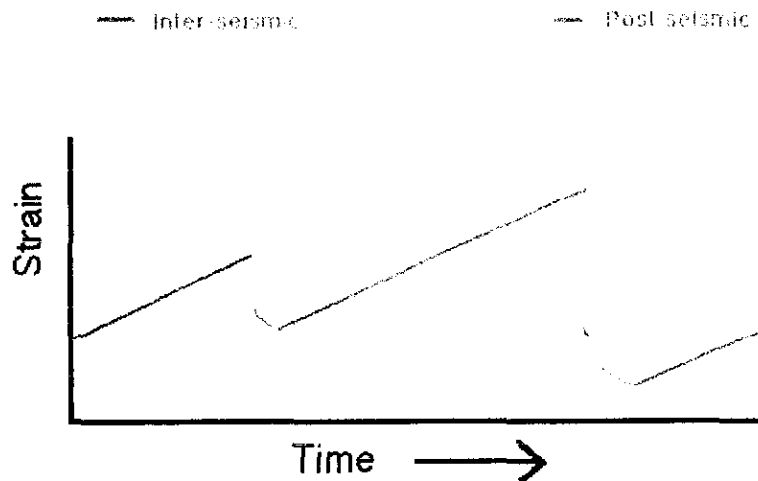


Figura 6: Ciclo sísmico. Muestra la historia de la acumulación de la deformación.

El periodo cosísmico se refiere a la deformación que ocurre durante un sismo (Figura 6: líneas verdes). En este periodo ocurre el deslizamiento en la falla y la deformación ocurre más rápido, en cuestión de segundos o aproximadamente un minuto.

El periodo postsísmico es un periodo de reajuste o transición, donde la deformación observada es relativamente rápida hasta que se llega a una estabilidad, esto es, un periodo de reacomodo que puede llevarse días, meses y a veces varios años después del sismo (Figura 6: líneas azules).

El periodo intersísmico es la etapa que se presenta después de llegar a una cierta estabilidad en el reacomodo de la falla. En este ciclo la deformación que se presenta es continua, no se presentan cambios bruscos en la deformación y puede durar varias décadas o siglos (Figura 6: líneas rojas).

Los periodos descritos anteriormente son los principales en el ciclo sísmico pero también puede existir un periodo presísmico en el cual la deformación parece detenerse, o sea, se observa un periodo donde no existe deformación.

Esta deformación de la corteza terrestre observada en el ciclo sísmico es lenta e impredecible, esto se llama deformación secular.

La deformación que ocurre durante el ciclo sísmico no es mas que el cambio de posición, sobre la superficie terrestre, que se monitorea a través de puntos geodésicos de alta precisión debido a esfuerzos tectónicos episódicos o seculares, deformación geodésica.

MOMENTO SÍSMICO: Una formulación adecuada al mecanismo de los terremotos que corresponden al de una fractura, producida por la acumulación de esfuerzos actuando sobre una región de la corteza terrestre es la que hace uso del tensor del momento sísmico M_{ij} , introducido por F. Gilbert, en 1970, y G. Backus y M. Mulcany, en 1976. Este tensor está relacionado con la situación de esfuerzos en la región focal.

El tensor de momento sísmico por unidad de volumen se denomina tensor densidad de momento m_{ij} . Este tensor representa el esfuerzo excesivo elástico o esfuerzo inelástico, que esta relacionado solamente con las deformaciones e^T_{ij} confinadas a la región focal

$$m_{ij} = C_{ijkl} e^T_{kl} , \text{ donde } C_{ijkl} \text{ son los módulos elásticos.}$$

El momento sísmico total M_{ij} viene dado por la integral de m_{ij} sobre el volumen de la región focal V_0 :

$$M_{ij} = \int_{V_0} m_{ij} dv .$$

Un caso importante en la representación de fuentes sísmicas es el de una fractura o dislocación de cizalla (todo movimiento se produce a lo largo del plano de fractura). En este caso n_i es la normal al plano de fractura y l_i la dirección en la que se produce el desplazamiento o dislocación $= \Delta u l_i$, se puede escribir el tensor del momento sísmico en la forma

$$M_{ij} = \mu \int_S \Delta u (l_i n_j + l_j n_i) ds$$

Para el caso en que Δu , l_i y n_i son constantes en toda la fractura S :

$$M_{ij} = M_0 (l_i n_j + l_j n_i) ,$$

donde M_0 es el momento sísmico escalar definido en la forma : $M_0 = \mu \Delta u S$ y Δu es el valor medio de la dislocación.

En muchos estudios del mecanismo de los terremotos resulta suficiente la aproximación que reduce el foco a un punto, o lo que es equivalente, el plano de fractura a una dislocación infinitesimal, y que considera solamente el efecto del campo lejano.

Para una fuente sísmica puntual, el campo de desplazamiento u_k viene dado por la convolución del tensor de momento sísmico con la derivada de la función de Green:

$$u_k(x_n, t) = \int_{-\infty}^{\infty} M_{ij}(x_n, \tau) \frac{\partial G_{ki}(x_n, t - \tau)}{\partial x_j} d\tau$$

Para el caso de una fractura de cizalla sobre un plano S de normal n_i y desplazamiento Δu en la dirección de l_i , el tensor M_{ij} viene dado por la ecuación $M_{ij} = M_0 (l_i n_j + l_j n_i)$.

1.3 BRECHA SISMICA DE GUERRERO

La brecha de Guerrero se localiza entre los paralelos $16^\circ 45'$ y $17^\circ 30'$ N y los meridianos $99^\circ 30'$ y $101^\circ W$, inmediatamente al sur de la zona de ruptura de los temblores de Petatlán (1979) y Michoacán (1985) (Fig.7).

En la brecha de Guerrero el periodo de recurrencia de un sismo de magnitud $M_s > 7.5$ para la zona de Acapulco- San Marcos, en el limite sur de esta ha sido estimado en 50 años (Nishenko and Singh, 1987). Para la zona de Guerrero central (100° - 101°) Nishenko (1989) sugiere periodos de recurrencia que varían de 50 a 70 años para eventos con magnitud M_s entre 7.5 y 7.8.

Tomando en cuenta que en Guerrero no han ocurrido temblores importantes al NW de Acapulco durante los últimos 87 años (lo que constituye propiamente la brecha de Guerrero), ya que los eventos más recientes ocurrieron en 1911 ($M_s=7.8$) y más de 30 años al SE (sismo de 1957, $M_s=7.7$), es de esperarse que la brecha de Guerrero sea la próxima en romperse.

En caso de que esta brecha se rompa en un solo evento, se puede generar un temblor de magnitud entre 7.9 y 8.1 (Astiz, 1987; Valdes, 1993). La forma en que se rompa el segmento de la placa dependerá de la forma en que se acumule el esfuerzo tectónico, de

la ley de fricción que gobierna el deslizamiento de la falla y de la heterogeneidad estructural de la región de acoplamiento, entre otros aspectos.

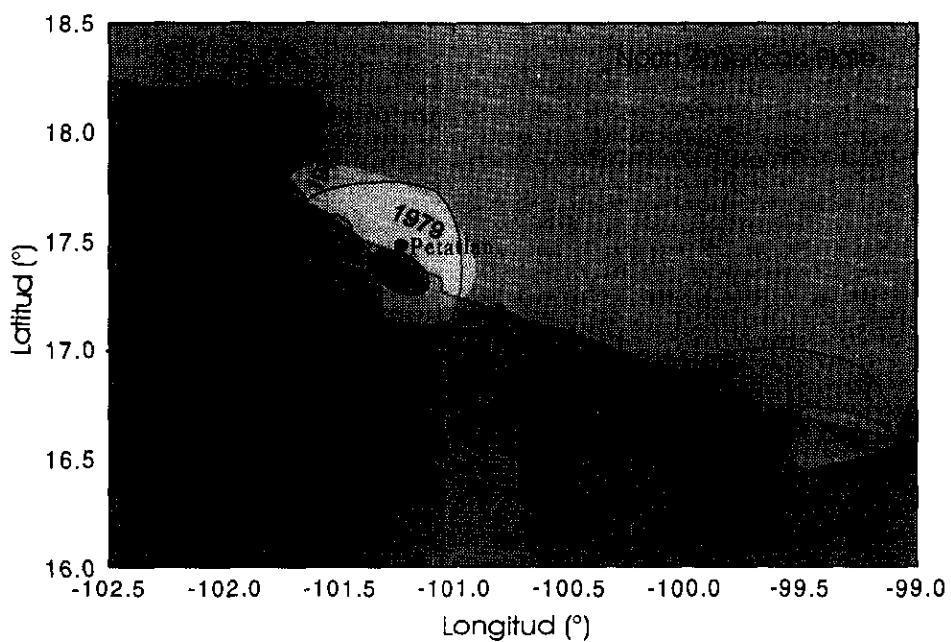


Fig. 7 Mapa de la ubicación de la brecha sísmica de Guerrero. Las áreas sombreadas con el año anotado son zonas de ruptura de sismos recientes. Las flechas son vectores que muestran la convergencia entre las placas de Cocos y Norteamérica. MAT es la Trinchera Mesoamericana (DeMets et. al., 1994)

2. DEFORMACIONES DE LA BRECHA DE GUERRERO

2.1 RED DE NIVELACIÓN DE GUERRERO

A principios de 1995 se instaló una red de nivelación en la brecha sísmica de Guerrero con el fin de realizar mediciones de las deformaciones verticales de la corteza continental, lo cual permitirá realizar un estudio sobre la zona de contacto sísmico (zona de acoplamiento).

Esta red se compone de cuatro perfiles de nivelación los cuales están ubicados en las siguientes regiones (Fig. 8):

- a) Acapulco (en la Costa Chica a lo largo de la autopista México - Acapulco).
- b) Atoyac (en la Costa Grande a lo largo de las poblaciones de Paraíso Perdido, Hacienda de Cabañas, Arenal de Alvarez y La Maquina).
- c) Barra de Potosí (en la Costa Grande a lo largo de las poblaciones de Barra de Potosí, los Achotes y el Zarco).
- d) Playa Azul (a lo largo de la carretera que va de Playa Azul a la Mira en Michoacán).

En cada una de estas regiones los perfiles de nivelación son de aproximadamente de 10 a 17 km. de longitud.

Cada perfil se compone de una serie de bancos de nivelación, los cuales se encuentran espaciados aproximadamente un kilómetro entre sí.

Con respecto a la brecha sísmica de Guerrero, estos perfiles están ubicados al norte de la brecha (Barra de Potosí), en medio (Atoyac) y al sur (Acapulco). Además el perfil Playa Azul está ubicado en la parte central de la zona de ruptura del sismo (M=8.1) de 1985 en Michoacán.

En la figura 8 podemos ver la ubicación de estos perfiles.

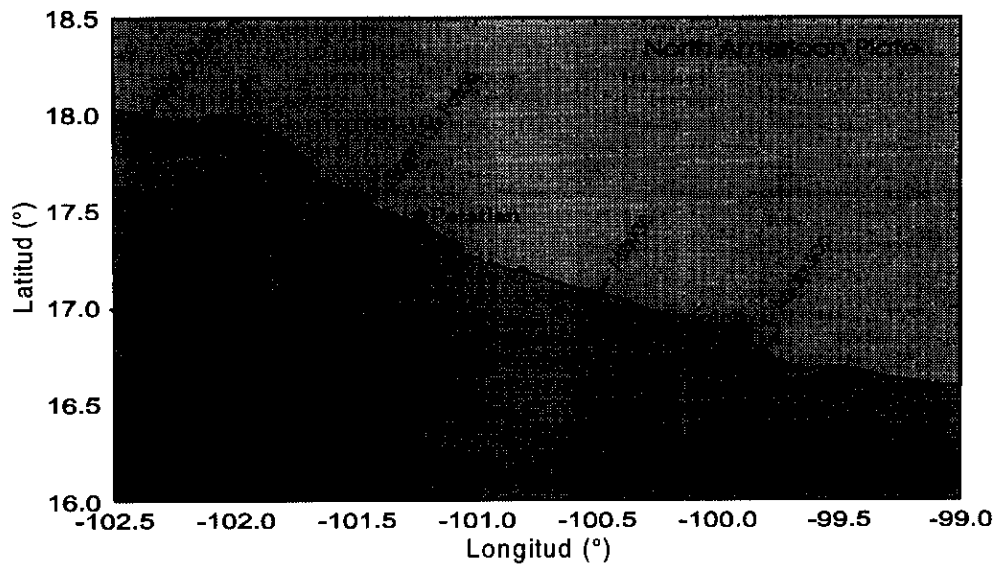


Fig. 8 Ubicación de los perfiles de nivelación. Las flechas son vectores que muestran la convergencia entre las placas de Cocos y Norteamérica. MAT es la Trinchera Mesoamericana.

2.2 METODOLOGIA

Para obtener mediciones de las deformaciones verticales en la zona de la brecha sísmica de Guerrero se realizaron los siguientes pasos:

a) Ubicación de los bancos de nivelación, esto con respecto a las coordenadas geográficas de la zona.

La ubicación se realiza mediante el gps (Global Positioning System).

b) Después de ubicar la posición de estos, realizamos las mediciones correspondientes a las deformaciones verticales de la zona.

Estas mediciones se realizan utilizando el equipo: Electronic digital level Zeiss DiNi 10 (Fig. 9).

El equipo Electronic digital level Zeiss DiNi 10 consta de:

1. Dos estadales.
2. Dos bases para los estadales.
3. Un tripié.
4. Un instrumento óptico –electrónico.
5. Dos pilas.
6. Una memoria.

La metodología para registrar estas medidas es la siguiente:

La distancia entre dos bancos es de aproximadamente un kilómetro y el alcance del instrumento entre estadal y estadal es de aproximadamente 100 metros.

Por lo cual primero tenemos que dividir este kilómetro. Estas divisiones dependerán de la topografía del terreno. Además estas divisiones constan de tres marcas: dos para los estadales y una para el instrumento las cuales las denominamos i para el instrumento y a y b para cada una de los estadales.

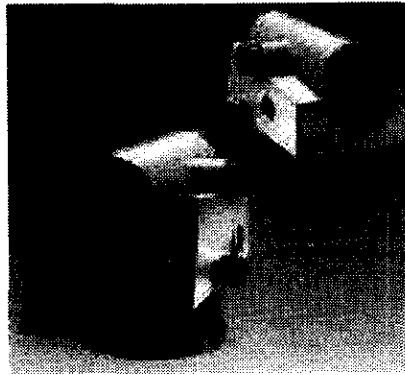


Fig. 9 Equipo Electronic digital level Zeiss DiNi 10.

El objetivo de estas divisiones es:

- Que el brazo del instrumento a cada estadal sea el mismo para no ir acumulando posibles errores de paralaje además de que el error acumulable con respecto a la distancia en un kilómetro no debe de exceder cuatro metros horizontalmente.

- Que con el estadal que se inicie el registro sea el mismo estadal con el que se llegue al cierre, esto para evitar posible errores en la coincidencia del cero en el estadal.

Después de realizar las marcas se colocan los estadales y el instrumento en cada una de ellas. Partiendo de uno de los bancos de nivelación (al cual denominamos banco1), esto es, se coloca el primer estadal (a) en el banco1, luego el instrumento y después el segunda estadal(b).

Luego procedemos a iniciar el registro de las mediciones del nivel entre estadales.

El procedimiento para el registro de estas es el siguiente: las lecturas que se van registrando con el instrumento se realizan siguiendo el procedimiento BFBB (atrás-adelante-atrás-adelante), esto es, primero tomamos el registro del estado (a) que está en el banco 1 y luego del estado (b) y esto se va realizando cada vez que se mueven los estados de posición. Cuando se realiza este desplazamiento queda un estado fijo y el otro se va desplazando por lo cual el estado que va quedando de frente al instrumento siempre cambia, esto es, a veces el estado (a) estará de frente al instrumento y otras veces estará el estado (b) y esto se va haciendo hasta llegar al banco 2 procurando llegar siempre con el estado (a) con que se inició el registro. Luego realizamos el mismo proceso hasta regresar al banco 1 para realizar el cierre. Esto mismo se realiza entre cada par de bancos consecutivos del perfil de nivelación (Fig. 10).

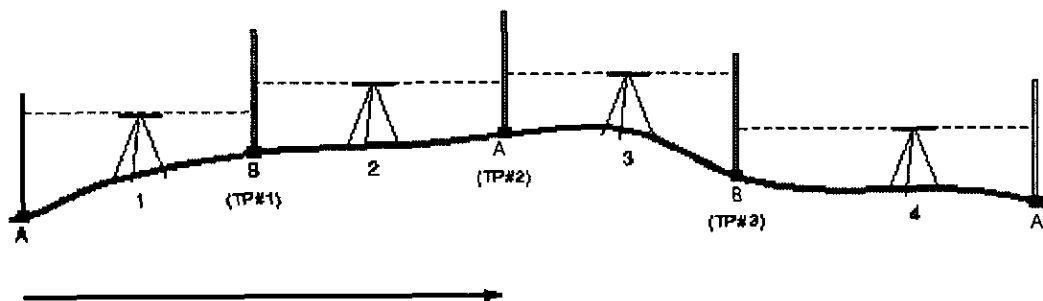


Fig. 10 Diagrama de una nivelación diferencial.

2.3 DATOS REGISTRADOS

Las mediciones que se llevan a cabo en cada uno de los perfiles de nivelación se realizan con un periodo de un año.

Los datos que se presentan a continuación solo son para los perfiles de Atoyac y Acapulco ya que para el perfil de Playa Azul no se encontró deformación mientras que para el perfil de Barra de Potosí apenas se está en la fase 1, esto es, en la nivelación de referencia.

Los resultados de las nivelaciones hechas en los perfiles de Atoyac y Acapulco, se muestran en las tablas 1-7.

Z en las tablas 1-7 significa el nivel que hay en cada banco con respecto a un punto de origen y DZ significa el error en cada punto de la nivelación.

PERFIL DE NIVELACIÓN DE ATOYAC.

El perfil de nivelación de Atoyac para las tablas 1 y 2 tiene una longitud aproximada de 11 km y se encuentra el punto de referencia cero aproximadamente a 72.4 km de la trinchera. Los resultados mostrados en estas tablas a través de la variable Z nos reflejan la topografía del terreno.

TABLA 1

ATOYAC

NIVELACIÓN DEL AÑO 95

No.	BANCO	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA DESDE LA TRINCHERA	Z95(m)	DZ95(mm)
		°N	°W	Km.		
1	AT10	17.081266	-100.480415	72.42	0.00000	0.00
2	AT09	17.086483	-100.478317	73.04	0.30169	0.25
3	AT08	17.092350	-100.477249	73.70	1.80263	-0.15
4	AT07	17.098034	-100.474449	74.39	3.37048	-0.53
5	AT06	17.099150	-100.466568	74.79	3.34750	-0.69
6	AT05	17.107267	-100.462883	75.77	5.17184	-0.44
7	ATO4	17.115566	-100.459984	76.75	6.95858	-0.97
8	ATO3	17.126966	-100.455597	78.10	8.23452	0.05
9	AT02	17.133284	-100.460648	78.59	10.02939	-0.41
10	AT01	17.144083	-100.455734	79.90	12.79570	-0.68
11	INEGI6740	17.150898	-100.448486	80.87	12.17117	0.09

TABLA 2
ATOYAC
NIVELACIÓN DEL AÑO 96

No.	BANCO	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA DESDE LA TRINCHERA	Z96(m)	DZ96(mm)
		°N	°W	Km.		
1	AT10	17.081266	-100.480415	72.42	0.00000	0.00
2	AT09	17.086483	-100.478317	73.04	0.30213	-0.12
3	AT08	17.092350	-100.477249	73.70	1.80361	-0.22
4	AT07	17.098034	-100.474449	74.39	3.37072	0.09
5	AT06	17.099150	-100.466568	74.79	3.34762	-0.35
6	AT05	17.107267	-100.462883	75.77	5.17136	0.75
7	AT04	17.115566	-100.459984	76.75	6.95729	0.41
8	AT03	17.126966	-100.455597	78.10	8.23627	0.12
9	AT02	17.133284	-100.460648	78.59	10.02892	-0.47
10	AT01	17.144083	-100.455734	79.90	12.79360	0.82

Los resultados de las nivelaciones de primer orden para los años 95 y 96 se muestran gráficamente en la figura 11. En esta figura se muestra la topografía del lugar donde esta ubicado el perfil.

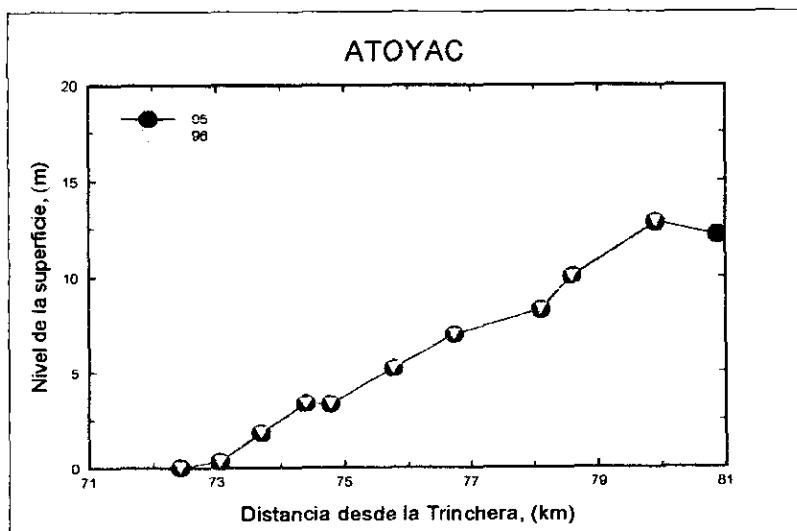


Fig. 11. Resultados de la nivelación en los años de 1995 y 1996 que reflejan la topografía del terreno en el perfil de Atoyac.

El perfil de nivelación de Atoyac para las tablas 3 y 4 tiene una longitud aproximada de 17 km, esto se debe a que el perfil fue ampliado para tener un mejor control sobre la nivelación. Además el punto de referencia cero aproximadamente a 72.4 km de la trinchera. Los resultados mostrados en estas tablas a través de la variable Z nos reflejan la topografía del terreno.

TABLA 3
ATOYAC
NIVELACIÓN DEL AÑO 97

No.	BANCO	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA DESDE LA TRINCHERA	Z97(m)	DZ97(mm)
		°N	°W	Km.		
1	AT10	17.081266	-100.480415	72.42	0.00000	0.00
2	AT09	17.086483	-100.478317	73.04	0.30256	-0.22
3	AT08	17.092350	-100.477249	73.70	1.80291	-0.30
4	AT07	17.098034	-100.474449	74.39	3.36959	-0.12
5	AT06	17.099150	-100.466568	74.79	3.34706	0.05
6	AT05	17.107267	-100.462883	75.77	5.17046	-0.52
7	ATO4	17.115566	-100.459984	76.75	6.95579	-0.72
8	ATO3	17.126966	-100.455597	78.10	8.23334	-0.30
9	AT02	17.133284	-100.460648	78.59	10.02542	0.17
10	AT01	17.144083	-100.455734	79.90	12.79150	-1.02
11	INEGI6740	17.150898	-100.448486	80.87	12.15559	0.35
12	AT-01n	17.16077	-100.42762	82.64	14.48893	0.49
13	AT-02n	17.16385	-100.43208	82.81	20.99130	-0.89
14	AT-03n	17.17380	-100.43542	83.74	22.84582	-1.25
15	AT-04n	17.18337	-100.43705	84.69	23.02883	-0.86
16	AT-05n	17.19210	-100.43864	85.55	30.85736	-0.80
17	AT-06n	17.19933	-100.43853	86.32	30.27242	0.51

TABLA 4
 ATOYAC
 NIVELACIÓN DEL AÑO 98

No.	BANCO	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA DESDE LA TRINCHERA	Z98(m)	DZ98(mm)
		°N	°W	Km.		
1	AT10	17.081266	-100.480415	72.42	0.00000	0.00
2	AT09	17.086483	-100.478317	73.04	0.30347	-0.05
3	AT08	17.092350	-100.477249	73.70	1.80343	0.02
4	AT07	17.098034	-100.474449	74.39	3.36856	-0.59
5	AT06	17.099150	-100.466568	74.79	3.34628	-0.25
6	AT05	17.107267	-100.462883	75.77	5.16939	0.22
7	ATO4	17.115566	-100.459984	76.75	6.95392	-0.31
8	ATO3	17.126966	-100.455597	78.10	8.23129	-0.32
9	AT02	17.133284	-100.460648	78.59	10.02262	-0.57
10	AT01	17.144083	-100.455734	79.90	12.78924	0.37
11	INEGI6740	17.150898	-100.448486	80.87	12.15211	-0.41
12	AT-01n	17.16077	-100.42762	82.64	14.48429	0.50
13	AT-02n	17.16385	-100.43208	82.81	20.98560	-0.52
14	AT-03n	17.17380	-100.43542	83.74	22.83920	-0.56
15	AT-04n	17.18337	-100.43705	84.69	23.02188	-0.86
16	AT-05n	17.19210	-100.43864	85.55	30.85267	-0.91
17	AT-06n	17.19933	-100.43853	86.32	30.26456	-0.60

Los resultados de la nivelación de primer orden para el año 97 y 98 se muestran gráficamente en la figura 12. En estas figuras se muestra la extensión del perfil y la topografía de éste.

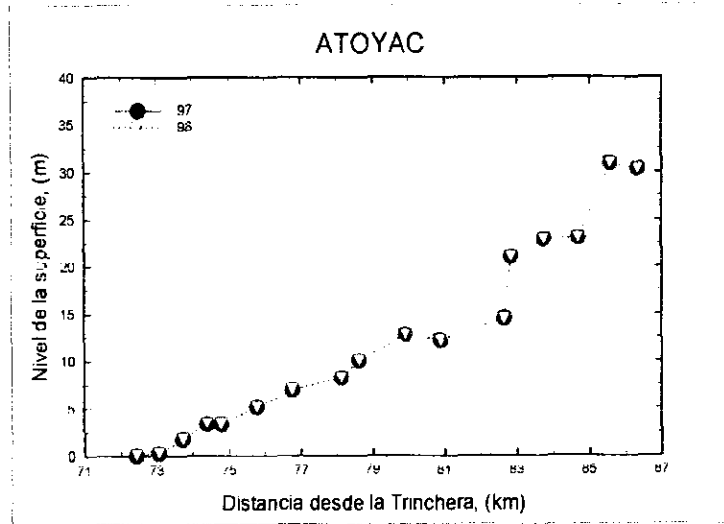


Fig. 12. Resultados de la nivelación en los años de 1997 y 1998 que reflejan la topografía del terreno en el perfil de Atoyac.

PERFIL DE NIVELACIÓN DE ACAPULCO

El perfil de nivelación de Acapulco para las tablas 1 y 2 tiene una longitud aproximada de 16 km y se encuentra el punto de referencia cero aproximadamente a 78.8 km de la trinchera. Los resultados mostrados en estas tablas a través de la variable Z nos reflejan la topografía del terreno.

TABLA 5
ACAPULCO
NIVELACIÓN DEL AÑO 95

	BANCO	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA DESDE LA TRINCHERA	Z95(m)	DZ95(mm)
		°N	°W	Km.		
1	ACA16	16.898950	-99.750560	78.84	0.00000	0.000
2	ACA15	16.892560	-99.748250	78.25	22.4195	-0.77
3	ACA14	16.880790	-99.749370	76.97	-5.1418	-0.42
4	ACA13	16.871540	-99.749240	76.00	-9.1197	-0.40
5	ACA12	16.863190	-99.751880	75.03	-17.7187	-1.14
6	ACA11	16.853780	-99.754930	73.93	-40.3298	0.42
7	ACA10	16.843790	-99.757290	72.79	-42.1753	-0.69
8	ACA09	16.834850	-99.758770	71.80	-43.8019	-0.90
9	ACA08	16.827740	-99.760350	71.00	-45.452	-0.50
10	ACA07	16.819570	-99.768740	69.84	-45.452	-0.59
11	ACA06	16.813960	-99.775530	69.01	-43.5803	-0.46
12	ACA05	16.80730	-99.7821	68.08	-45.2151	-0.84
13	ACA04	16.80070	-99.7905	67.09	-45.2302	-0.40
14	ACA03	16.796870	-99.794170	66.56	-44.2144	0.19
15	ACA02	16.789330	-99.798890	65.60	-46.0749	0.03
16	ACA01	16.782490	-99.804170	64.69	-41.6685	-0.86

TABLA 6
ACAPULCO
NIVELACIÓN DEL AÑO 96

	BANCO	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA DESDE LA TRINCHERA	Z96(m)	DZ96(mm)
		°N	°W	Km.		
1	ACA16	16.898950	-99.750560	78.84	0.00000	0.00
2	ACA15	16.892560	-99.748250	78.25	22.4154	-0.82
3	ACA14	16.880790	-99.749370	76.97	-5.1395	-1.43
4	ACA13	16.871540	-99.749240	76.00	-9.1235	-0.98
5	ACA12	16.863190	-99.751880	75.03	-17.7231	-0.71
6	ACA11	16.853780	-99.754930	73.93	-40.3381	-0.28
7	ACA10	16.843790	-99.757290	72.79	-42.1837	-1.03
8	ACA09	16.834850	-99.758770	71.80	-43.8081	-0.60
9	ACA08	16.827740	-99.760350	71.00	-45.4567	-0.16
10	ACA07	16.819570	-99.768740	69.84	-45.4581	0.46
11	ACA06	16.813960	-99.775530	69.01	-43.5884	-0.12
12	ACA05	16.80730	-99.78210	68.08	-45.2386	0.07
13	ACA04	16.80070	-99.79050	67.09	-45.2588	1.23
14	ACA03	16.796870	-99.794170	66.56	-44.2249	-0.09
15	ACA02	16.789330	-99.798890	65.60	-46.0861	-0.49
16	ACA01	16.782490	-99.804170	64.69	-41.6807	0.59

TABLA 7

ACAPULCO

NIVELACIÓN DEL AÑO 97

	BANCO	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA DESDE LA TRINCHERA	Z97(m)	DZ97(mm)
		°N	°W	Km.		
1	ACA16	16.898950	-99.750560	78.84	0.00000	0.00
2	ACA15	16.892560	-99.748250	78.25	22.41853	0.08
3	ACA14	16.880790	-99.749370	76.97	-5.13737	0.73
4	ACA13	16.871540	-99.749240	76.00	-9.12125	-0.22
5	ACA12	16.863190	-99.751880	75.03	-17.72185	0.21
6	ACA11	16.853780	-99.754930	73.93	-40.33635	-0.63
7	ACA10	16.843790	-99.757290	72.79	-42.18455	-0.47
8	ACA09	16.834850	-99.758770	71.80	-43.80975	-0.12
9	ACA08	16.827740	-99.760350	71.00	-45.46065	0.36
10	ACA07	16.819570	-99.768740	69.84	-45.46495	0.43
11	ACA06	16.813960	-99.775530	69.01	-43.59743	-0.16
12	ACA05	16.80730	-99.78210	68.08	-45.26555	-0.59
13	ACA04	16.80070	-99.79050	67.09	-45.28506	0.11
14	ACA03	16.796870	-99.794170	66.56	-44.22823	0.23
15	ACA02	16.789330	-99.798890	65.60	-46.09074	-0.43
16	ACA01	16.782490	-99.804170	64.69	-41.68378	-0.02

Los resultados de las nivelaciones de primer orden para los años 95, 96 y 97 se muestran gráficamente en la figura 13. En esta figura se muestra la topografía del lugar donde esta ubicado el perfil.

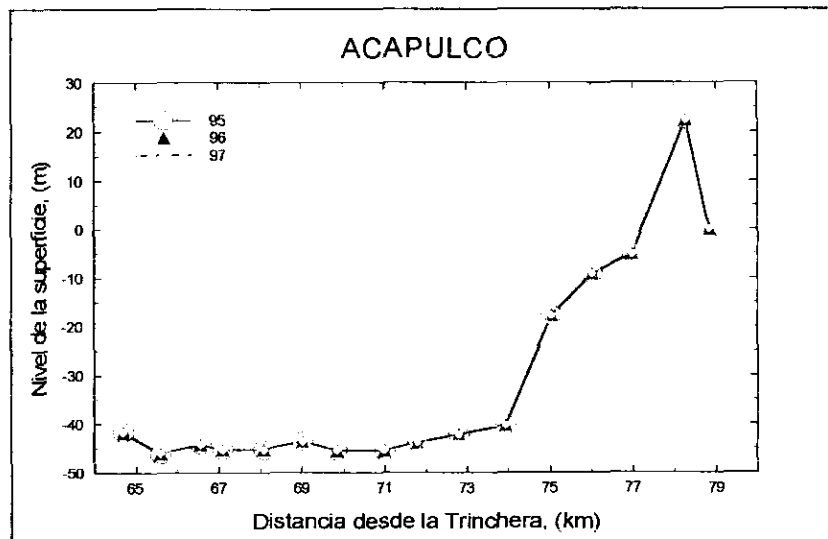


Fig. 13. Resultados de la nivelación en los años de 1995, 1996 y 1997 que reflejan la topografía del terreno en el perfil de Acapulco.

3. ANALISIS DE RESULTADOS

3.1 CALCULO DE LAS DEFORMACIONES

Para determinar las deformaciones en los perfiles de Atoyac y Acapulco lo que hacemos es calcular la diferencia entre los datos de la nivelación de referencia es decir el primer año y los datos obtenidos en las nivelaciones posteriores.

PERFIL DE NIVELACIÓN DE ATOYAC.

El perfil de nivelación de Atoyac para las tablas 8 y 9 tiene una longitud aproximada de 11 km y el punto de referencia cero aproximadamente a 72.4 km de la trinchera. Los resultados mostrados en estas tablas 8 y 9 a través de la variable DIF.9596 y DIF.9597 nos reflejan la tasa de deformación para esos años. La tasa de deformación no es mas que la diferencia entre los niveles de cada de cada año para el perfil.

TABLA 8

ATOYAC

DIFERENCIA DE LA NIVELACIÓN DE LOS AÑOS 96-95

(TASA DE DEFORMACIÓN)

No.	BANCO	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA DESDE LA TRINCHERA	DIF.9695(mm)	ERROR(mm)
		°N	°W	Km.		
1	AT10	17.081266	-100.480415	72.42	0.00	0.00
2	AT09	17.086483	-100.478317	73.04	0.43	0.27
3	AT08	17.092350	-100.477249	73.70	0.98	0.27
4	AT07	17.098034	-100.474449	74.39	0.24	0.54
5	AT06	17.099150	-100.466568	74.79	0.11	0.78
6	AT05	17.107267	-100.462883	75.77	-0.48	0.87
7	ATO4	17.115566	-100.459984	76.75	-1.29	1.05
8	ATO3	17.126966	-100.455597	78.10	1.75	0.13
9	AT02	17.133284	-100.460648	78.59	-0.47	0.62
10	AT01	17.144083	-100.455734	79.90	-2.10	1.06
11	INEGI6740	17.150898	-100.448486	80.87		

TABLA 9
 ATOYAC
 DIFERENCIA DE LA NIVELACIÓN DE LOS AÑOS 97-95
 (TASA DE DEFORMACIÓN)

No.	BANCO	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA DESDE LA TRINCHERA	DIF.9795(mm)	ERROR(mm)
		°N	°W	Km.		
1	AT10	17.081266	-100.480415	72.42	0.00	0.00
2	AT09	17.086483	-100.478317	73.04	0.43	0.33
3	AT08	17.092350	-100.477249	73.70	0.14	0.33
4	AT07	17.098034	-100.474449	74.39	-0.45	0.54
5	AT06	17.099150	-100.466568	74.79	-0.22	0.69
6	AT05	17.107267	-100.462883	75.77	-0.69	0.68
7	ATO4	17.115566	-100.459984	76.75	-1.40	1.21
8	ATO3	17.126966	-100.455597	78.10	-0.59	0.30
9	AT02	17.133284	-100.460648	78.59	-1.99	0.44
10	AT01	17.144083	-100.455734	79.90	-2.10	1.23
11	INEGI6740	17.150898	-100.448486	80.87	-7.79	0.36

La tasa de deformación vertical encontrada para el perfil de Atoyac para el periodo de 1995-1996 es similar a la del periodo 1995-1997 y es aproximadamente de 2 mm en una base de 10 Km. La figura 14 muestra la tasa deformación del perfil de Atoyac con respecto a la posición desde la trinchera de los bancos.

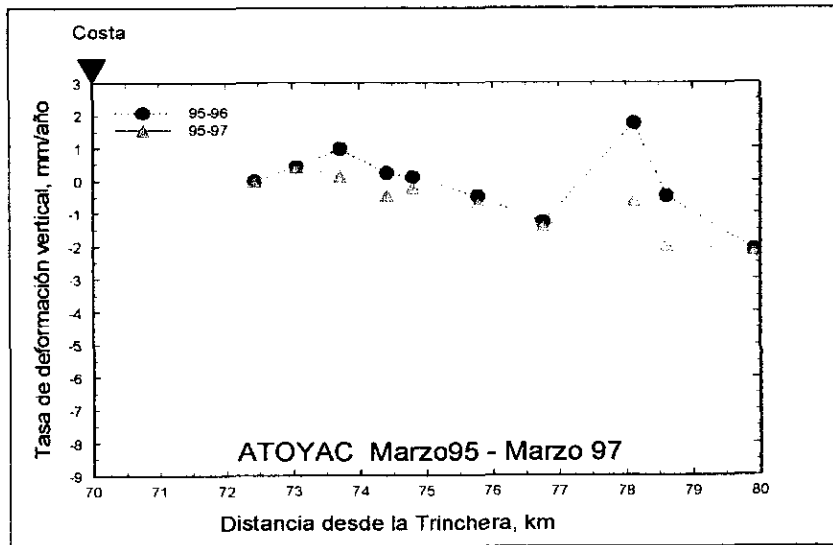


Fig. 14. Tasa de deformación para los periodos 1995-1996 y 1995-1997 en el perfil de Atoyac. Por simplicidad se omiten las barras de errores.

El perfil de nivelación de Atoyac para la tabla 10 tiene una longitud aproximada de 17 km, esto es, porque el perfil se amplió para tener un mejor control sobre la deformación. El punto de referencia cero aproximadamente a 72.4 km de la trinchera. Los resultados mostrados en esta tabla a través de la variable DIF.9798 nos reflejan la tasa de deformación para esos años y además ya muestran la tasa para los puntos en los cuales el perfil se extendió. La tasa de deformación no es más que la diferencia entre los niveles de cada año para el perfil.

TABLA 10
 DIFERENCIA DE LA NIVELACIÓN DE LOS AÑOS 98-97
 (TASA DE DEFORMACIÓN)

No.	BANCO	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA DESDE LA TRINCHERA	DIF.9798(mm)	ERROR(mm)
		°N	°W	Km.		
1	AT10	17.081266	-100.480415	72.42	0.00	0.00
2	AT09	17.086483	-100.478317	73.04	0.91	0.12
3	AT08	17.092350	-100.477249	73.70	0.52	0.15
4	AT07	17.098034	-100.474449	74.39	-1.03	0.30
5	AT06	17.099150	-100.466568	74.79	-0.79	0.13
6	AT05	17.107267	-100.462883	75.77	-1.06	0.28
7	ATO4	17.115566	-100.459984	76.75	-1.87	0.39
8	ATO3	17.126966	-100.455597	78.10	-2.05	0.22
9	AT02	17.133284	-100.460648	78.59	-2.80	0.30
10	AT01	17.144083	-100.455734	79.90	-2.27	0.54
11	INEGI6740	17.150898	-100.448486	80.87	-3.48	0.27
12	AT-01n	17.16077	-100.42762	82.64	-4.64	0.35
13	AT-02n	17.16385	-100.43208	82.81	-5.70	0.51
14	AT-03n	17.17380	-100.43542	83.74	-6.62	0.69
15	AT-04n	17.18337	-100.43705	84.69	-6.95	0.61
16	AT-05n	17.19210	-100.43864	85.55	-4.68	0.60
17	AT-06n	17.19933	-100.43853	86.32	-7.86	0.39

La tasa de deformación encontrada para el periodo de 1997-1998 en el perfil de Atoyac es de aproximadamente de 7.8 mm en una base de 17 Km. La figura 15 muestra la tasa deformación del perfil de Atoyac con respecto a la posición desde la trinchera de los bancos.

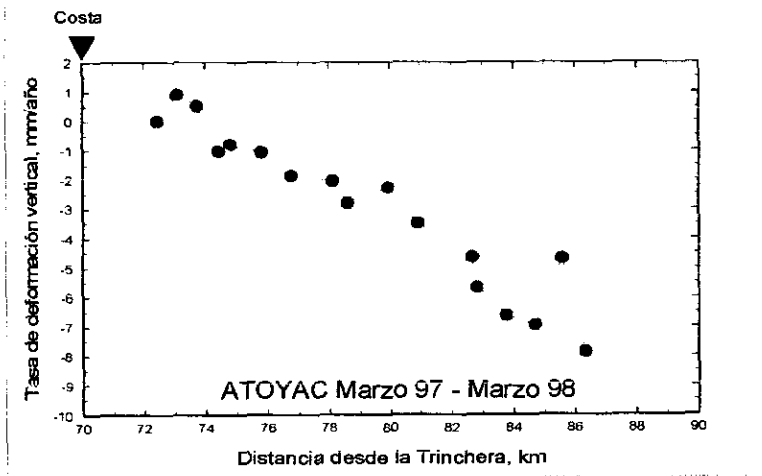


Fig. 15. Tasa de deformación para el periodo de 1997-1998 en el perfil de Atoyac. Por simplicidad se omiten las barras de errores.

PERFIL DE NIVELACIÓN DE ACAPULCO

El perfil de nivelación de Acapulco para las tablas 11 y 12 tiene una longitud aproximada de 16 km y el punto de referencia cero aproximadamente a 78.8 km de la trinchera. Los resultados mostrados en estas tablas 11 y 12 a través de la variable DIF.9596 y DIF.9597 nos reflejan la tasa de deformación para esos años. La tasa de deformación no es mas que la diferencia entre los niveles de cada de cada año para el perfil.

TABLA 11
ACAPULCO
DIFERENCIA DE LA NIVELACIÓN DE LOS AÑOS 96-95
(TASA DE DEFORMACIÓN)

No.	BANCO	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA DESDE LA TRINCHERA	DIF.9695(mm)	ERROR(mm)
		°N	°W	Km.		
1	ACA16	16.898950	-99.750560	78.84	0.0000	0.000
2	ACA15	16.892560	-99.748250	78.25	-4.0836	1.121
3	ACA14	16.880790	-99.749370	76.97	2.3918	1.486
4	ACA13	16.871540	-99.749240	76.00	-3.6974	1.052
5	ACA12	16.863190	-99.751880	75.03	-4.2477	1.336
6	ACA11	16.853780	-99.754930	73.93	-8.1406	0.498
7	ACA10	16.843790	-99.757290	72.79	-8.2397	1.240
8	ACA09	16.834850	-99.758770	71.80	-6.0043	1.079
9	ACA08	16.827740	-99.760350	71.00	-4.4746	0.525
10	ACA07	16.819570	-99.768740	69.84	-5.9319	0.745
11	ACA06	16.813960	-99.775530	69.01	-7.8545	0.471
12	ACA05	16.80730	-99.78210	68.08	-23.2239	0.838
13	ACA04	16.80070	-99.79050	67.09	-28.2936	1.293
14	ACA03	16.796870	-99.794170	66.56	-10.1891	0.206
15	ACA02	16.789330	-99.798890	65.60	-10.9024	0.491
16	ACA01	16.782490	-99.804170	64.69	-11.9514	1.040

TABLA 12

ACAPULCO
DIFERENCIA DE LA NIVELACIÓN DE LOS AÑOS 95-97
(TASA DE DEFORMACIÓN)

No.	BANCO	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA DESDE LA TRINCHERA	DIF.9795(mm)	ERROR(mm)
		°N	°W	Km.		
1	ACA16	16.898950	-99.750560	78.84	0.00	0.00
2	ACA15	16.892560	-99.748250	78.25	-0.48	0.77
3	ACA14	16.880790	-99.749370	76.97	2.13	0.84
4	ACA13	16.871540	-99.749240	76.00	-0.72	0.45
5	ACA12	16.863190	-99.751880	75.03	-1.48	1.15
6	ACA11	16.853780	-99.754930	73.93	-3.09	0.75
7	ACA10	16.843790	-99.757290	72.79	-4.41	0.84
8	ACA09	16.834850	-99.758770	71.80	-3.73	0.91
9	ACA08	16.827740	-99.760350	71.00	-4.10	0.62
10	ACA07	16.819570	-99.768740	69.84	-6.19	0.73
11	ACA06	16.813960	-99.775530	69.01	-8.17	0.48
12	ACA05	16.80730	-99.78210	68.08	-24.17	1.02
13	ACA04	16.80070	-99.79050	67.09	-26.27	0.42
14	ACA03	16.796870	-99.794170	66.56	-6.59	0.30
15	ACA02	16.789330	-99.798890	65.60	-7.55	0.43
16	ACA01	16.782490	-99.804170	64.69	-7.29	0.86

La tasa de deformación vertical encontrada para el perfil de Acapulco en los periodos 1995-1996 y 1995-1997 es de aproximadamente 12 y 7.3mm en una base de 16 Km. respectivamente La figura 16 muestra la tasa deformación del perfil de Acapulco con respecto a la posición desde la trinchera de los bancos.

Los puntos 4 y 5 que se observan en la gráfica de izquierda a derecha parecen anómalos pero en realidad son correctos, el que se observe una caída abrupta en esos puntos es porque están en un lugar pantanoso y porque la Compañía Federal de Electricidad (CFE) realizo una compactación del terreno para instalar unos postes de luz.

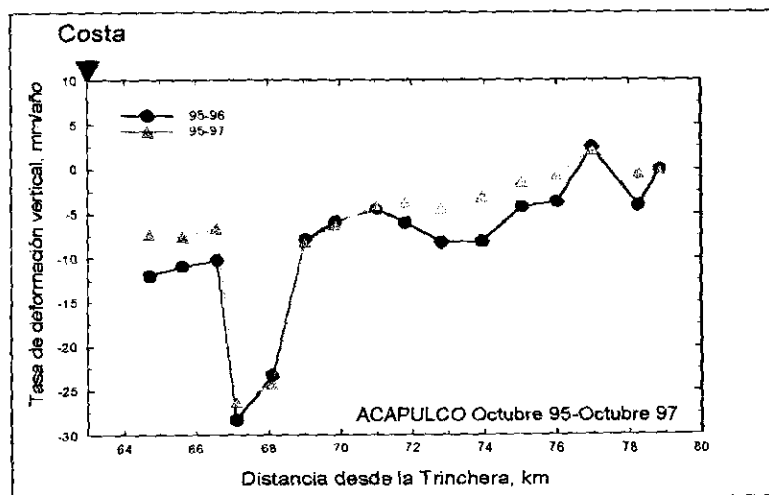


Fig. 16 Tasa de deformación para el perfil de Acapulco. Por simplicidad se omiten las barras de errores.

Para el perfil de Acapulco tenemos como se puede observar en la figura 16 que la tasa de deformación aumenta cuando nos alejamos de la costa mientras que para el perfil de Atoyac tenemos que la tasa deformación disminuye al irnos alejando de la costa (ver fig. 14 y 15).

4. MODELACIÓN TEORICA DE LA DEFORMACIÓN DE LA BRECHA DE GUERRERO

4.1 MODELACIÓN DE ELEMENTOS DE LIMITE EN TRES DIMENSIONES (3D)

El programa 3D fue realizado por Joan Gomberg de la USGS y usa funciones de escritorio que se basan en el código de dislocación propuesto por Okada (1992). Estas funciones describen el campo de deformación (desplazamiento y gradiente de desplazamiento) debidas a dislocación rectangular en un semiespacio homogéneo.

Este programa de modelación de elementos de limite en tercera dimensión (3D) es un programa realizado en lenguaje FORTRAN.

Para poder encontrar una curva que se ajuste a los datos experimentales por medio del programa 3D hay que determinar los siguientes parámetros de la falla: origen (X_o, Y_o, Z_o), largo y ancho, dirección y magnitud de su deslizamiento, acímuto y buzamiento de la misma.

Ahora el programa 3D determina la deformación vertical cosísmica y nosotros estamos determinando la deformación vertical intersísmica para esto simplemente a la hora de graficar los resultados emitidos por el programa hacemos una corrección. Esta corrección consiste en dividir los resultados emitidos por el tiempo desde que ocurrió el ultimo temblor fuerte ($M_s > 7.5$) lo cual para Atoyac que esta al NW de Acapulco es de casi 86 años (el ultimo sismo fuerte fue en 1911) y para Acapulco es de casi 41 años (el ultimo sismo fuerte fue en 1957) (Nishenko and Singh, 1987, Nishenko, 1989).

Para poder determinar cual era el mejor modelo que se ajustaba a nuestros resultados experimentales tuvimos que realizar varias pruebas, o sea, varios modelos.

Los diferentes modelos propuestos se presentan a continuación por medio de tablas en las cuales están las variaciones que se hicieron de los parámetros de la falla.

Las primeras tablas son para el ajuste de los datos obtenidos para el perfil de Atoyac.

PERFIL DE NIVELACIÓN DE ATOYAC.

Caso 1.- Aquí los parámetros que varían son el origen relativo a la trinchera y la profundidad máxima.

TABLA 13

ATOYAC

1995-1996 y 1995-1997

PARAMETROS DE LA FALLA

LINEA	AZUL	VERDE	ROJA	VIOLETA	ROJO CLARO
LARGO (Km.)	268	268	268	268	268
ANCHO (Km.)	50	50	50	50	50
PROFUNDIDAD MAXIMA (Km.)	8.36	9.16	10.11	10.98	11.05
INCLINACION (°)	5	5	5	5	5
ORIGEN DESDE LA TRINCHERA (Km.)	0	10	20	30	40
DESPLAZAMIENTO (cm)	230	230	230	230	230
TIEMPO DESDE QUE OCURRIO EL ULTIMO SISMO IMPORTANTE (años)	85	85	85	85	85

CASO 2. Aquí los parámetros que varían son el buzamiento o inclinación y la profundidad máxima.

TABLA 14

ATOYAC

1995-1996 y 1995-1997

PARAMETROS DE LA FALLA

LINEA	AZUL	VERDE	ROJA	VIOLETA
LARGO (Km.)	268	268	268	268
ANCHO (Km.)	50	50	50	50
PROFUNDIDAD MAXIMA (Km.)	10.11	12.53	16.15	22.12
INCLINACION (°)	5	7	10	15
ORIGEN DESDE LA TRINCHERA (Km.)	20	20	20	20
DESPLAZAMIENTO (cm)	230	230	230	230
TIEMPO DESDE QUE OCURRIO EL ULTIMO SISMO IMPORTANTE (años)	85	85	85	85

Estos modelos de fallas tanto para el caso 1 como para el caso2 están representados en la figura 17 y muestran los diferentes modelos que se proponen para la deformación vertical del perfil de Atoyac en los periodos 1995-1996 y 1995-1997. La parte superior de la figura muestra las fallas del caso1 y la parte inferior de la figura muestra las fallas para del caso 2.

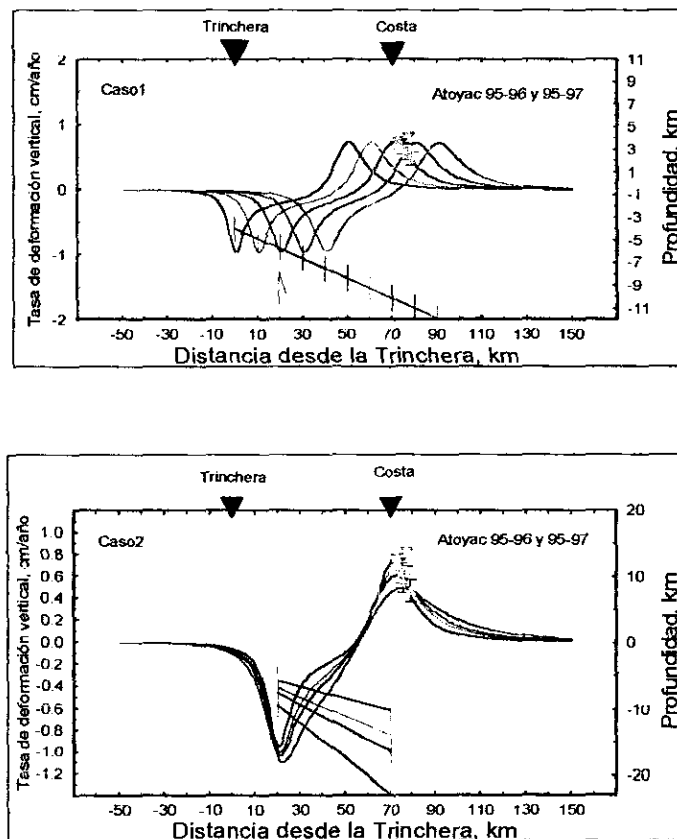


Fig. 17 En la gráfica superior los parámetros que varían en los diferentes modelos para el perfil de Atoyac son el origen relativo a la trinchera y la profundidad de la falla (caso1); y en la gráfica inferior los parámetros que varían son la inclinación y la profundidad de la falla (caso2).

En la figura 17 podemos apreciar que para el caso 1 el mejor ajuste que se obtiene es cuando la profundidad máxima es igual a 10.11 km y el origen es igual a 20 km. Mientras que para el caso 2 el mejor ajuste se da cuando la profundidad máxima es igual a 10.11 km y el buzamiento es de 5°.

CASO 3. Aquí los parámetros que varían son el ancho de la falla, origen relativo a la trinchera y la profundidad máxima.

TABLA 15

ATOYAC

1995-1996 y 1995-1997

PARAMETROS DE LA FALLA

LINEA	AZUL	VERDE	ROJA	VIOLETA	ROJO CLARO	AZUL CLARO
LARGO (Km.)	268	268	268	268	268	268
ANCHO (Km.)	70	60	50	40	30	20
PROFUNDIDAD MAXIMA (Km.)	10.10	10.10	10.10	10.10	10.10	10.10
INCLINACION (°)	5	5	5	5	5	5
ORIGEN DESDE LA TRINCHERA (Km.)	0	10	20	30	40	50
DESPLAZAMIENTO (cm)	230	230	230	230	230	230
TIEMPO DESDE QUE OCURRIO EL ULTIMO SISMO IMPORTANTE (años)	85	85	85	85	85	85

CASO 4. Aquí se muestran los mejores parámetros que se ajustan a nuestros resultados para el periodo 1995-1996 y 1995-1997.

TABLA 16

ATOYAC

1995-1996 y 1995-1997

PARAMETROS DE LA FALLA

LINEA	AZUL
LARGO (Km.)	268
ANCHO (Km.)	50
PROFUNDIDAD MAXIMA (Km.)	12.54
INCLINACION (°)	7
ORIGEN DESDE LA TRINCHERA (Km.)	20
DESPLAZAMIENTO (cm)	230
TIEMPO DESDE QUE OCURRIO EL ULTIMO SISMO IMPORTANTE (años)	85

Estos modelos de fallas tanto para el caso 3 como para el caso4 están representados en la figura 18 y muestran los diferentes modelos que se proponen para la deformación vertical del perfil de Atoyac en los periodos 1995-1996 y 1995-1997. La parte superior de la figura 18 muestra las fallas del caso3 y la parte inferior de la figura 18 muestra las fallas para del caso 4. Sólo que en esta ocasión el caso 4 muestra el mejor modelo que se ajusta a los datos experimentales, esto es, los datos obtenidos de la tasa relativa de deformación en el perfil de Atoyac.

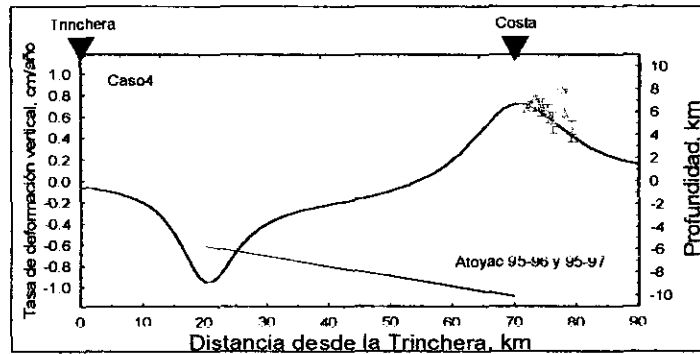
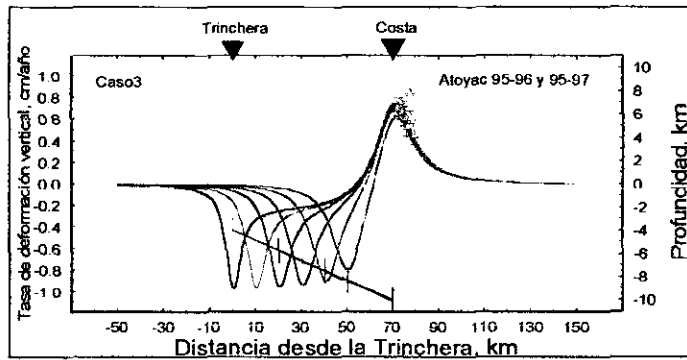


Fig. 18 En la gráfica superior los parámetros que varían en los diferentes modelos para el perfil de Atoyac son el ancho, el origen relativo a la trinchera y la profundidad de la falla (caso3); y en la gráfica inferior se muestra el mejor modelo para la deformación vertical encontrada en Atoyac para los periodos 1995-1996 y 1995-1997 (caso4).

En la figura 18 podemos apreciar que para el caso 3 el mejor ajuste que se obtiene es cuando la profundidad máxima es igual a 10.10 km, el origen es igual a 20 km y el ancho de 50km. Mientras que para el caso 4 se presenta el mejor ajuste que se da a los datos experimentales después de una serie de pruebas. Después de fijar los parámetros de la falla, esto es, ancho de 50 km, largo de 268 km, origen desde la trinchera a 20 km de esta y un desplazamiento de 230 cm vemos que el buzamiento que mejor se ajusta es de 7° y la profundidad máxima es de 12.54 km.

CASO 5. Aquí se muestran los mejores parámetros que se ajustan a nuestros resultados para el periodo 97-98.

TABLA 17

ATOYAC

1997-1998

PARAMETROS DE LA FALLA

LÍNEA	VERDE	MORADA
LARGO (Km.)	268	268
ANCHO (Km.)	40	47
PROFUNDIDAD MAXIMA (Km.)	15.65	12.18
INCLINACION (°)	10	7
ORIGEN DESDE LA TRINCHERA (Km.)	27	20
DESPLAZAMIENTO (cm)	450	400
TIEMPO DESDE QUE OCURRIO EL ULTIMO SISMO IMPORTANTE (años)	86	86

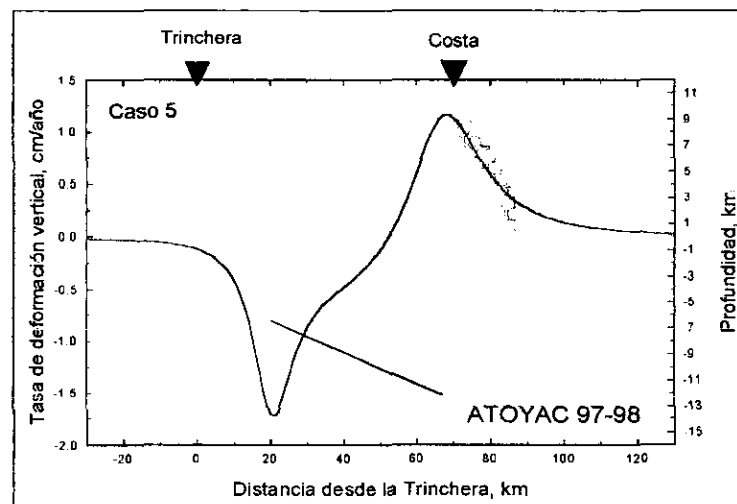


Fig. 19 La gráfica muestra el mejor modelo para la deformación vertical encontrada en Atoyac para el periodo 1997-1998. La zona de contacto sísmogénico tiene las siguientes características: una anchura de 40-47 km y un buzamiento de 7-10°.

En el caso 5 se está modelando la deformación vertical encontrada para el periodo 1997-1998 para el perfil de Atoyac (ver fig. 19). Y en este caso la tabla 17 representa el mejor modelo para estos datos.

En la figura 19 podemos apreciar que para el caso 5 se presenta el mejor ajuste que se da a los datos experimentales. Aplicando la experiencia obtenida en la anterior modelación de los datos de Atoyac para los periodos 1995-1996 y 1995-1997 vemos que para los datos de 1997-1998 los mejores parámetros son: ancho de 47 km, largo de 268 km, origen desde la trinchera a 20 km de esta y un desplazamiento de 400 cm vemos que el buzamiento que mejor se ajusta es de 7° y la profundidad máxima de 12.18 km.

Haciendo una comparación entre los mejores ajustes para los periodos 1995-1996, 1995-1997 y 1997-1998 vemos que la gran diferencia está en el desplazamiento esto se puede atribuir a la ampliación del perfil y a que tenemos un mejor control de la deformación vertical en la región por lo cual consideramos que el mejor valor para el desplazamiento es de 400 cm.

En las siguientes tablas se verán los diferentes modelos propuestos para el ajuste de los datos obtenidos para el perfil de Acapulco.

PERFIL DE NIVELACIÓN DE ACAPULCO

CASO 1. Aquí los parámetros que varían son el buzamiento o inclinación de la falla y la profundidad máxima.

TABLA 18

ACAPULCO

1995-1996

PARAMETROS DE LA FALLA

LINEA	AZUL	VERDE	VIOLETA
LARGO (Km.)	268	268	268
ANCHO (Km.)	65	65	65
PROFUNDIDAD MAXIMA (Km.)	11.42	14.37	18.76
INCLINACION (°)	5	7	10
ORIGEN DESDE LA TRINCHERA (Km.)	20	20	20
DESPLAZAMIENTO (cm)	160	160	160
TIEMPO DESDE QUE OCURRIO EL ULTIMO SISMO IMPORTANTE (años)	30	30	30

Estos modelos de fallas para el caso 1 están representados en la figura 20 y muestran los diferentes modelos que se proponen para la deformación vertical del perfil de Acapulco para el periodo 1995-1996

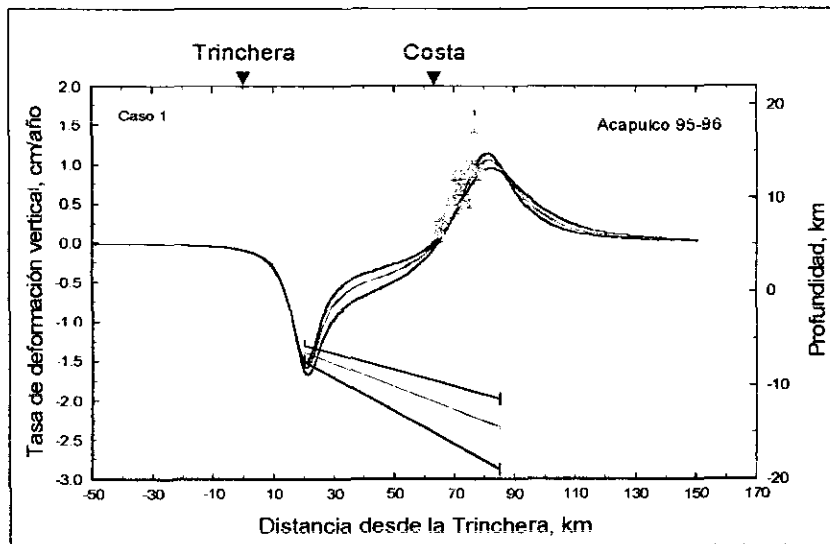


Fig. 20 En la gráfica los parámetros que varían en los diferentes modelos para la deformación vertical encontrada en el periodo de 1995-1996 para el perfil de Acapulco son la inclinación y la profundidad máxima de la falla.

En la figura 20 podemos apreciar que para el caso 1 el mejor ajuste que se obtiene es cuando la profundidad máxima es igual a 14.37 km y el buzamiento es de 7° .

CASO 2. Aquí los parámetros que varían son el buzamiento, el tiempo desde que ocurrió el último sismo importante y la profundidad máxima.

TABLA 19
ACAPULCO
1995-1996

PARAMETROS DE LA FALLA

LINEA	VIOLETA	AZUL	ROJO CLARO
LARGO (Km.)	268	268	268
ANCHO (Km.)	65	65	65
PROFUNDIDAD MAXIMA (Km.)	11.42	14.39	18.76
INCLINACION (°)	5	7	10
ORIGEN DESDE LA TRINCHERA (Km.)	20	20	20
DESPLAZAMIENTO (cm)	200	200	200
TIEMPO DESDE QUE OCURRIO EL ULTIMO SISMO IMPORTANTE (años)	40	40	40

Estos modelos de fallas para el caso 2 están representados en la figura 21 y muestran los diferentes modelos que se proponen para la deformación vertical del perfil de Acapulco en el periodo 1995-1996

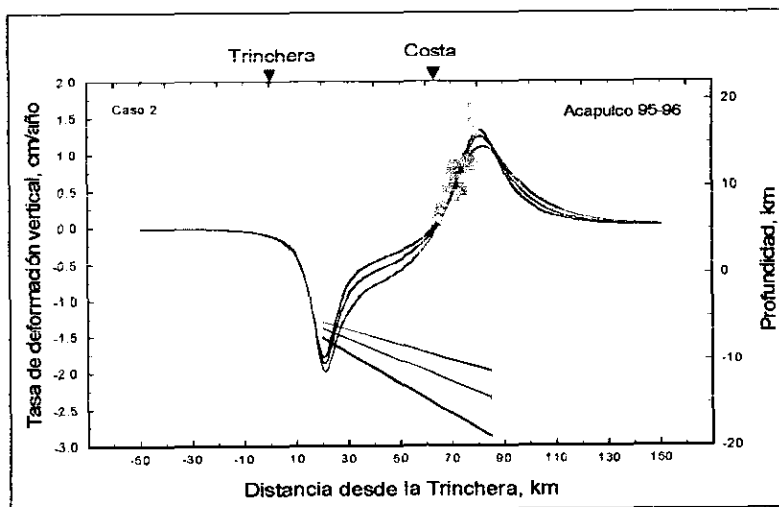


Fig. 21 En la gráfica los parámetros que varían en los diferentes modelos para la deformación vertical encontrada en el periodo de 1995-1996 para el perfil de Acapulco son la inclinación, la profundidad máxima, el desplazamiento y el tiempo de recurrencia.

En la figura 21 podemos apreciar que para el caso 2 el mejor ajuste que se obtiene es cuando la profundidad máxima es igual a 14.39 km, un buzamiento de 7° y el tiempo desde que ocurrió el último sismo importante de 40 años.

CASO 3. Aquí se muestran los mejores parámetros que se ajustan a nuestros resultados para el periodo 1995-1996.

TABLA 20
ACAPULCO
1995-1996

PARAMETROS DE LA FALLA

LINEA	AZUL
LARGO (Km.)	268
ANCHO (Km.)	65
PROFUNDIDAD MAXIMA (Km.)	14.37
INCLINACION (°)	7
ORIGEN DESDE LA TRINCHERA (Km.)	20
DESPLAZAMIENTO (cm)	200
TIEMPO DESDE QUE OCURRIO EL ULTIMO SISMO IMPORTANTE (años)	40

El caso 3 es el mejor el modelo que se ajusta a la deformación vertical del periodo de 1995-1996 para el perfil de Acapulco (ver fig. 22).

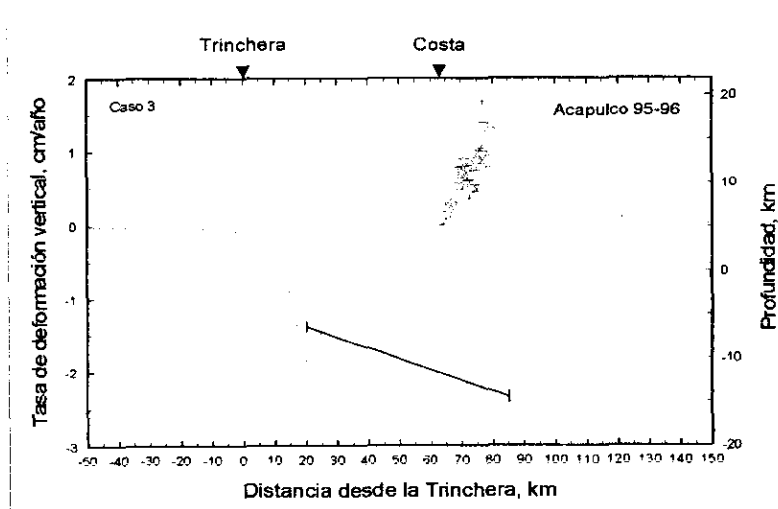


Fig. 22 La gráfica muestra el mejor modelo para la deformación vertical encontrada en Acapulco para el periodo 1995-1996. La zona de contacto sismogénico tiene las siguientes características: una anchura de 65 km y un buzamiento de 7° .

En la figura 22 podemos apreciar que para el caso 3 se presenta el mejor ajuste que se da a los datos experimentales del perfil de Acapulco. Tenemos que para el periodo 1995-1996 los mejores parámetros son: ancho de 65 km, largo de 268 km, origen desde la trinchera a 20 km de esta y un desplazamiento de 200 cm vemos que el buzamiento que mejor se ajusta es de 7° y la profundidad de 14.37 km.

CASO 4. Aquí se muestran los mejores parámetros que se ajustan a nuestros resultados para el periodo 1995-1997.

TABLA 21
 ACAPULCO
 1995-1997

PARAMETROS DE LA FALLA

LINEA	VIOLETA
LARGO (Km)	268
ANCHO (Km)	60
PROFUNDIDAD MAXIMA (Km)	17.90
INCLINACION (°)	10
ORIGEN DESDE LA TRINCHERA (Km)	20
DESPLAZAMIENTO (cm)	200
TIEMPO DESDE QUE OCURRIO EL ULTIMO SISMO IMPORTANTE (años)	41

En el caso 4 se está modelando la deformación vertical encontrada para el periodo 1995-1997 para el perfil de Acapulco (ver fig. 23). Y en este caso la tabla 21 representa el mejor modelo para estos datos

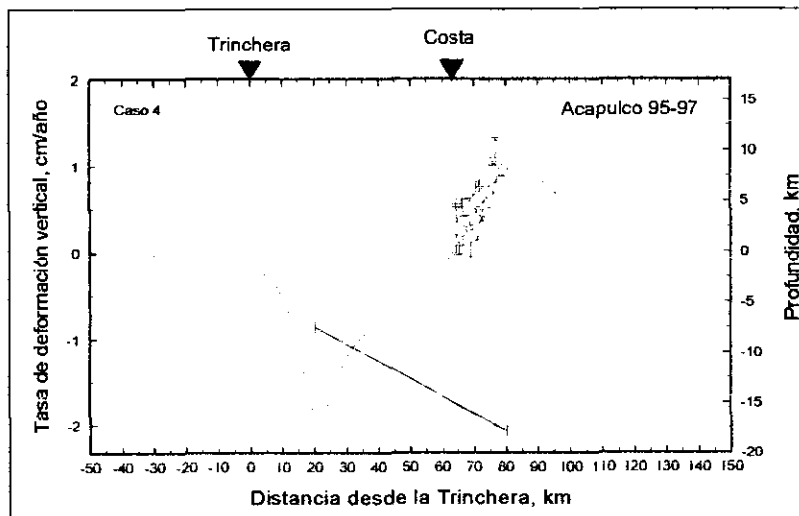


Fig. 23 La gráfica muestra el mejor modelo para la deformación vertical encontrada en Acapulco para el periodo 1995-1997. La zona de contacto sismogénico tiene las siguientes características: una anchura de 60 km y un buzamiento de 10°.

En la figura 23 podemos apreciar que para el caso 4 se presenta el mejor ajuste que se da a los datos experimentales del perfil de Acapulco. Tenemos que para el periodo 1995-1997 los mejores parámetros son: ancho de 60 km, largo de 268 km, origen desde la trinchera a 20 km de esta y un desplazamiento de 200 cm vemos que el buzamiento que mejor se ajusta es de 10° y la profundidad de 17.90 km.

Haciendo una comparación entre los mejores modelos obtenidos para el periodo 1995-1996 y 1995-1997 vemos que solo existen pequeñas variaciones en el ancho de la falla que esta entre 60 y 65 km, en el buzamiento que esta entre 7 y 10° .

4.2 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

La deformación vertical superficial observada a lo largo de los perfiles de Acapulco y Atoyac se modela a través del modelo de dislocación elástica de Okada (1985). La geometría de la falla es asumida con un buzamiento $<10^\circ$, que es restringida por los datos de sismicidad y de gravedad (Kostoglodov et al., 1996). Además se asume una deformación constante durante todo el periodo intersísmico y un acoplamiento homogéneo en la zona de contacto sismogénico.

La zona cerrada (la zona de máximo acoplamiento entre las placas) comienza a 20-25 km de la trinchera a una profundidad máxima de 12-18 km. La anchura de la zona cerrada varía de acuerdo al mejor modelo que se asocia a mediciones de la deformación superficial. En este caso la anchura para el perfil de Acapulco es de 60-65 Km (ver figs. 23 y 22) mientras que para el perfil de Atoyac es de 45-50 Km (ver fig. 18). Para el perfil de Atoyac se tomaron los datos del modelo que ajusta la deformación vertical del periodo 1997-1998, porque al alargar el perfil se tiene un mejor control de la deformación.

Los parámetros obtenidos del mejor modelo para la tasa de deformación superficial vertical fueron los siguientes:

1.- Para Acapulco de 60-65 Km de ancho con un buzamiento de 7-10 grados y una tasa de deslizamiento intersísmico a lo largo de la zona de contacto sismogénico de ~ 5.0 cm/año.

2.- Para Atoyac de 45-50 Km de ancho con un buzamiento de 7-10 grados y una tasa de deslizamiento intersísmico a lo largo de la zona de contacto de ~ 4.6-5.2 cm/año.

Tomando el parámetro de deslizamiento que mejor se ajusto para cada perfil y sacando la tasa de convergencia para cada perfil la cual esta representado en los puntos 1 y 2 en los perfiles de Acapulco y Atoyac respectivamente y comparando este parámetro con el promedio de la tasa de convergencia (~5.5 cm/año, DeMets et. al., 1994) en la costa de Guerrero tenemos que el acoplamiento entre las placas de Cocos y de Norteamérica es muy alto (85-90 %). En otras palabras tomamos la razón de la tasa de convergencia obtenida para el mejor modelo y la tasa de convergencia promedio para la Costa de Guerrero y obtenemos el acoplamiento que existe entre las placas de Cocos y de Norteamérica.

Utilizando los parámetros de la zona de contacto sismogénico y las ecuaciones:

$$M_0 = \mu \Delta u S$$

donde M_0 es el momento sísmico, $\mu = 3 \times 10^{11}$ Dyn/cm², Δu = dislocación en cm y S es el área de ruptura dada en cm².

Y la ec. $M_w = (\log_{10}(M_0) - 16.05) / 1.5$ donde M_0 es el momento sísmico.

Y haciendo una estimación de un posible sismo que pudiera generar una ruptura con tales características tenemos que la magnitud y el momento sísmico para esas zonas serian de: Para Atoyac $M_0 = 1.23 \times 10^{28}$ y $M_w = 8.0$ y para Acapulco $M_0 = 1.39 \times 10^{28}$ y $M_w = 8.1$. Por lo cual, tenemos que la magnitud posible estará entre 8.0-8.1.

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

DISCUSION Y CONCLUSIONES

El estudio sobre la deformación en Guerrero confirma la importancia de la aplicación de técnicas geodésicas para la nivelación de alta precisión la cual nos provee suficiente información para sobre la deformación intersísmica en zonas de subducción.

Las repetidas nivelaciones en el gap de Guerrero nos han mostrado una estabilidad en la deformación intersísmica. La máxima deformación que se observa es cerca de la costa Pacífica de Guerrero.

La tasa de deformación intersísmica observada corresponde a la acumulación de deformación elástica, y actualmente el acoplamiento interplaca es del orden del 85-90 %. El promedio del acoplamiento sísmico estimado para la parte de México en la zona de subducción de América Central es del 60 % (e.g., McNally and Minster, 1981, Pacheco et al., 1993, Kostoglodov and Ponce, 1994). Asumiendo que existe una relación entre el acoplamiento sísmico y el acoplamiento intersísmico, el valor estimado para el acoplamiento intersísmico nos indicaría que el gap de Guerrero está en la etapa final del periodo intersísmico (o están en la fase presísmica).

Los parámetros obtenidos del mejor modelo para la tasa de deformación superficial vertical fueron los siguientes:

1.- Para Acapulco de 60-65 Km de ancho con un buzamiento de 7-10 grados y una tasa de deslizamiento intersísmico a lo largo de la zona de contacto sismogénico de ~ 5.0 cm/año.

2.- Para Atoyac de 45-50 Km de ancho con un buzamiento de 7-10 grados y una tasa de deslizamiento intersísmico a lo largo de la zona de contacto de ~ 4.6-5.2 cm/año.

BIBLIOGRAFIA

Araujo A., Sismicidad y mecanismos focales en la brecha de Guerrero: Morfología de una placa joven, Tesis de Licenciatura, Fac. de Ingeniería, UNAM, 1991.

Astiz L., Kanamori H. and Eissler H., Source characteristics of earthquakes in the Michoacan seismic gap in Mexico; Bull. Seis. Soc. Am., Vol. 77, No. 4, pag. 1326-1346, 1987.

DeMets C., R. G. Gordon, D. F. Argus, S. Stein, Current plate motions, Geophys J. Int., 101, 425-478, 1990.

DeMets C., R. G. Gordon, D. F. Argus, S. Stein, Effect of recent revisions to the geomagnetic time-scale on estimates of current plate motions, Geophys Res. Lett., 21, 2191-2194, 1994.

Dragert, R. D. Hyndman , G. C. Rogers, and K. Wang, 1994, Current deformation and the width of the seismogenic zone of the northern Cascadia subduction thrust , Journal of Geophysical Research , Vol. 99, No. B1, pag. 653-668.

Havskov J, Singh S., Nava E., Domínguez T. and Rodríguez M., 1983, Playa Azul Michoacán México earthquake of 25 October 1981 (Ms=7.3), Bulletin of the Seismological Society of América, Vol. 73, pag. 449-458.

Kostoglodov V. and Ponce L., 1994 , Relationship between subduction and seismicity in the Mexican part of the Middle América trench, Journal of Geophysical Research, Vol. 99, No. B1, pag. 729-742.

Kostoglodov, V., W. Bandy, J. Domínguez, and M. Mena, Gravity and seismicity over the Guerrero seismic gap, Mexico, Geophys. Res. Lett., 23, 3385-3388, 1996.

Le Freve L. V., and McNally K. C., Stress distribution and subduction of aseismic ridges in the Middle America subduction zone; J. Geophys. Res., 90, B6, 4495-4510, 1985.

McCann W. R., Nishenko S. P., Sykes L. R. and Krause J., Seismic gaps and plate tectonic: Seismic potencial for major boundaries; PAGEOPH, 117, 1082-1147, 1979.

Nishenko J. And Singh S.K., Conditional probabilities for the recurrence of the large and great interplate earthquake along the mexican subduction zone; Bull. Seis. Soc. Am., vol. 77-6, 2095-2114, 1987.

Nishenko S. and Singh S. K., Conditional probabilities for the recurrence of large and great interplate earthquakes along the mexican subduction zone; Bull. Seis. Soc. Am., 77, 6, 2095-2114, 1987.

Okada Yoshimitsu, 1985, Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 75, No. 4, pag. 1135-154.

Okada Yoshimitsu, 1992, Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bulletin of the Seismological Society of America , Vol. 82, No. 2, pag. 1018-1040.

Pacheco, J.F., L.R. Sykes, and C.H. Sholz, Nature of seismic coupling along simple plate boundaries of the subduction type, J. Geophys. Res., 98, 14, 133-14, 159, 1993.

Pardo M., and G. Suárez, Shape of the subducted Rivera and Cocos plates in southern Mexico: Seismic and tectonic implications, J. Geophys. Res., 100, 12357-12373, 1995.

Piskunov, M.E., Leveling, in: Manual of Geodesy, edited by V.D. Bolshakov and Levchuk, vol. 2., pp. 94-138, Nedra, Moscow, 1985.

Savage J.C, 1984, Local gravity anomalies produced by dislocation sources, Journal of Geophysical Research, Vol. 89, No. B3, pag. 1945-1952.

Savage, J.C. and W. Thatcher, Interseismic deformation at the Nankai trough, Japan, subduction zone, J. Geophys. Res., 97, 11, 117-11, 135, 1992.

Scholz Christopher., The mechanics of earthquakes and faulting, Cambridge University Press, 1990.

Singh K. S., Astiz L. and Havskov J., Seismic gaps and recurrence periods of large earthquakes along the Mexican subduction zone: a reexamination, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 71, No. 3, pag. 827-843, 1981.

Singh K. S., Rodríguez M. and Espíndola J. M., A catalog of shallow earthquakes of Mexico from 1900 to 1981; Bull. Seis. Soc. Am., vol. 74, 267-279, 1984.

Suárez G., and O. Sanchez, Shallow depth of seismogenic coupling in southern Mexico: implications for the maximum size of earthquakes in the subduction zone, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 93, 53-61, 1996.

Suárez G., Monfret T., Wittlinger G and David Ch., Geometry of subduction and depth of the seismogenic zone in the Guerrero gap, Mexico, *Nature*, 345, 6273, 336-338, 1990.

Udías A. y Mézcua J., *Fundamentos de Geofísica*, Editorial Alhambra, 1986.

Valdés C. and Novelo D., The western Guerrero, Mexico, seismogenic zone from the microseismicity associated to the 1979 Petatlan and 1985 Zihuatanejo earthquakes, *Tectonophysics*, 287, 271-277, 1998.

William D. Stuarth, 1987, Forecast model for great earthquakes at the Nankai trough subduction zone, *USGS Open File Reporte and Pure and Applied Geophysics*.