

01/21
78



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

NEGATIVO DE FALTA DE ORIGEN
TESIS CON

ESTUDIO DE LA RESPUESTA SISMICA EN LA PRESA
JOSE MARIA MORELOS, LA VILLITA.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A:
A R A C E L I L A R A A V I L A



MEXICO, D. F.

2003

a



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.

PAGINACIÓN DISCONTINUA



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/087/00

Señor
ARACELI LARA AVILA
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **M.I. LEONARDO ALCANTARA NOLASCO**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

"ESTUDIO DE LA RESPUESTA SISMICA EN LA PRESA JOSE MARIA MORELOS, LA VILLITA"

- INTRODUCCION**
- I. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA PRESA**
 - II. INSTRUMENTACION**
 - III. COMPORTAMIENTO ESTATICO**
 - IV. COMPORTAMIENTO DINAMICO**
 - V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**
- TABLAS Y FIGURAS**
REFERENCIAS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 17 de agosto de 2000
EL DIRECTOR


M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GER/GMP/mstg.

b

A José Luis

Por el respeto a mi libertad

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A Yonatan Eli y Dorian Ariel

Porque su tiempo constituye ahora uno de los mejores ejemplos que puedo regalarles

Con Agradecimiento

A todas las personas de la Comisión Federal de Electricidad y del Instituto de Ingeniería UNAM por compartir conmigo sus conocimientos

Especialmente

Dr. F. Gilberto Sotelo Peña
Ing. Félix Colinas Villoslada
M.F. Armando Gallegos Suárez
M.F. Carlos A. Montoya Beltrán
M.F. Pilar Colina Beltrán
Ing. Rafael Angulo Terán
M.F. Leonardo Alcántara Nolasco

Por estar conmigo y brindarme su apoyo incondicional.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	2
1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PRESA	
1.1 Geología Local	20
1.2 La Presa José María Morelos "La Villita"	26
1.3 Etapa Constructiva	29
2. INSTRUMENTACIÓN	
2.1 Geotécnica	33
2.2 Acelerográfica	36
3. COMPORTAMIENTO ESTÁTICO	
3.1 Niveles de agua y filtraciones	43
3.2 Desplazamientos	47
4. COMPORTAMIENTO DINÁMICO	
4.1 Historia de registro sísmico	62
4.2 Efectos observados	65
4.3 Directividad	72
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
TABLAS Y FIGURAS	
REFERENCIAS	

INTRODUCCIÓN

Cientos de presas de mampostería fueron construidas por los españoles en México, como el Pabellón, los Arcos y San José de Guadalupe. Sin embargo, no hubo continuidad sino hasta hace cuarenta años, cuando la Secretaría de Recursos Hidráulicos y la Comisión Federal de Electricidad (Ref 1), iniciaron un programa de desarrollo hidroeléctrico, llevando a cabo el diseño y la construcción de ocho presas de tierra y enrocamiento y cuatro de concreto (Fig 1), con el objeto de generar energía e implementar métodos de observación para analizar su comportamiento.



Fig 1. Localización de las Primeras Presas Construidas en México

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las presas construidas en México representan una respuesta, desde la época colonial, ante la sequía, las inundaciones y la creciente demanda de agua potable y energéticos, de hecho la tecnología mexicana ha evolucionado y por lo tanto, desarrollado desde pequeñas presas de cinco metros de altura hasta las que sobrepasan los 250, además, en varias de las cuales se han implementado aparatos de medición para observar su comportamiento durante las etapas de construcción y operación.

El diseño y la construcción de presas ha ido acorde con la evolución de la tecnología y disponibilidad de equipo de construcción, en las diferentes épocas en que esta actividad se ha desarrollado. Durante la Colonia, el tipo predominante de presas fue el de mampostería, de diseño totalmente empírico, en la actualidad las grandes presas abarcan prácticamente todos los tipos conocidos en el mundo.

PRESAS DE ARCO

En 1926 se construyó la presa Calles en Aguascalientes, con altura de 64 m y longitud de corona de 283 m, en 1962 se construyó la presa La Soledad de 92 m de altura y 154 m de longitud, la presa Manuel M Diéguez (Santa Rosa) en Jalisco con una altura de 114 m y 150 m de longitud y la presa Plutarco Elías Calles (El Novillo) en Sonora, con altura de 134 m y longitud de corona de 188 m. En estas se aplicó tecnología moderna, tanto en el diseño como en el control de calidad de los concretos elaborados.

PRESAS DE GRAVEDAD

Las presas de tipo gravedad que se han construido en el país son de mampostería y concreto, tal es el caso de La Boquilla en Chihuahua, que se construyó en 1916, con una altura de 70 m y capacidad de 2,985 hm³, siendo la mayor del mundo en su época. En 1930 destacaron las presas Venustiano Carranza en Coahuila, de tipo mixto y con sección vertedora de machones de concreto, otro caso es el de la presa La Esperanza en Guanajuato (1894) construida de mampostería, con una altura de 45 m y capacidad de 1.6 hm³.

En la década de los sesentas los Gobiernos de México y los Estados Unidos de Norteamérica diseñaron y construyeron conjuntamente la Presa Internacional La Amistad, en el Río Bravo, la cual está compuesta de varias secciones, tiene 88 m de altura máxima y formada por 40 monolitos con longitud total de 665 m, de ellos 290 m corresponden a la porción vertedora localizada sobre el cauce del río. En ambas márgenes existen diques de tierra, de altura hasta de 40 m, con longitud en el lado mexicano de 6560 m y en el de Estados Unidos de 2589 m. En la construcción de la sección gravedad de esta obra se emplearon métodos avanzados en la elaboración de los concretos, que consistieron fundamentalmente en el control de la temperatura de fraguado, especificándose que no fuera mayor de 10°C y para lograrlo fue necesario instalar una planta de enfriamiento para agregados a base de vacío y diseñar mezclas con mínimo consumo de cemento, el volumen utilizado de concreto fue de 1'300,000 m³.

PRESAS DE TIERRA Y ENROCAMIENTO

En 1927 mediante un procedimiento de diseño completamente empírico, se construye la presa Venustiano Carranza, en Coahuila, de 35 m de altura y 987 m de longitud, la construcción se realizó mediante la colocación de capas de 0.5 m de espesor y compactadas con un rodillo liso; el paramento aguas arriba fue provisto de una pantalla rígida de concreto reforzado.

Posteriormente en 1935, inició la construcción de una serie de presas muy importantes como la Álvaro Obregón en San Luis Potosí, con sección homogénea de 32 m de altura y 344 m de longitud; en la que se llevó un control de calidad en la colocación de los materiales del terraplén, verificando los pesos volumétricos alcanzados. En el mismo año se construyó la presa de tierra Cointzio, en Michoacán, de 46 m de altura y 300 m de longitud, en la construcción del terraplén se empleó por primera vez un rodillo pata de cabra e inició el control de las terracerías usando la prueba Proctor.

La presa El Palmito, en el estado de Durango, cuya construcción data de 1936 fue en su época la más importante en su tipo en el mundo, por su altura y capacidad. Está integrada por una sección de tierra con amplio corazón impermeable y respaldos de materiales permeables con chapa de roca en los paramentos, altura de 95 m, longitud en la corona de 330 m y capacidad total de almacenamiento de 4,055 hm³. La etapa constructiva del corazón impermeable se desarrolló con la supervisión de un laboratorio de campo, empleando el concepto de humedad óptima en la prueba Proctor para colocación de arcilla.

El diseño de esta presa fue empírico, sin embargo, al finalizar su construcción en 1946 se revisó su estabilidad, mediante el uso del método de superficie de falla cilíndrica, con aplicación del método sueco, utilizando los parámetros de esfuerzo cortante determinados en el corazón de arcilla.

El proyecto La Angostura es parte del sistema hidroeléctrico del río Grijalva, sobre el que se ha construido la planta Malpaso y obras importantes como las plantas de Chicoasén y Peñitas, con una potencia de 3 800 MW. La presa es de tierra y enrocamiento con una altura de 145 m, con un núcleo central de arcilla y respaldos amplios de enrocamiento, arena y grava. La capacidad total de almacenamiento es de $18 \times 10^9 \text{ m}^3$, de los cuales $7 \times 10^9 \text{ m}^3$ se requieren para regular avenidas. Los vertedores son canales abiertos dotados de compuertas radiales y saltos de esquí; se diseñaron para una descarga máxima de 6 000 m^3/s . La casa de máquinas tiene tres unidades de 150 MW, las turbinas están alimentadas por túneles de 6.5 m de diámetro. Las compuertas de operación y emergencia se instalaron en tres lumbreras aguas abajo de la obra de toma.

La presa cuenta con varios grupos de instrumentos para medir esfuerzos y deformaciones; además, se han realizado análisis para medir los mismos parámetros mediante métodos de elemento finito, para comparar los resultados calculados con los medidos. Se considera que un modelo teórico constituye una valiosa herramienta para el diseño de cortinas de tierra y enrocamiento, pues permite evaluar la influencia de la geometría y las propiedades mecánicas de los materiales en el comportamiento global de la presa.

Entre los sistemas hidroeléctricos más importantes en el país, se tiene el del Río Balsas, el cual está integrado por las presas José María Morelos "La Villita", Adolfo López Mateos "El Infiernillo" y Carlos Ramírez Ulloa "El Caracol", cuyas características se mencionan a continuación:

La presa El Infiernillo es parte del desarrollo hidroeléctrico López Mateos, se inició en 1960, está ubicada a 70 km de la desembocadura del río Balsas y su capacidad de almacenamiento es de $12 \times 10^9 \text{ m}^3$. Tiene 145 m de altura, es de enrocamiento con núcleo central de arcilla compactada, su volumen es de $5.5 \times 10^6 \text{ m}^3$, de los cuales $5.0 \times 10^6 \text{ m}^3$, corresponden a enrocamientos, transiciones y filtros. Cuenta con tres túneles vertedores capaces de descargar un caudal de $13\,400 \text{ m}^3/\text{s}$, cada uno de ellos tiene a la entrada tres compuertas radiales de $7.5 \times 15 \text{ m}$ con un diámetro interior de 13 m. La presa cuenta con tres obras de toma que alimentan seis turbinas Francis las cuales operan con un gasto máximo de $194 \text{ m}^3/\text{s}$. Una casa de máquinas, una cámara de válvulas y seis pozos osciladores, subestación con transformadores de potencia y reguladores de voltaje que complementan su infraestructura.

A fines de septiembre de 1967 ocurrió una creciente extraordinaria en el río Balsas, con gasto de entrada de $25\,200 \text{ m}^3/\text{s}$ y volumen total de $7 \times 10^9 \text{ m}^3$, que se regularizó a un caudal máximo de salida de $7\,500 \text{ m}^3/\text{s}$; fue necesario operar las compuertas radiales parcialmente abiertas para reducir la descarga de los vertedores al valor indicado, a fin de proteger la presa José María Morelos que estaba en construcción.

La presa El Caracol, se construyó sobre uno de los meandros que forma el Río Balsas, la boquilla se encuentra ubicada en la parte noroeste, aproximadamente a 73 km, sus coordenadas geográficas son 17°57'30" de latitud norte con 99°59'8" de longitud oeste. Tiene una capacidad instalada de 592.8 MW, generación media anual de 1320 GWH. Se determinó que la avenida máxima registrada era de 3 881 m³/s, los túneles de desvío con capacidad para permitir el paso de esta avenida, fueron dimensionados con 400 m de longitud y 13 m de diámetro.

La cortina es del tipo de materiales graduados, con una altura de 126 m, la elevación de la corona es la cota 526, el ancho de la corona es de 12 m y el ancho total de la base de 540 m, con una longitud de corona de 348 m, el volumen total de la cortina es 6 262 000 m³. El vertedor está constituido por un canal de llamada y cuenta con una estructura de control con 8 compuertas, con una capacidad de 17 000 m³/s, la casa de máquinas es subterránea con tres turbinas Francis de eje vertical con una carga de diseño de 91.2 m y un gasto de 237.9 m³/seg. La subestación está dividida en dos secciones, subestación de transformación y subestación de distribución, los ductos de extracción e inyección de aire están conectados a la primera y la segunda cuenta con dos circuitos de 230 KV cada uno.

Para la construcción de la cortina se utilizaron tres bancos de arcilla que cubican 1x10⁶ m³ para el corazón impermeable, la cantidad necesaria para los filtros fue de 460 000 m³. En la zona de transición se utilizó aluvi6n, que junto con las de rezaga y enrocamiento cubican 3.9x10⁶ m³ de roca.

Para observar el comportamiento de la cortina se instalaron diferentes aparatos como inclinómetros, celdas de presión, extensómetros, piezómetros neumáticos y líneas de colimación, para obtener datos de variables tales como esfuerzos, deformaciones, desplazamientos, presiones de poro, etc. Además de la instrumentación sísmica, a base de acelerógrafos para su evaluación continua.

La mecánica de suelos en el diseño y construcción de presas de tierra y enrocamiento tuvo bastante aplicación, se establecieron criterios generales para garantizar la seguridad de las obras durante su construcción y operación, tales como estabilidad de taludes, limitación de la magnitud de las deformaciones en terraplenes y previsiones contra efectos de tubificación. El interés por conocer la validez de los resultados proporcionados por el método de elementos finitos para evaluar esfuerzos y deformaciones en una presa promovió la instalación de aparatos asociados en grupos, que permiten registrar ambas características mecánicas en ciertos puntos de la estructura.

ACTIVIDAD SÍSMICA EN MÉXICO

El 3 por ciento de la actividad sísmica mundial se genera en la zona de subducción de la placa de Cocos bajo la de Norteamérica (Ref 2), en esa región se identifican varias brechas sísmicas, siendo la más importante la de Guerrero, que tiene una alta probabilidad de generar un sismo de magnitud mayor de 8 en un período corto.

En la zona de subducción mexicana, se han logrado establecer diferentes áreas como fuente potencial de generación de temblores de gran intensidad (Ref 3), dentro de las cuales existen tres que han sido señaladas como las de mayor posibilidad de generar un evento sísmico de gran intensidad en un período corto: Centro de Oaxaca (97.3° a 97.7° W), Ometepec (98.2° a 99.5° W) y Guerrero Centro (100.0° a 101.0°W). Para la primera se ha estimado un momento sísmico de 2×10^{27} dina-cm para un área de 4400 km², lo cual implicaría la ocurrencia de un temblor de magnitud Ms= 7.7. En el caso de Ometepec se ha establecido una probabilidad de 95 por ciento para la ocurrencia de un evento de magnitud Ms≥7.5 en el intervalo de 1986 a 2006. En la última zona, mejor conocida como el "gap" de Guerrero, se ha determinado que se puede producir un evento de magnitud Ms=8.3 si se considera un área de ruptura de 18400 km², por esta razón se consideran en este trabajo aspectos tanto geotécnicos como sísmicos que pudieran afectar la estabilidad de la presa durante un evento de esa magnitud.

La Placa de Cocos, que rige la sismicidad de la zona donde se localiza la presa, se genera en el Pacífico por el Alto del Pacífico Oriental y por el Alto de Galápagos y es subducida en la Trinchera de Acapulco con una velocidad de 7 cm/año, alcanzando una profundidad aproximada de 10 km bajo el Eje Volcánico Transmexicano. El movimiento de la placa se dirige al noroeste y genera sismos superficiales de tensión y de fricción al sur y al norte. En la figura 2, se representan esquemáticamente las posiciones relativas de la Placa de Cocos que se hunde bajo el continente; esta trinchera se encuentra aproximadamente a 4 km de profundidad y a 40 km de la playa, en ella se han localizado algunos de los focos sísmicos más importantes (Ref 4).

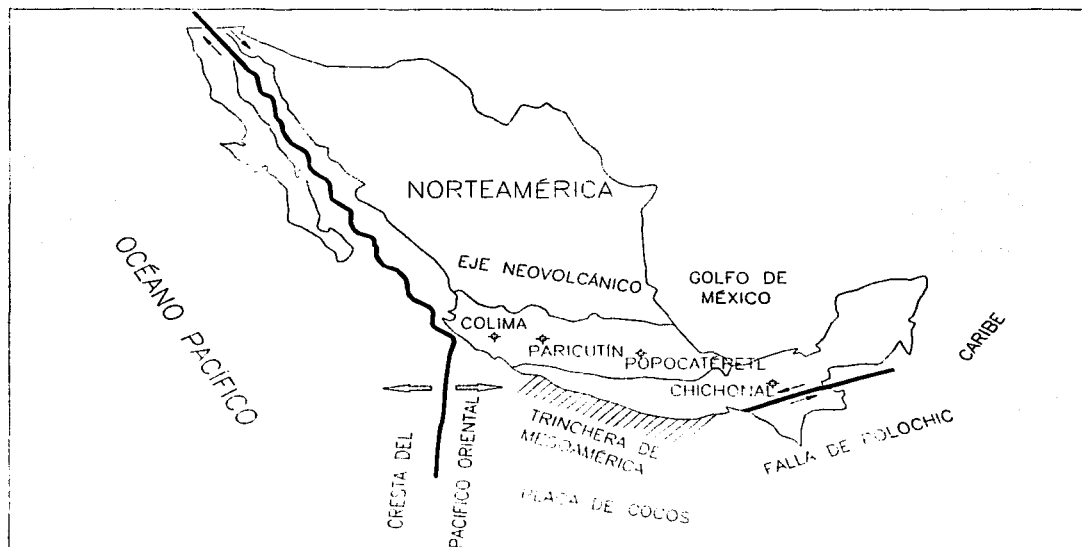


Fig 2. Mapa Tectónico Regional de México

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los efectos de convección en el manto superior de la placa le provocan flexión, dando origen a movimientos que provocan su ruptura; la dinámica que existe en la zona del eje volcánico ocasiona tensión. En la figura 3 se presenta la tectónica del Balsas y en la figura 4 los tipos de falla que se describen a continuación:

Los desplazamientos de las fallas se clasifican en tres tipos: falla de desgarre en la que el desplazamiento es horizontal, la falla normal en la cual el desplazamiento es vertical y hacia abajo a lo largo del plano de falla y la falla invertida en la que el desplazamiento se presenta hacia arriba.

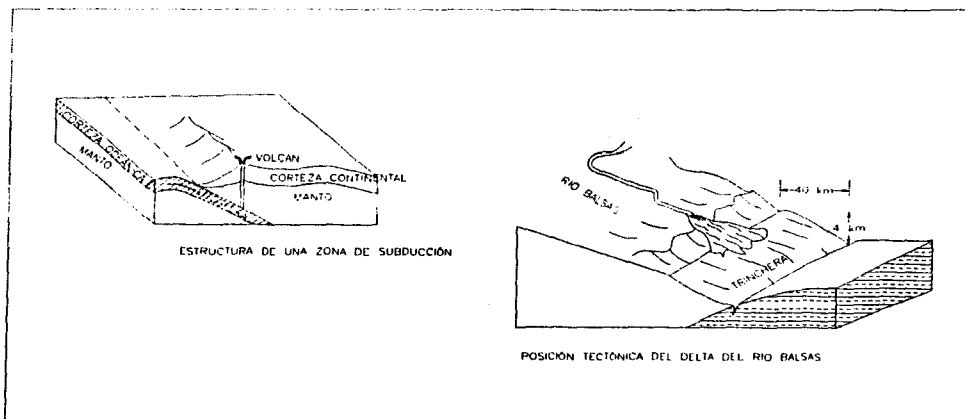


Fig 3. Tectónica en el Río Balsas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

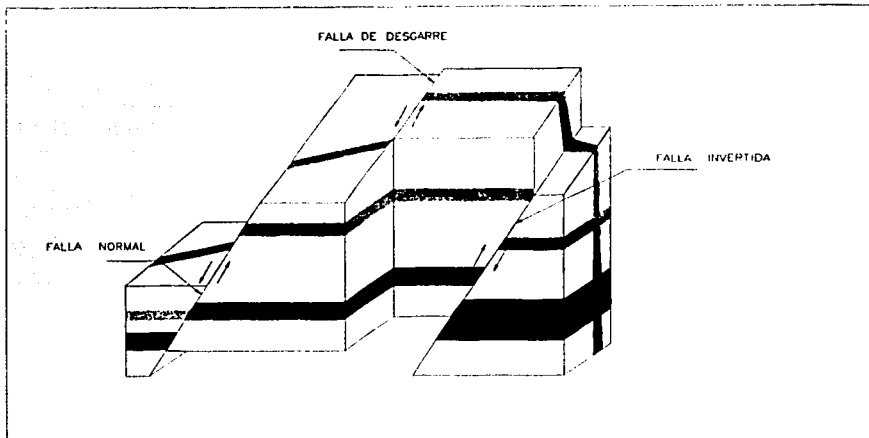


Fig 4. Tipos Principales de Fallas

Los sismos asociados a la subducción y los que ocurren superficialmente en el interior del continente reflejan movimiento relativo de las placas tectónicas; éstas originan tres tipos de sismos: superficiales en la zona de subducción, de profundidad intermedia y superficiales continentales.

Los sismos que se generan entre una profundidad de 15 y 20 km y con magnitudes hasta de 8.3 son de subducción, los que fluctúan entre 50 y 200 km con magnitudes hasta de 8 son de profundidad intermedia; también existen sismos con epicentros localizados en el cinturón volcánico y zona del sur del Golfo de México con profundidad hasta 20 km y con magnitud de 7.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los problemas relacionados con las trayectorias que siguen las ondas sísmicas para llegar al sitio, se resuelven representándolas por ondas de cuerpo y superficiales que se propagan a través de una estratigrafía con geometría y propiedades mecánicas definidas. Las propiedades geotécnicas de los estratos superficiales de la corteza influyen en las características específicas de los movimientos sísmicos. Los modelos analíticos idealizan la estratigrafía mediante un medio continuo o uno discreto. Si se tiene la información sobre las magnitudes y las distancias, el sitio fuente del sismo y su vecindad es posible estimar la intensidad en el sitio.

Factores que influyen en un movimiento sísmico. Mecanismo de origen del sismo, magnitud del sismo, distancia del sitio a la fuente principal de liberación de energía, características geológicas de las deformaciones rocosas a través de las cuales las ondas sísmicas deberán propagarse desde el foco hasta el área general del sitio, las condiciones locales del suelo subyacente al sitio particular, los posibles efectos de enfoque o de superposición de ondas.

En el interior de un medio elástico vibrante, incluyendo la tierra existen ondas de cuerpo que están en movimiento y se denominan ondas longitudinales y transversales (P y S respectivamente). Las ondas que se mueven en la superficie del medio se conocen como ondas de superficie, siendo las más importantes las Rayleigh y Love (Ref 5).

Ondas Longitudinales. La dirección del movimiento de las partículas es el mismo que el de la propagación de las ondas y también se les denomina ondas de compresión y dilatación.

Ondas Transversales. El movimiento de las partículas forma un ángulo recto con la dirección de propagación de las ondas; se conocen también como ondas de corte por la deformación que producen.

Ondas Rayleigh. Éstas se propagan a lo largo de la superficie mediante un movimiento retrógrado del suelo en un plano vertical.

Ondas Love. Se transmiten superficialmente mediante un movimiento transversal a la dirección de propagación.

En la siguiente figura se presentan las características de los diferentes tipos de ondas.

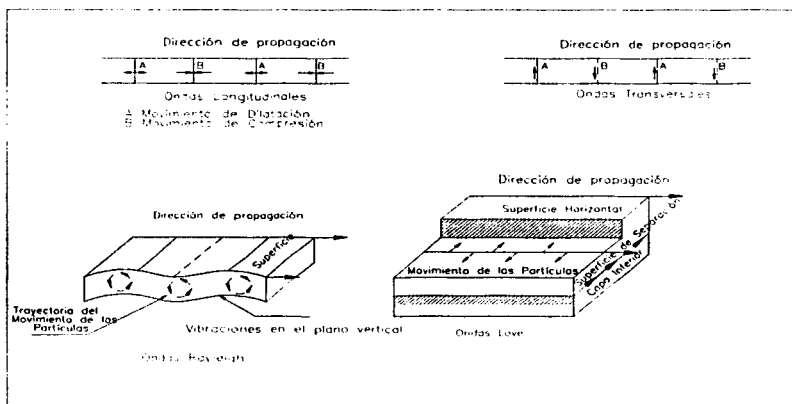


Fig 5. Características del Movimiento de las Ondas Sísmicas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La zona correspondiente al Río Balsas es altamente sísmica debido al fenómeno de subducción entre placas, la longitud de contacto es de 1300 km y con el sismo del 19 de septiembre de 1985 ($M_s=8.1$), la ruptura fue de 200 km, las cuales relajaron energía suficiente para generar un sismo de 8.1 (Ref 6).

El comportamiento dinámico de los suelos en la zona de La Villita ha sido bueno, debido a la presencia predominante de suelos muy compactos que corresponden al delta antiguo; en el delta moderno se tienen suelos granulares sueltos que provocan desplazamientos horizontales y verticales asociados al reacomodo de suelos y a la eventual licuación de depósitos areno-limosos saturados (Ref 7).

Las brechas de Guerrero y Michoacán tienen una longitud aproximada de 200 km, donde la energía de deformación se concentra con suficiente potencial para inducir sismos como el del 19 de septiembre de 1985. El caso más desfavorable corresponde a la ruptura de dos placas adyacentes de 400 km de longitud que provocarían un sismo de magnitud de 8.4 que sería considerado como el sismo máximo esperado (Ref 8). Para la Villita existen registros de acelerogramas que se asocian a temblores con las mismas características de los eventos que se supone ocurrirán en su vecindad, tales como intervalo de magnitudes, profundidades, distancias de sitio fuente, atenuación de aceleración y velocidad máxima del terreno, efecto de directividad, duración de los movimientos, contenido de frecuencias y amplitud.

El objetivo de este trabajo es analizar, mediante registros de aceleración, el comportamiento dinámico de la presa José María Morelos "La Villita", presentando una breve introducción e información de la instrumentación instalada.

En el capítulo 1 se describen las características generales de la presa, su ubicación y sus componentes estructurales, geología local y de los materiales que integran el subsuelo, así como una descripción de las diferentes etapas de construcción incluyendo la colocación de una pantalla impermeable y la inyección de aluvión.

En el capítulo 2 se presentan los diferentes dispositivos de medición que fueron colocados en la presa, se detalla su distribución y los resultados obtenidos de las mediciones. La instrumentación geotécnica está constituida por inclinómetros, piezómetros abiertos, referencias superficiales, extensómetros eléctricos, celdas de presión e instrumentos que se utilizan para medir el nivel de embalse, precipitación pluvial y filtraciones. Se hace énfasis en la importancia de la instrumentación acelerográfica, debido a que la presa se ve afectada por numerosas sollicitaciones sísmicas.

Los resultados obtenidos de las mediciones de filtración y niveles de agua, así como los máximos desplazamientos y los asentamientos que se han generado en la presa, se incluyen en el capítulo 3.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En el capítulo 4 se integra la historia de registro sísmico, además se realiza un análisis dinámico mediante espectros de Fourier y Funciones de Transferencia, para evaluar el comportamiento de la presa ante eventos sísmicos.

Finalmente el capítulo 5, contiene las conclusiones y recomendaciones del trabajo.

1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PRESA

1.1 Geología Local

La presa se encuentra enclavada en los límites de una planicie costera del Pacífico, en la vertiente occidental de la Sierra Madre del Sur, que se formó a fines del Cretácico y principios del Cenozoico. El subsuelo en la zona de la presa está constituido por rocas intrusivas y metamórficas: granitos, pizarras y esquistos, pertenecientes al periodo del Paleozoico y por lutitas, areniscas calcáreas, margas y calizas del Mesozoico. El Terciario está representado por derrames ígneos, sedimentos continentales e intrusivos, granodioríticos y el Cuaternario por aluviones.

El conjunto de rocas metamórficas, volcánicas e intrusivas ha sufrido esfuerzos tectónicos manifestados por plegamientos y dislocaciones, éstas últimas, de importancia por los desplazamientos de placas (Fig 6), forman una estructura de bloques característica de la región. En algunas áreas hay depósitos de aluviones que descansan indistintamente sobre la serie volcánica o sobre las granodioritas y rocas metamórficas que datan del Terciario en una planicie aluvial. Sin embargo, en el proceso fisiográfico general de esta zona costera, que por movimientos tectónicos diferenciales entre bloques ha sufrido elevaciones o hundimientos, predomina el de un descenso regional. En general la región está cruzada por un sistema de fallas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Fig 6. Tectónica de la zona donde se localiza la presa.

La cortina descansa en la sección del cauce (Fig 7), sobre potentes acarreos aluviales de gravas y arenas que alcanzan hasta 75 m de espesor y está cimentada en las laderas sobre rocas volcánicas andesíticas alteradas y parcialmente metamorfozadas por los efectos de una intrusión granodiorítica. Las rocas volcánicas muestran pseudo-estratificación, estando plegadas de tal manera que, en el sitio, forman el flanco suroeste de un anticlinal dirigido de NE a SW. El espesor de las capas de andesita es variable y se presentan con intercalaciones de brechas andesíticas masivas y capillas de tobas. La estructura en capas señalada está cortada por una familia bien definida de fracturas tectónicas que, prolongándose a profundidad, buzan con echados que varían de 45° a 60° hacia el noroeste, conservando en toda el área un rumbo general de NE a SW.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

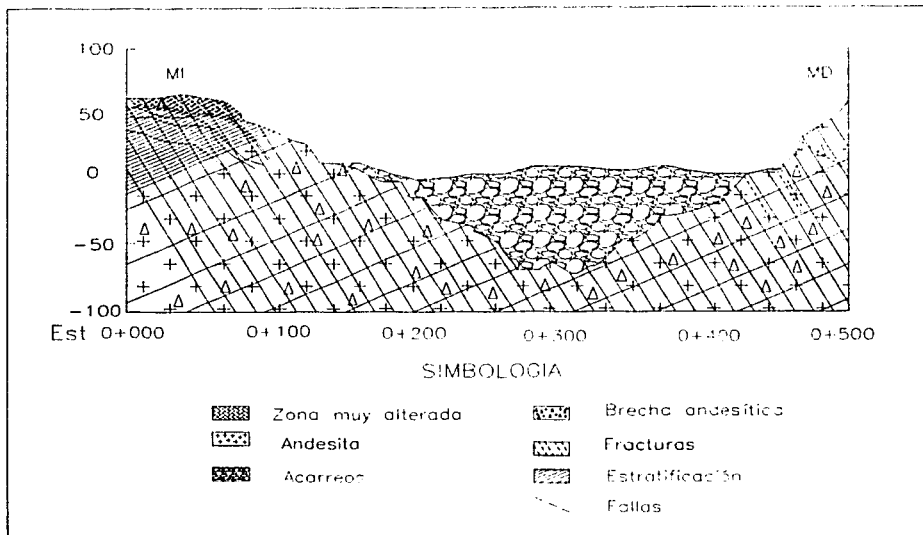


Fig 7. Geología de la boquilla

El vertedor está desplantado en un cuerpo de andesitas que está afectado en la parte superior del empotramiento derecho por la presencia de dos grandes fallas que buzan con 45° hacia este empotramiento y hacia aguas arriba.

La falla inferior separa el cuerpo de andesitas de una cuña formada por una toba de grano fino muy fracturado. La falla superior separa a esta cuña del granito que aflora en el oeste.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los problemas geológicos principales impuestos a la obra, por la naturaleza son los siguientes:

1. La potencia y permeabilidad de los rellenos aluviales del cauce del río formados por gravas y arenas que tienen un espesor máximo de 75 m. En pruebas de campo efectuadas por la Comisión Federal de Electricidad para determinar su permeabilidad por el procedimiento de pozo profundo, se encontró un valor medio de 1.5 cm/s.
2. El estado de fracturamiento tectónico de la andesita en ambas márgenes, indujo problemas de inestabilidad de taludes en los cortes de los portales de entrada del túnel de riego de la margen izquierda y, principalmente, en los túneles de desvío de la margen derecha, lo que se agudizó por el efecto de liberación de esfuerzos de la roca; además, la presencia de una falla en el portal de entrada del túnel No. 2 de la obra de desvío, provocó un deslizamiento en cuña durante los trabajos de construcción.

Las condiciones geológicas anteriores, motivaron las siguientes modificaciones al proyecto original:

- a) En el portal de entrada del túnel 2, tuvo que hacerse un esviaje para librar la zona de falla.
- b) Modificar los taludes originales del corte en roca del portal de entrada de los túneles de desvío, haciéndolos coincidir con los planos del sistema de fracturamiento de la roca.

-
- c) Alejar la localización de la estructura de rejillas de la obra de toma para tener mayor seguridad contra posibilidad de deslizamientos y, a la vez, dejar espacio para darles mayor seguridad a los taludes mediante la colocación de un respaldo de roca compactada con talud de 1.75:1.
3. El estado de un mayor fracturamiento e intemperización de la andesita del empotramiento de la margen izquierda, motivó la necesidad de realizar trabajos de impermeabilización importantes y a la vez obras de drenaje para mejorar sus condiciones generales de estabilidad.

Debido al gran espesor del depósito de aluvión se consideró la posibilidad de que ocurriera el fenómeno de licuefacción del depósito de aluvión durante un sismo por lo que se hicieron pruebas dinámicas, utilizando explosivos, de los resultados se rechazó tal situación. Sin embargo, se decidió tratar con cemento el material de aluvión cerca de la pantalla ICOS, con el fin de mejorar el comportamiento del material, disminuyendo la posibilidad de filtración debida al fracturamiento de la pantalla y dar un mejor soporte al núcleo.

La evaluación de la integridad de una presa cambia con respecto al tiempo, no sólo con los factores del ambiente y la vibración de las propiedades de los materiales y la geometría, sino también como resultado de la continua evolución de los criterios y métodos de diseño aplicados. Para la Villita, los registros de instrumentación disponibles desde su construcción han permitido inferir la respuesta de la estructura cuando actúa bajo efectos de fuerzas sísmicas.

Durante la exploración geológica no hubo evidencia de fracturas importantes en las rocas de la cimentación, en la actualidad no hay señales de fallas resultado de la actividad sísmica regional, esto se corrobora con las magnitudes de los desplazamientos medidos en la base de la cortina.

Los resultados de la influencia del depósito de aluvión en la respuesta de la estructura, se presentarán posteriormente cuando se realice el análisis de los acelerogramas de los eventos sísmicos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.2 La presa José María Morelos "La Villita"

La presa José María Morelos "La Villita", está localizada en la vertiente occidental de la Sierra Madre del Sur, en la planicie costera del Pacífico, sobre el cauce principal del río Balsas, a 13 km de su desembocadura y a 55 km aguas abajo de la presa El Infiernillo, en el límite de los estados de Guerrero y Michoacán. Es una obra de aprovechamiento integral de los recursos de la cuenca del río, la altura máxima de la cortina es de 60 m y está compuesta de material de tierra y enrocamiento, el ancho en la base de la boquilla es de 300 m y en la corona de 420 m, la figura 8 muestra la ubicación de la presa y la distribución de sus obras civiles.

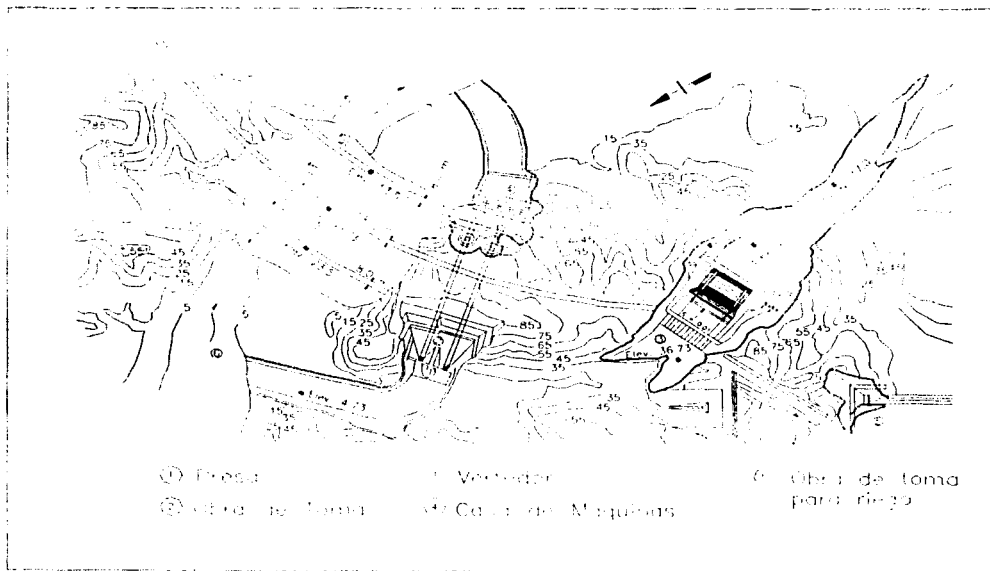


Fig 8. Vista en planta de la presa "La Villita"

La obra, iniciada en mayo de 1964, cuenta con una planta hidroeléctrica de 304 000 KW de capacidad instalada (Ref 9) y permite el riego de 18 000 hectáreas. Entre sus principales estructuras destacan:

Cortina. Está formada de materiales graduados (Fig 9), de 60 m de altura máxima y 420 m de longitud en la corona con un trazo en un arco de círculo de 900 m de radio (Ref 10). Cuenta con una pantalla de concreto que liga el corazón de arcilla impermeable de la cortina con el lecho rocoso del fondo del cauce, la pantalla alcanza una profundidad de 91.4 m.

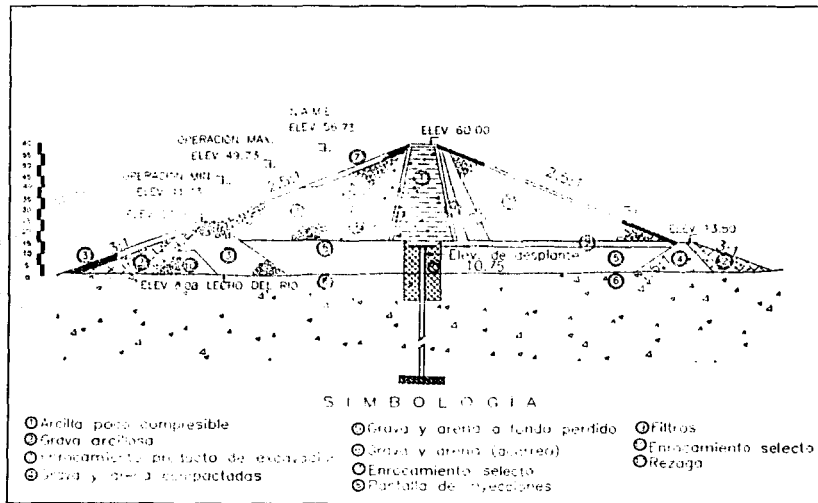


Fig 9. Sección Transversal de la Cortina

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En ambos lados del núcleo existen zonas de filtros de arena, zonas de transición de grava y arena, amplios respaldos permeables formados con el enrocamiento y capas de roca para protección contra el oleaje y la erosión.

Vertedor de demasías. Se encuentra alojado en la margen derecha a 500 m del extremo occidental de la presa, la elevación de la cresta es de 39.73 msnm, y su longitud total de 98 m, está controlado por 7 compuertas radiales de 10.5 x 14 m, manejadas por malacates eléctricos. Sobre él pasa una avenida máxima de 13 886 m³/s, descarga a una rápida recta de ancho de plantilla constante, con pendiente de 0.01 que termina en un deflector de salto de esquí.

Obra de desvío. Durante la construcción de la segunda etapa de la cortina, el río se desvió mediante dos túneles de 10.50 m de diámetro, situados en la margen derecha y revestidos de concreto, que en la actualidad se utilizan para alimentar la planta hidroeléctrica.

Obra de toma. Se encuentra en la margen derecha, aprovechando los dos túneles que se usaron para la desviación del río. La entrada cuenta con rejillas conectadas a los conductos por codos de 90° y a 100 m se encuentran las lumbreras, las cuales salen a la altura de la corona y alojan cada una de ellas cuatro compuertas con rodillos, dos de servicio y dos de emergencia. A unos 90 m de éstas se inicia, en cada túnel, una tubería de presión de 10 m de diámetro la cual está provista de un pozo de oscilación. A la salida cada tubería se divide en dos de 6 m de diámetro para alimentar cada una de las cuatro unidades.

1.3 Etapa Constructiva

La construcción de la presa se llevó a cabo en etapas; en la primera se desvió el río por un canal natural en la margen izquierda y se empezó la obra en la margen derecha, trabajando en seco en una franja de 150 m de ancho aproximadamente, con la construcción de una plataforma central (Fig 10) y una pantalla impermeable tipo ICOS, que fue necesaria debido al espesor del depósito de aluvión en el cauce del río (Ref 11).



Fig 10. Construcción de la pantalla impermeable y colocación de material arcilloso (abril 1966)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Este núcleo impermeable permitió interceptar el flujo de los potentes rellenos aluviales del río y se extendió a lo largo del eje de la cortina. La profundidad necesaria para empotrarse 2 m en la roca andesítica fue de 91.4 m y cubrió un área de 15,159 m². El trabajo se desarrolló mediante las siguientes etapas:

1. Construcción de un terraplén de grava y arena consolidado para plataforma de trabajo.
2. Excavación con equipo de percusión, de 4 pilotes de 0.60 m de diámetro y espaciados 2 m aproximadamente. Con profundidad hasta la roca, utilizando lodo bentonítico para su ademe y dejando éste, hasta el colado del concreto.
3. Excavación de los tramos intermedios entre pilotes mediante equipo de almeja y utilizando lodos bentoníticos para la estabilización de las paredes.
4. Colado de concreto simple desde el fondo hacia arriba desplazando el lodo bentonítico en paneles de 5 a 6 m.

Las etapas anteriores se desarrollaron en forma alternada para facilitar y activar el trabajo.

Al mismo tiempo que se procedía a colar el muro de concreto, se inició el inyectado de consolidación de las gravas y arenas en estado natural del cauce adyacente a la pantalla, así como los rellenos colocados a fondo perdido en la zona del cauce del cierre final, fijándose la norma de obtener una permeabilidad adecuada. El inyectado se realizó de abajo hacia arriba en tramos de 0.30 m de longitud con mezclas estabilizadas de cemento, bentonita y un fluidificador, empleando presiones máximas del orden de 20 kg/cm².

En 1965 concluyó la construcción de la plataforma hasta la elevación +13; la construcción de la pantalla impermeable tipo ICOS, en la margen derecha, inició a partir de esta plataforma central, dejando el extremo superior de la pantalla en la elevación +13, e inyectando material de aluvión aguas arriba y aguas abajo de la pantalla en una franja de 26 m. Se realizaron pruebas de permeabilidad y se decidió colocar material arcilloso abriendo una zanja continua con fondo a la elevación +9 y 6 m de ancho simétrica a la pantalla de concreto. En julio de 1966 se concluyó la construcción de la primera parte de la pantalla ICOS y de la inyección de aluvión.

En enero de 1967, sobrevino una avenida; el agua pasó por encima de la atagüa aguas arriba y erosionó el antiguo cauce, destruyendo parte de la plataforma central a partir de la cual se estaba construyendo la pantalla de concreto. Sin embargo esta última no sufrió daños. Del 22 de septiembre al 2 de octubre de 1967, se presentó otra avenida de excepcional magnitud, la cual se reguló utilizando el embalse de la presa El Infiernillo. La descarga de los vertedores de esta presa, fue prácticamente constante e igual a 7000 m³/s, ocasionando una elevación del nivel del agua en el embalse de La Villita, que alcanzó la cota 47.5, para desfogar ese gasto, se utilizaron los dos túneles de desvío y el vertedor.

Durante la segunda etapa se inyectaron aluviones aguas arriba y abajo de la pantalla, realizándose pruebas de permeabilidad, la que en ningún caso excedió a 5 unidades Lugeon. Para la liga entre la primera y la segunda etapa de construcción se colocó una franja de arcilla altamente plástica, húmeda y con espesor de 2 m.

La presa quedó formada por un núcleo central de arcilla poco compresible, compacta en capas de 0.15 m con ocho pasadas de rodillo pata de cabra y con taludes de 0.2:1. En ambos lados del núcleo se colocaron filtros de 3 m de espesor uniforme de arena bien graduada, compactada en capas de 0.4 y 0.6 m con cuatro pasadas de tractor y zonas de transición de grava y arena, con talud 1:1 la de aguas arriba y de 0.5:1 la de aguas abajo, compactadas a 0.6 m.

Los respaldos permeables se formaron con roca y rezaga obtenidas de las excavaciones de las obras de toma y de excedencias, se compactaron en capas de 1 a 1.2 m de espesor y sobre éstos se colocaron capas de roca selecta con espesor de 2 m en el talud aguas arriba y de 1.5 m en el de aguas abajo. Durante la construcción de la cortina se utilizaron tres bancos de arcilla, cuyas propiedades se presentan en la tabla 1.

2. INSTRUMENTACIÓN

2.1 Instrumentación geotécnica

Para observar el comportamiento de la presa y especialmente el de la pantalla rígida se instalaron 188 dispositivos de medición y líneas de mojoneras (Ref 12), que consisten en piezómetros en el cuerpo de la presa y en los acarrees de grava, tanto aguas arriba como aguas abajo de la pantalla, inclinómetros colocados dentro de la pantalla y en los acarrees a ambos lados de la misma, celdas de presión en el núcleo impermeable y en los respaldos, en la ladera izquierda se instalaron inclinómetros y extensómetros para detectar desplazamientos.

Los instrumentos fueron seleccionados para medir desplazamientos en puntos característicos de la presa y sus apoyos, variaciones de temperatura del agua, aire y concreto, variaciones del nivel de embalse, filtraciones y niveles piezométricos, actividad sísmica en la vecindad de la presa y respuesta dinámica ante sismos fuertes.

A continuación se describe la función de cada uno de los instrumentos y cuya localización se presentan en la figura 11.

Inclinómetros. Se instalaron para conocer los movimientos que sufre la presa tales como desplazamientos horizontales y asentamientos. En la sección longitudinal se colocaron I-6, I-7, I-8, I-13, I-17, I-19, I-20, I-21; en los taludes tanto de aguas arriba como de aguas abajo se instalaron los I-1, I-2, I-11, I-12 e I-16 e I-3, I-4, I-14, I-15 I-18, respectivamente.

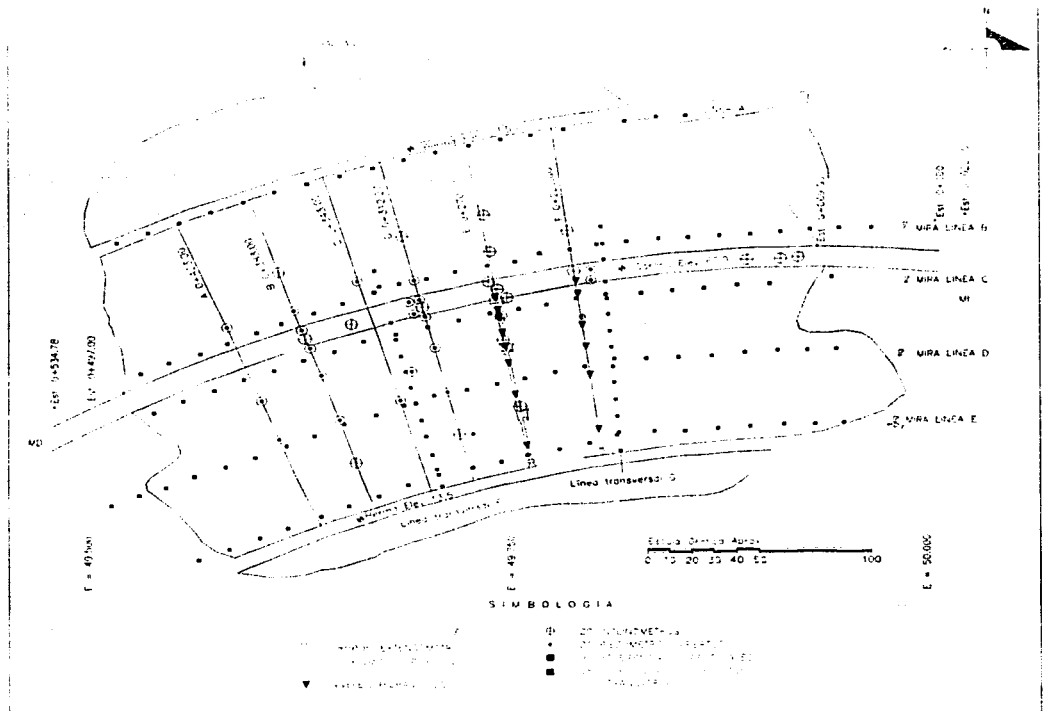


Fig 11. Instrumentación en la cortina (planta)

Piezómetros abiertos. Se distribuyeron aguas arriba y aguas abajo de la pantalla impermeable para verificar la eficiencia de ésta. En la línea de aguas arriba se encuentran P A1-1, P B1-1, P B1-2, P C1-1, P C1-2, P D1-1, P D1-2 y en la de aguas abajo están P B2-1, PB 2-2, P B2-3, P B2-4, P B2-5, P D2-2, P D2-3, P D2-4, P D2-5, P F2-2, y P F2-3.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Referencias superficiales. Para determinar los movimientos, se instalaron 143 de las cuales 113 están distribuidas en las líneas longitudinales A, B, C, D y E y 30 en dos líneas transversales F y G. Después del llenado, la línea A quedó cubierta por el agua del embalse.

Extensómetros eléctricos. Para conocer el estado de deformación en el interior de la cortina fueron colocados grupos de extensómetros en forma paralela y normal al eje longitudinal de la presa y a 45° respecto a la horizontal en el plano transversal a la misma. En la cercanía de la ladera izquierda y en el corazón de la presa, se instalaron tres extensómetros horizontales y paralelos al eje longitudinal a la misma, con objeto de medir las deformaciones en el contacto entre el corazón y la ladera rocosa, aunque en los primeros años la mayoría de los aparatos dejó de funcionar y el resto proporcionaban valores erráticos.

Celdas de presión. Con el objeto de conocer los esfuerzos en puntos específicos de la estructura, se instalaron celdas de presión por primera vez en México. Los siete grupos están instalados en la estación 0+270 a las elevaciones +10 y +29. Cada grupo está formado por tres celdas normales al eje longitudinal de la presa, tres normales al transversal, tres en posición horizontal y dos inclinadas a 45° con respecto al plano de simetría longitudinal de la presa.

Niveles hidráulicos. Para medir asentamientos se instalaron niveles hidráulicos en la estación 0+270 en las elevaciones +10 y +29, también en la estación 0+220 a la elevación +13, las líneas de niveles atraviesan la presa desde el corazón impermeable hasta el talud aguas abajo de la cortina.

2.2 Instrumentación Acelerográfica

Debido a que la presa se encuentra en una zona altamente sísmica, regida por la interacción de las Placas de Cocos y de Norteamérica, se lleva a cabo una campaña de medición en diferentes estaciones en las que se tienen instalados acelerógrafos analógicos y digitales en distintos puntos de la cortina y sus empotramientos. A raíz de los temblores de septiembre de 1985, se produjo un cambio en la instrumentación sísmica, incorporando instrumentos de amplia escala dinámica, con mayor resolución y amplia respuesta en frecuencia, además de incluir nuevas tecnologías de registro y almacenamiento de datos (Ref 13).

El acelerógrafo es un instrumento empleado para registrar las aceleraciones originadas por sismos en una estructura (Ref 14), utilizando un sensor para evaluar los parámetros de amplitud y frecuencia de vibración de un determinado evento. Estos equipos están integrados por dos partes principales, los sensores y el registrador.

Los sensores están constituidos por acelerómetros, cuyo número y arreglo dependen de la aplicación en particular, siendo la disposición triaxial, es decir, tres acelerómetros en posición mutuamente ortogonal, la más empleada (Ref 15). Cada acelerómetro es alimentado con un voltaje y como respuesta entrega un voltaje analógico cuya amplitud corresponde directamente a una aceleración del terreno o punto en que se encuentre ubicado.

La operación del registrador consiste en convertir continuamente las señales analógicas de los sensores en muestras digitales a una cierta tasa, las cuales son comparadas, en la unidad de control con valores del umbral previamente seleccionado. Si la muestra rebasa el valor prefijado, el equipo inicia el registro de la señal. La actividad anterior se realiza en tres etapas, la conversión análogo-digital, la de control y la de almacenamiento. El almacenamiento se suspende cuando los datos dejan de cumplir con el umbral de activación.

Los acelerógrafos proporcionan un valor de voltaje asociado a una escala de registro en correspondencia a una aceleración. Este valor de aceleración es sentido por el acelerómetro y se expresa en "gals" ($1g = 1\text{cm/s}^2$).

El acelerómetro entrega un voltaje analógico del cual se toman muestras que después se convierten a valores numéricos. La velocidad o tasa de muestreo es la cantidad de muestras que realiza un registrador por unidad de tiempo. Para señales sísmicas, los valores usuales de las tasas de muestreo son de 100, 200 ó 250 muestras por segundo.

Cada una de las muestras tomadas pasa por un conversor de análogo a digital, con lo que se asigna una secuencia digital binaria a cada una de las muestras. Esta secuencia de dígitos binarios dependerá del número de "bits" de que conste el conversor, el número de "bits" del conversor define la cantidad de secuencias binarias distintas que se pueden tener para ese número.

Para un conversor de n "bits", la cantidad de secuencias binarias distintas que se obtiene está dada por la base 2 (por ser dígitos binarios) elevado a la potencia n -ésima. Así, para un conversor de 12 "bits", el número de secuencias distintas está dado por 2^{12} , esto es, 4096 secuencias en las que se puede diferenciar la señal. A mayor número de "bits", se obtiene mayor número de secuencias distintas con las que codificar la señal muestreada y por tanto mayor resolución en la señal.

El acelerógrafo opera continuamente, pero sólo almacena información cuando se dispara el aparato. Lo que ocurre cuando las señales cumplen una condición previamente definida (Ref 16), esta puede ser que rebase en amplitud un valor de aceleración fijado; otra condición es que se cumpla alguna relación entre las señales de ruido ambiental y sísmica; otras posibilidades de disparar al acelerógrafo, pueden ser mediante una alarma, en forma manual, etc.

Posteriormente se determina un valor de amplitud en por ciento de la escala completa del acelerómetro. Cuando el acelerómetro sensa un valor mayor a este porcentaje entonces ocurre el disparo por umbral y el almacenamiento de la información.

En el caso de un equipo analógico, éste cuenta con un arrancador vertical que recibe el impulso del temblor (onda P) y el acelerógrafo actúa en menos de 10 milisegundos, el instrumento opera mientras el arrancador detecte movimiento y proporciona 10 segundos adicionales después de la última detección por el arrancador, para permitir que la película expuesta sea almacenada. El acelerógrafo puede registrar un sismo o una secuencia de sismos hasta con una duración de 25 minutos.

Un sismo produce un movimiento del terreno por el paso de ondas que se originan debido a la ruptura de rocas sujetas a esfuerzos y al deslizamiento a lo largo de una falla sísmica.

Las medidas sísmicas indican que los temblores pueden originarse a profundidades hasta de 600 km, pero los de mayores efectos son los de focos superficiales que se originan a una profundidad menor de 75 km. La intensidad con la cual se mueve la superficie del terreno depende entre otras cosas de la dimensión del área de la falla, de la magnitud de los esfuerzos liberados, de la trayectoria de propagación de la ruptura, de la distancia epicentral y de las condiciones locales.

El movimiento del terreno durante un sismo es tanto horizontal como vertical, generalmente las dos componentes horizontales de medición, perpendiculares entre sí, son aproximadamente de la misma intensidad; por su parte la componente vertical es regularmente de menor amplitud.

Las ondas sísmicas sufren modificaciones al recorrer la corteza terrestre, desde donde se originaron. Los factores que determinan el efecto de un sismo son las características de la estructura, las ondas sísmicas y la naturaleza del suelo; el efecto combinado de ellas se obtiene de registros completos de sismos.

Mediante el espectro de respuesta se estudia el efecto simultáneo de los tres factores, con el que se obtiene una característica intrínseca de cada temblor y para el proceso de datos de aceleración se utilizan sistemas de procesamiento como el TERRE (Ref 17), que cuenta con una capacidad para almacenar en memoria y procesar hasta cuatro señales de 10000 muestras como máximo. Para Transformadas de Fourier 16384 muestras. El SPA01 integrado por programas para PC con capacidad para manejar señales de 7500 puntos, que equivalen a 75 segundos si consideramos una tasa de 100 muestras por segundo, en la figura 12 se presenta una función para este tipo de muestras.

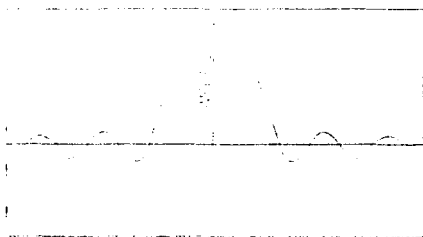


Fig 12. Función de Muestreo

Los resultados del proceso se obtienen de estos sistemas mediante gráficas de aceleración, velocidad y desplazamiento, espectros de Fourier y Funciones de Transferencia.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La presa "La Villita" se ve afectada por diversas sollicitaciones dinámicas, las cuales se evalúan con el equipo acelerográfico instalado, que consta de tres estaciones acelerográficas con equipos analógicos, una en la base de la cortina (VILB), otra en el centro de la corona (VILC) y la tercera en la margen derecha. Actualmente la red acelerográfica consta de seis estaciones, con equipos digitales: tres DCA-333, dos DCA-333R y uno GSR-12. Además de las ya mencionadas se encuentran, entre las principales estaciones de medición, la de la margen izquierda (VILI), otra en la base conocida como VILF y una en la roca VILE, otras estaciones como VID1-VID4, VII6 y VILH, se dejaron de medir porque no presentaban registros confiables, en la figura 13, se presenta la distribución de acelerógrafos localizados en la cortina.

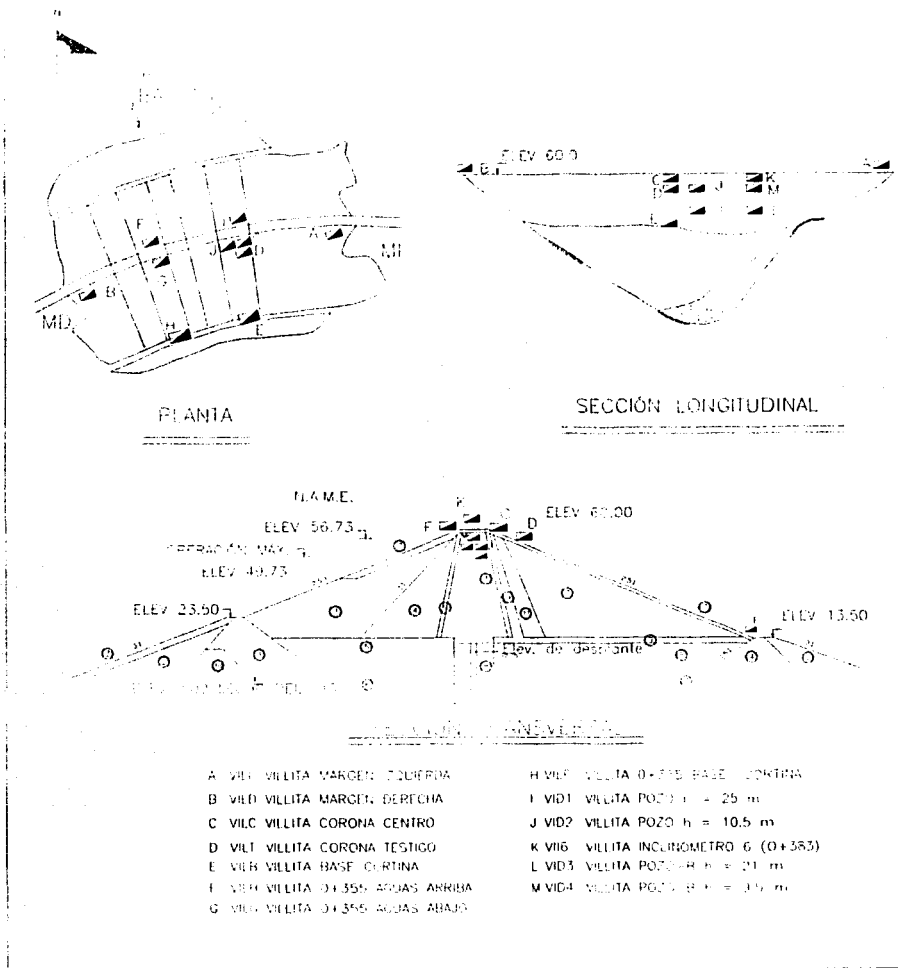


Fig 13. Ubicación de estaciones acelerográficas

TESIS CON
FALLA DE ORIGINAL

3. COMPORTAMIENTO ESTÁTICO

3.1 Niveles de agua y filtraciones

La presencia de aluvión en la cimentación, originó la construcción de una pantalla de concreto de la presa, para evitar filtraciones de agua (Ref 18), por tal motivo se instalaron piezómetros abiertos aguas arriba y aguas abajo de la pantalla, que durante la construcción mostraron una eficiencia del 96 por ciento, comparándola con las presiones de poro medidas y las presiones de poro obtenidas de la red de flujo calculada en el corazón impermeable de la presa, considerando un nivel del embalse a la elevación 45. De los resultados obtenidos 30 piezómetros proporcionan datos confiables; las mediciones se muestran en la tabla 2.

En la sección 0+220 se encuentran los piezómetros PF 2-1 y PF 3-1, sobre la corona, el nivel observado rebasa ligeramente el del embalse, estas mediciones se realizan en el primer piezómetro mencionado, porque el PF 3-1 se encuentra obstruido. En la sección 0+312, se observan los niveles piezométricos que se han medido en los Pd 1-1, Pd 2-3, Pd 3-5, Pd 4-2, Pd 5-1 y Pd 6-1; cada uno registra valores regulares; los mayores se registran en los piezómetros Pd 1-1, Pd 2-3 y Pd 3-5 ubicados aguas arriba de la presa, los cuales son similares al nivel del embalse.

Los piezómetros Pd 5-1 y Pd 6-1 ubicados en el talud aguas abajo mantienen niveles estables, sólo varían cuando se incrementa el nivel de aguas por la apertura de las compuertas de los vertedores, los valores se mantienen por abajo de la cota 8 m, estos piezómetros se localizan en el respaldo de aguas abajo de la cortina.

En el Pc 1-2 se tienen niveles de 18 m, los restantes registran niveles de 4 m y 10 m. Los instrumentos Pb 1-1, Pb 2-1, han mantenido sus niveles piezométricos en la cota 50 m, Pb 3-1 y Pb 5-1 ubicados en el talud de aguas abajo tienen un nivel piezométrico más bajo a los anteriores, el Pb 4-1 no es monitoreado por estar obstruido.

En la sección transversal 0+423 se miden los niveles piezométricos de los instrumentos Pa 1-1, Pa 4-1 y Pa 5-1, el primero se encuentra entre las elevaciones 49 m y 51 m y está ubicado talud aguas arriba, los otros dos cercanos a la margen derecha y aguas abajo de la presa, muestran niveles menores a la cota 9, acercándose al nivel de desfogue.

Niveles de agua en inclinómetros. Los niveles de agua en los inclinómetros se han mantenido relativamente estables, los resultados de las mediciones se pueden observar en la tabla 3, el inclinómetro I-6 situado en la margen derecha ha mantenido niveles con algunas variaciones, en 1992 el nivel era de 38 m y en 1996 de 44 m, cuatro metros en cuatro años.

En febrero de 1999 el nivel estaba en la cota 50 m y para agosto en la cota 56 m; de 1992 a 1999 el nivel se elevó en 12 metros; en febrero de 1999 al nivel de agua ascendió hasta la cota 56 m, este comportamiento se debió a que el registro estaba azolvado durante las mediciones, lo cual muestra que los instrumentos deben tener un buen mantenimiento para obtener mediciones reales.

Los niveles de agua en los inclinómetros instalados cerca de las laderas muestran valores arriba de la elevación 40 m y los del centro de la cortina I-8 e I-13 valores de 32 y 30 respectivamente, con ligeras variaciones, los inclinómetros I-16 e I-18, que están ubicados en el respaldo aguas arriba y aguas abajo respectivamente, tienen elevaciones de agua similares al nivel de embalse y al desfogue.

El inclinómetro I-17 tiene en su interior un sensor, los niveles máximos se observan en los inclinómetros I-11 e I-2, disminuyendo paulatinamente conforme se pasa de aguas arriba hacia aguas abajo llegando a los inclinómetros I-14 e I-15. Los niveles de agua de los inclinómetros situados en el talud aguas arriba son muy parecidos a los del embalse, mientras los que están localizados en el talud aguas abajo son similares a los del desfogue, y los del núcleo impermeable han tenido niveles intermedios respecto a los ubicados en los taludes.

Niveles de agua en el embalse. La evolución del nivel del embalse a partir de 1984 al mes de agosto de 1999, ha mantenido ligeras variaciones alrededor de la cota 50 m.

Niveles de agua en el desfogue. Los niveles máximos se presentaron de junio a septiembre de 1995, junio a octubre de 1996, junio a noviembre de 1997 y julio a octubre de 1998; debido a la apertura de los vertedores de la presa "El Infiernillo".

Precipitación pluvial. La máxima cantidad de precipitación pluvial es medida a partir de los meses de junio, la cantidad mínima registrada se presentó en 1998, pero en realidad hasta abril de 1999 no hubo precipitación ya que las mediciones fueron de 0,00 mm.

Los gastos medidos de las filtraciones no muestran una variación significativa, no rebasan los dos litros por segundo de 1992 a la fecha, además de que no se tienen reportados indicios de alguna situación anormal en las galerías en cuanto a filtraciones.

3.2 Desplazamientos

En 1967 en la estación 0+270 el máximo movimiento horizontal del respaldo de aguas arriba de la presa fue de 10 cm, después de una avenida ocurrida en septiembre del mismo año y habiendo concluido la construcción, el máximo movimiento registrado en el inclinómetro I-12 fue de 18 cm; en noviembre en la estación 0+220 fueron medidos desplazamientos horizontales máximos de 25 cm en el inclinómetro I-16 hacia aguas arriba y de 20 cm en inclinómetro I-18 hacia aguas abajo.

De 1968 a 1974, el desplazamiento máximo registrado en los inclinómetros alcanzó un valor de 10 cm, respecto a los movimientos en dirección normal al río durante la construcción, fue registrado un desplazamiento máximo de 10 cm hacia la margen izquierda.

En el periodo comprendido de 1974 a 1984, se registraron desplazamientos horizontales de 12 y 10 cm para los respaldos de aguas abajo y aguas arriba respectivamente, siguiendo con la trayectoria registrada en las mediciones anteriores a este periodo, estos valores son menores 40 y 60 por ciento respectivamente, a los obtenidos en noviembre de 1967. En el sentido normal al río los desplazamientos máximos en este periodo son del orden de 5 cm hacia el centro del valle, en el cadenamamiento 0+250, siendo 50 por ciento menores a los registrados de 1968 a 1974.

Los desplazamientos horizontales de los inclinómetros I-19, I-20 e I-21 ubicados entre las estaciones 0+00 y 0+220 hacia la margen izquierda no rebasan 10 cm en sentido paralelo y perpendicular al río.

En los inclinómetros I-16 e I-18 localizados en la estación 0+220 los desplazamientos en sentido perpendicular al eje del río son del orden de 7 cm, hacia margen derecha en el primero y hacia margen izquierda en el segundo, respecto a los desplazamientos horizontales en el sentido paralelo al río son de 11 cm hacia aguas arriba, en el I-16 en la elevación 47.43, a partir de la elevación 15 los asentamientos aumentan. En el I-18 fue medido un desplazamiento hacia aguas abajo de 38 cm, el 40 por ciento de los desplazamientos se generó en los estratos de grava-arena a fondo perdido y de aluvión, arriba de la elevación 6,33 el asentamiento es uniforme.

En los inclinómetros localizados en la estación 0+270 el desplazamiento es hacia margen izquierda y es menor a 7 cm, en el I-11 a partir de la elevación -10 y hasta la elevación 15 el desplazamiento es hacia margen derecha, este punto de quiebre se genera en la capa de grava-arena compactadas que atraviesa el inclinómetro, la magnitud de este desplazamiento en este sentido es de 3 cm. Los desplazamientos colocados en esta estación, mantienen tendencias al desplazamiento hacia aguas arriba en el talud mojado, sobre todo el I-12 el cual se ha desplazado 18 cm en la boca inclinómetro, existe un cambio de pendiente en el estrato de grava-arena en la elevación 8, a partir de esta elevación los desplazamientos aumentan conforme se alcanza la elevación de la boca del inclinómetro.

El desplazamiento del I-11 no rebasa 4 cm hacia aguas arriba y hacia aguas abajo, los inclinómetros I-14 e I-15 ubicados en el talud aguas abajo presentan desplazamientos horizontales medidos hacia aguas abajo de 37 y 21 cm respectivamente, en estos instrumentos el 70 por ciento del desplazamiento máximo medido de marzo de 1968 hasta agosto de 1999 se ha generado en la elevación 7 y en el enrocamiento exterior de la cortina, el incremento de los desplazamientos en los instrumentos es generado en la capa de grava-arena colocada a fondo perdido.

Los inclinómetros I-2, I-4 e I-8 instalados en la estación 0+312.27 muestran desplazamientos menores a 10 cm en el sentido paralelo al río y hacia la margen derecha, excepto el I-8, desplazado 7 cm hacia la margen derecha. Los desplazamientos medidos en el sentido perpendicular al río en los inclinómetros I-2 e I-8 no rebasan 15 cm hacia aguas abajo.

Los desplazamientos empiezan a incrementarse a partir de la elevación 15 aproximadamente la cual coincide con el inicio de la segunda etapa de construcción de la cortina. En el I-8 se puede definir la trayectoria de los desplazamientos por etapas constructivas, los desplazamientos entre las elevaciones 18 y 43 aproximadamente (primera etapa constructiva) ocurren hacia aguas abajo; sin embargo arriba de la elevación 43 los desplazamientos son hacia aguas arriba y corresponde a una tercera etapa de construcción de la cortina, deduciéndose que en la frontera entre la segunda y tercera etapas constructivas los desplazamientos cambian de signo.

En el I-4 la magnitud de los desplazamientos es definida por los estratos y no por la etapa constructiva, este instrumento registra el desplazamiento en la estación 0+312.27 con una magnitud de 27 cm hacia aguas abajo.

Entre las estaciones 0+343 y 0+383 está localizado el inclinómetro I-7 en el eje longitudinal de la cortina, los desplazamientos en el sentido paralelo al río son menores a 3 cm hacia la margen derecha; en el sentido perpendicular al río, los desplazamientos cambian de signo, entre las elevaciones 13 y 45 aproximadamente el desplazamiento máximo es de 18 cm hacia aguas abajo y de la boca del inclinómetro a la elevación 15 el desplazamiento máximo es de 8 cm hacia aguas arriba. El cambio de signo de los desplazamientos se presenta entre la segunda y tercera etapa de construcción.

El desplazamiento máximo medido en el inclinómetro I-3 ubicado en la estación 0+383 es de 18 cm hacia aguas abajo, en el sentido perpendicular al eje del río los desplazamientos no rebasan 4 cm; entre marzo de 1996 y agosto de 1999 el desplazamiento cambió de signo de 3 cm hacia margen derecha a 3 cm hacia margen izquierda.

Los desplazamientos horizontales medidos en mojoneras de 1974 a 1984 en las dos líneas de la corona son de 9,4 cm hacia aguas arriba para la línea L-b y 9.7 cm hacia aguas abajo para la línea L-c. Para la línea L-d ubicada en el respaldo aguas abajo, se registró un desplazamiento horizontal de 6,8 cm. Durante este periodo los desplazamientos son asimétricos cargados hacia la margen izquierda, presentándose los máximos en el cadenamamiento 0+203 que coincide con la zona en que se colocaron materiales a fondo perdido y que también fue erosionada por una creciente durante la construcción.

Los desplazamientos máximos medidos en las referencias superficiales de 1984 a 1999 alcanzan valores de 18,12 y 8 cm, van hacia aguas arriba en la línea B y hacia aguas abajo en las líneas C y D; los desplazamientos de las referencias en la línea E tienen un máximo de 5,5 cm hacia aguas abajo. En la tabla 4 se presentan los resultados de los desplazamientos horizontales de 1967-1999.

Asentamientos. Conforme fue avanzando la construcción de la presa se incrementaron los asentamientos, alcanzando en agosto de 1967, un valor máximo de 60 cm aguas arriba en la est 0+270; hacia aguas abajo, el asentamiento máximo fue de 30 cm. Después de haber ocurrido la avenida en septiembre y al terminar la construcción, los asentamientos aumentaron, obteniendo valores máximos de 100 y 50 cm aguas arriba y aguas abajo respectivamente. En la estación 0+220 los asentamientos son cualitativamente similares a los de la estación 0+270; sin embargo estos alcanzaron valores de 120 y 80 cm aguas arriba y aguas abajo de la presa respectivamente. Es notable el asentamiento diferencial entre la zona inyectada de 7 cm y el acarreo sin inyectar de la cimentación de 3 cm.

Entre el contacto de la cortina y la cimentación, el asentamiento máximo registrado fue de 50 cm en el inclinómetro I-16, y de 23 cm en el I-18, en noviembre de 1967, el asentamiento máximo registrado entre este año y 1974 fue de 28 cm en la corona, en el inclinómetro I-13 correspondiente a la estación 0+270; en esta estación y a partir de 1968 es notable la trayectoria de los asentamientos, incrementándose a partir de la elevación +10, generándose los máximos en la corona de la cortina.

De 1974 a 1984 se registraron valores de asentamiento de 5 cm, en la elevación 29 y de 3 cm a la elevación 13,5 entre los cadenamientos 0+200 y 0+270, estos asentamientos coinciden con la zona de aluvión de mayor espesor y la zona donde fue colocado material a fondo perdido. Los asentamientos de mayor magnitud ocurren en la parte superior de la tubería de los inclinómetros y disminuyen con la profundidad hasta el contacto con el aluvión, a partir de la elevación 14 en la que se encuentra la parte superior de la pantalla los desplazamientos son uniformes.

El asentamiento máximo medido en la corona hasta 1984 fue de 15 cm correspondiente al inclinómetro I-13; en el inclinómetro I-12 situado en el respaldo aguas arriba fue medido un asentamiento de 47 cm de donde 19 cm corresponden al periodo de 1974 a 1984; aguas abajo se midió en el inclinómetro I-14 un asentamiento de 13 cm con un valor total de 42 cm desde 1968 a 1984.

Los inclinómetros I-19, I-20, e I-21 situados en el eje longitudinal de la cortina hacia la margen izquierda entre las estaciones 0+000 y 0+220, y alojados en la arcilla de baja compresibilidad del corazón impermeable, tienen registrados los asentamientos de mayor magnitud en la parte superior del instrumento desde 1968 hasta julio de 1999, el inclinómetro I-19 presenta un asentamiento de 22 cm, el I-20 e I-21 tienen un asentamiento máximo de 8 y 10 cm respectivamente.

En la estación 0+220 se encuentran los inclinómetros I-16, I-17 e I-18; el I-16 tiene un asentamiento máximo de 73 cm hasta julio de 1999 en la boca del inclinómetro, la geometría de los asentamientos cambian de acuerdo al estrato y a la etapa de construcción que atraviesa el instrumento.

Los instrumentos I-17 e I-18 registran un asentamiento máximo de 68 y 57 cm respectivamente en la parte superior de los instrumentos, conforme disminuye la altura de los instrumentos es notable la disminución de la magnitud de los asentamientos. En ambos instrumentos se observa un cambio de pendiente, sobre todo en el estrato de aluvión y en las etapas 2ª y 3ª de construcción.

Los inclinómetros I-11, I-12, I-13, I-14 e I-15 localizados en la estación 0+270 han registrado los mayores asentamientos con magnitudes de 58, 78, 64, 58 y 43 cm .

En la estación 0+312.27 el inclinómetro I-2 registra un asentamiento máximo de 37 cm en el empotramiento con el enrocamiento, el I-4 tiene un asentamiento de 35 cm en el enrocamiento producto de excavación a la altura del tubo 22, a partir de la primera etapa de construcción se nota una disminución en la magnitud de los asentamientos cambiando de acuerdo a la estratigrafía en el sitio.

El I-7 ubicado entre las estaciones 0+343 y 0+383 en la corona de la cortina ha registrado un asentamiento de 58 cm hasta julio de 1999, localizado en el talud aguas abajo de la cortina en la estación 0+383, el I-1 es el que registra el asentamiento máximo de esta estación con 75 cm en el tubo 15 en el estrato de enrocamiento producto de la excavación, cercana al estrato de grava-arena compactados, los mayores asentamientos se desarrollan en los estratos construidos durante la primera etapa de construcción, los asentamientos disminuyen en la parte superior del instrumento a partir del tubo 21 al 26, del tubo 8 al 2 alojados en el aluvión se sobrepasa los 20 cm de asentamiento.

Los asentamientos del I-3 que se encuentra en el respaldo aguas abajo, hasta julio de 1986 no sobrepasan 25 cm en el tubo 26, el I-6 alojado en el núcleo de arcilla, ha sufrido incrementos proporcionales de asentamiento año con año, siendo el máximo acumulado registrado hasta julio de 1999 de 53 cm en el tubo 21.

En las líneas de mojoneras los asentamientos registrados de 1974 a 1984, se presentaron como sigue: la línea L-b sufrió un asentamiento de 25 cm en la mojonera b-15 en la estación 0+290; en la línea c ubicada aguas abajo del eje de la presa y a lo largo de la cortina se registró un asentamiento máximo de 15 cm en la mojonera c-12 Est. 0+295, el 40 por ciento del asentamiento ocurrió en 1981. La diferencia de asentamiento entre las líneas L-b y L-c es de 10 cm siendo mayor el asentamiento en el talud mojado. Los asentamientos en la línea L-d ubicada aproximadamente a la mitad del talud del respaldo de aguas abajo, son menores de 7 cm y los valores mayores se obtuvieron en la mojonera L-c, en el caso del talud aguas abajo, los asentamientos máximos han sido sensiblemente proporcionales a la altura del terraplén. En la parte inferior de la zona cercana a la margen izquierda los valores son mayores poniendo en evidencia la diferente compresibilidad del aluvión subyacente y su influencia del comportamiento de la presa.

Las referencias superficiales de las Líneas B y C, mantienen una tendencia de asentamientos principalmente en las referencias localizadas en el centro hacia la parte central del eje de la cortina, los máximos asentamientos se encuentran entre 35 y 38 cm de 1984 a 1999.

Los asentamientos de las referencias superficiales de las Líneas D y E, situadas en las elevaciones 38 y 18 respectivamente y hacia aguas abajo, son menores a 10 cm. También en estas líneas se mantiene una tendencia de asentamiento hacia las referencias centrales y menor en las referencias extremas. Los resultados de los asentamientos totales de 1967-1999 se muestran en la tabla 5.

De acuerdo a las mediciones realizadas en los inclinómetros se obtuvo un desplazamiento hacia aguas abajo de 48 cm; el 40 por ciento de los desplazamientos se generó en los estratos de grava-arena a fondo perdido y de aluvión. Un asentamiento diferencial aguas arriba respecto de aguas abajo es debido a la sumersión del material granular y a la distribución de los materiales que forman la presa.

En el cadenamiento 0+206 los asentamientos se deben a que en esta zona la presa está cimentada sobre material húmedo de arrastre que reemplaza el aluvión original, depositado durante la gran avenida en enero de 1967.

Las mediciones de los asentamientos son tomadas mediante inclinómetros con valores de 74, 53 y 52 cm, la distribución de asentamientos siguen un patrón regular excepto donde la cimentación de aluvión es más compresible.

4. COMPORTAMIENTO DINÁMICO

El estudio de efectos sísmicos se inició mucho antes que existieran instrumentos, dando lugar a la generación de escalas de intensidades; las observaciones del comportamiento sísmico de las estructuras se realizaban comparando los efectos de varios temblores, según el tiempo y el espacio en que se presentaban (Ref 19).

Cuando se mostró por primera vez la naturaleza de un movimiento en toda su duración se pudo observar como variaba la aceleración con el tiempo y con que frecuencia, que relaciones había entre las tres componentes registradas, transversal, longitudinal y vertical. Con los acelerogramas se caracterizó el movimiento que un sismo producía en un sitio determinado, algunas variables que se obtenían eran aceleración máxima, duración, velocidad, desplazamiento, magnitud, etc., también se pudieron realizar estudios de la respuesta de las estructuras sobre las que actuaban los sismos.

Así se ha llegado a analizar que un sismo es una vibración y oscilación de la superficie del terreno por una alteración pasajera del equilibrio elástico o gravitacional de las rocas en la superficie o debajo de ella y que esta alteración y los movimientos consiguientes dan lugar a impulsos elásticos u ondas.

La teoría de repercusión elástica de los sismos tectónicos explica que éstos aparecen por acumulación gradual de tensión en una zona dada y por tanto un aumento gradual de los esfuerzos almacenados.

Una tensión suficientemente grande rompe la corteza terrestre con la formación de una falla, la fricción entre los lados del movimiento de la falla da lugar a ondas elásticas, estas ondas se producen también por vibraciones de una masa sometida a tensión, la energía almacenada en roca antes de un terremoto se libera al producir estas ondas y parcialmente se gasta en calor, la cantidad de energía liberada es la medida con la magnitud.

En el estudio teórico de ondas se usa el concepto de movimiento simple (o libre) armónico. Si una partícula M se mueve en sentido contrario a las manecillas del reloj con una velocidad lineal constante sobre un círculo de radio r , su proyección M_1 , en el eje X , se mueve sobre este eje con un movimiento de vaivén, la amplitud por su distancia al centro del círculo. El tiempo requerido por la proyección M_1 para completar una oscilación de ida y vuelta se llama período de la oscilación (T). La frecuencia de la oscilación f es el número de ciclos descritos por la partícula M de oscilación es igual al radio del círculo (Fig. 14). Si el punto M comienza su movimiento en el punto X , el extremo derecho del diámetro (X_1X), describe toda la circunferencia y vuelve al punto X , y su proyección M_1 se mueve horizontalmente de X a X_1 y viceversa, en cada instante el desplazamiento del punto M_1 se mide en un segundo. Por ejemplo, si el período es $1/30$, la frecuencia es de 30, este concepto de movimiento armónico simple define período y amplitud.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

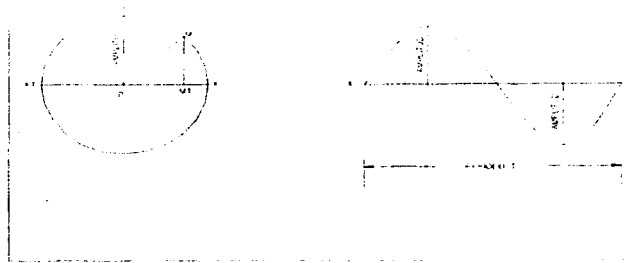


Fig 14. Vibración Armónica Simple

En un movimiento armónico simple las partículas de tierra o roca colocadas sobre determinada línea XX_1 , antes del terremoto comienzan, bajo la influencia de los impulsos del foco del terremoto y otras rocas, a moverse en forma parecida a una gráfica senoidal, las amplitudes y períodos de las oscilaciones son irregulares, las partículas oscilan alrededor de sus posiciones originales, pero no avanzan con la onda, sin embargo la onda es progresiva.

Una partícula de roca comienza a oscilar o a vibrar cuando la alcanza el frente de la onda, cuando se completa un período de la oscilación de la partícula el frente de onda ha avanzado cierta distancia que se conoce como longitud de onda.

Las vibraciones dentro de un medio elástico como roca o una estructura son simples y se producen por un impulso y no hay otros factores que interfieran la vibración.

$$\int_{-\infty}^{\infty} y(t) dt = \int_{-\epsilon}^{\epsilon} y(t) dt ; \quad \epsilon > 0$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Si en una vibración simple intervienen otros impulsos entonces se tiene una vibración forzada. Si existen fuerzas que tiendan a parar las vibraciones conocidas como fuerzas de amortiguamiento se produce una fricción. Una estructura experimenta vibraciones de diferentes formas (modos de vibrar), si sólo tiene un modo el sistema tiene un grado de libertad, puede existir un modo fundamental con período máximo, un segundo modo, tercer modo etc, con periodos decrecientes y aumento en frecuencia.

Serie de Fourier. Se emplea en el estudio de señales periódicas, representadas mediante ondas senoidales relacionadas armónicamente (Ref. 20).

Función periódica: $y(t) = y(t + nT)$

T: periodo

Se puede descomponer en una suma infinita de términos senoidales y cosenoidales

$$y(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(2\pi nft) + b_n \sin(2\pi nft))$$

donde $f = 1/T$

$$a_0 = 1/T \int_{-T/2}^{T/2} y(t) dt$$

$$a_n = 1/T \int_{-T/2}^{T/2} y(t) \cos(2\pi nft) dt \quad n=1,2,3,\dots$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

$$b_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} y(t) \sin(2\pi nft) dt \quad n=1,2,3,\dots$$

empleando exponenciales complejas la serie se expresa:

$$\cos(2\pi nft) = \frac{1}{2} (e^{j2\pi nft} + e^{-j2\pi nft})$$

$$\sin(2\pi nft) = \frac{1}{2j} (e^{j2\pi nft} - e^{-j2\pi nft})$$

obteniendo así:

$$y(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n - j b_n) e^{j2\pi nft} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n + j b_n) e^{-j2\pi nft}$$

La representación de una señal periódica mediante una serie de Fourier equivale a descomponerla en sus diversos componentes armónicos, así se llega a que una señal periódica $y(t)$ con período T tiene componentes de frecuencias $0, \pm f, \pm 2f, \pm 3f, \dots$

La extensión de la serie de Fourier lleva a la Transformada de Fourier, en la cual una serie de tiempo se puede transformar al dominio de frecuencia de la señal cuya expresión matemática es:

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) e^{-j2\pi nft} dt$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

donde: $h(t)$ es la señal

$$j = \sqrt{-1}$$
$$2\pi f = \omega$$

Para analizar la señal se emplea la Transformada Discreta de Fourier (Ref 21), realizando un muestreo uniforme y obteniendo una sucesión finita:

$$X(n/NT_s) = \sum_{k=1}^{N-1} x_0(kTs) e^{-j2\pi nk/N} \quad n = 0, 1, \dots, N-1$$

La Función de Transferencia $X(t) = I \partial(t)$, hace vibrar a un sistema que responde a un impulso o excitación, hasta recobrar su estado de equilibrio estático durante un tiempo y representa una fuerza de vibración

$$\int_{-\infty}^{\infty} X(t) dt = I \int \partial(t) dt$$

donde: ∂ es una función de vibración

El procedimiento que se utiliza para evaluar las características de vibración de la presa, consiste en calcular los espectros de Fourier y Funciones de Transferencia de la cortina de los acelerogramas en las diferentes estaciones, la forma de las funciones depende de la rigidez y amortiguamiento de los materiales y del nivel de deformaciones inducido por el sismo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.1 Historia de registro Sísmico

Para analizar la respuesta sísmica de la presa José María Morelos "La Villita", se estudiaron todos los sismos ocurridos en la región, desde su construcción hasta agosto de 2000 y se presentan en la tabla 6, donde se muestran los principales parámetros para el análisis de su comportamiento dinámico, como son: magnitud, profundidad, aceleración y distancia. La tabla está dividida por columnas en las que se muestran las características principales de los eventos sísmicos, tales como No. que representa el número con el que se identifica el epicentro de cada sismo en el Mapa 1 que se encuentra en el anexo de figuras y muestra los epicentros de todos los sismos, numerados derecha a izquierda de acuerdo a la longitud.

Posteriormente se encuentra la estación, que está representada por caracteres alfabéticos y numéricos, VILC8312.081, donde los tres primeros caracteres VIL, indican que se trata de la presa La Villita, C indica que el acelerógrafo está localizado en la corona, y los caracteres numéricos 8312.08 representan el año en que se presentó el sismo, mes y día, el número 1 representa evento, en algunos acelerogramas sólo cambia el último carácter VILC8312.082, significa que el sismo tuvo dos réplicas, si la clave se presenta como VILC8312.083 tres réplicas, etc.

Los acelerogramas que se registran en la corona se clasifican como VILC, existe una estación que se conoce como corona testigo que es VILT, VILD registra en la margen derecha, VILI en margen izquierda, VILE en margen derecha en roca, VILB en la base, VILF también registra en la base y se utiliza para comparar los registros con VILB y se presentan registros que se hacían en VILP, VII6, VID1,

VID2, que no proporcionaban datos confiables y que se tuvieron que dejar de medir, sólo representan información completa de la vida de la presa. La ubicación de los acelerógrafos se muestra en la figura 13.

Después de la columna identificada con el nombre estación en la tabla 6, se encuentra la fecha en la que se presentó el sismo, la hora, las coordenadas epicentrales, magnitudes, aceleraciones máximas en los tres componentes vertical, longitudinal y transversal, la distancia del epicentro a la presa y la duración del evento.

Los mapas 1-4, representan la distribución de los sismos hasta el año 2000, en el mapa 2 se identifican los epicentros de los eventos de mayor magnitud, cuyas características se presentan en la tabla 6. Se realiza también un análisis de directividad entre los sismos que se han presentado en el continente y los de origen oceánico, que se muestran en los mapas 3 y 4. Además se muestran los acelerogramas de algunos sismos importantes, como el del 22 de mayo de 1997, que se registró en seis estaciones, dos en la corona VILC y VILT, dos en los empotramientos VILD y VILI, uno en la base VILB y uno en la roca VILE. Como se puede observar, en la figura 15, para este sismo la máxima aceleración fue de 496 cm/s^2 en la corona, se incluyen también los acelerogramas de los sismos del 19 de septiembre de 1985, 11 de enero de 1997 y 21 de junio de 1999, registrados en la corona.

Posteriormente se realizó el proceso de los datos de cada acelerograma en sus tres componentes y se obtuvieron los espectros de Fourier y Funciones de Transferencia, que se presentan en las gráficas de la 16 a 50, en el anexo de figuras, cuyos resultados se presentan en las tablas 7 y 8, donde se resumen las principales frecuencias y sus amplitudes máximas. Se deduce que efectivamente la frecuencia dominante es en 1.2 Hz y que para sismos de magnitudes menores a 5, las amplitudes promedio son de 1 en los espectros de Fourier, para sismos fuertes las amplitudes alcanzan valores máximos de 10.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.2 Efectos Observados

A continuación se presenta una breve explicación de los efectos que provocan los movimientos de fuerzas sísmicas:

Existen fuerzas que actúan en las diferentes zonas de la presa como cargas sísmicas, fuerzas de confinamiento según la profundidad, aumento de esfuerzos efectivos o disminución por la variación del nivel de vaso. La respuesta de una presa sometida a carga sísmica, depende de la capacidad para resistir esfuerzos de los materiales que conforman la estructura y su cimentación, influye de manera importante la variación de la intensidad de los eventos sísmicos, si la resistencia al esfuerzo cortante de los materiales es mayor a los esfuerzos cortantes inducidos por la fuerza dinámica la presa se considera segura.

De las mediciones registradas en campo para cada acelerógrafo y después del procesamiento de las señales se puede ver en las gráficas de Espectros de Fourier que existe diferente amplitud para cada punto, por tanto; la presa no se comporta como cuerpo rígido, la respuesta es mayor en el centro de la corona.

Existe mayor degradación de rigidez de los materiales de la cortina como consecuencia de estar sometidos a un número mayor de ciclos de carga. Los materiales aguas arriba están sometidos a la carga del embalse, que da como resultado una disminución de los esfuerzos efectivos y menor rigidez o módulo de cortante.

Las zonas de menor amplitud del movimiento sísmico son en la roca (VILE) y los empotramientos (VILD y VILI), lo que se puede observar en las figuras 18, 19, 24, 25 y 26, donde se muestran los espectros de Fourier para diferentes puntos de la cortina, en estas gráficas se ve que las variaciones de rigidez van de acuerdo a la profundidad siendo la corona la que presenta menor rigidez, se observa también que en el sentido transversal existe el mayor movimiento.

La principal aportación del análisis dinámico es considerar que la seguridad de la presa está en función de las deformaciones permanentes que se producen durante el sismo y los materiales arcillosos pueden sufrir pérdidas de resistencia durante carga cíclica, incrementándose la presión de poro durante un sismo. Las fuerzas de inercia producidas durante el movimiento en algunas zonas de la cortina pueden superar por periodos cortos las fuerzas elásticas de resistencia y generar deformaciones permanentes durante estos breves periodos e incrementarse hasta originar inestabilidad en el talud o cualquier otro tipo de falla.

La rigidez aumenta con el incremento de confinamiento al que está sometido el material, como puede observarse en las gráficas de espectros para los empotramientos, disminuye hacia los taludes aguas arriba y aguas abajo, debido no sólo a que el mayor movimiento se presenta en la componente transversal, sino al embalse y a la degradación de los materiales que ocasionan que las deformaciones se concentren en esta zona, las deformaciones se incrementan drásticamente conforme disminuye la distancia hacia las márgenes, lo que puede verse con la amplificación de espectros en la base y la corona.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A medida que los movimientos sísmicos se propagan a través del terreno hacia la superficie, ocurren efectos diferentes, según la respuesta del suelo, el depósito de aluvión responde a la excitación desarrollada en las formaciones rocosas subyacentes, en consecuencia los movimientos de la roca se modifican y los movimientos que se producen en la superficie del terreno tienen características muy diferentes, como se muestra en las gráficas de Espectros y Funciones de Transferencia (Figs. 18, 19, 24, 25, 26, 30, 31, 32, 33, 39, 42, 45, 46 y 48) cuyas amplitudes mínimas se presentan para la roca y se van incrementando hasta alcanzar las máximas en la corona, los movimientos en campo libre (VILE), son diferentes a los de la superficie (VILC), en cuanto a la amplitud, estas diferencias son debidas a que el material va disminuyendo su rigidez hacia el centro de la cortina y hacia la superficie.

Las fuerzas actuantes en la presa son las generadoras de los problemas que se han presentado, como el agrietamiento en la corona y los desplazamientos verticales y horizontales, sin embargo; la resistencia a esfuerzos cortantes de los materiales de la presa ha sido mayor a los esfuerzos inducidos por estas fuerzas.

De los resultados de las mediciones acelerográficas se obtuvieron los datos de registro de los cuales se observa que se han presentado aproximadamente 150 sismos, el 80 por ciento han tenido una magnitud de 4 a 5.8, el 5 por ciento han sido menores a 3.9 y el 15 por ciento mayores a 5.9. Estos últimos, los de mayor magnitud, han sido los que han provocado una respuesta significativa en la presa, que se manifiesta con deformaciones permanentes y agrietamientos.

Según la profundidad a la que se han presentado los focos de cada sismo, el 73 por ciento de los sismos han sido superficiales, entre 0 y 20 km, el 15 por ciento han tenido una profundidad media de 20 a 50 km y el 12 por ciento se han presentado a una profundidad mayor de 50 km, los sismos que mayor aceleración han generado se presentan a una profundidad menor a 70 km.

De acuerdo a la distancia, el 35 por ciento de los sismos se han presentado a menos de 50 km, el 39 por ciento entre 50 y 100 km y el 26 por ciento a más de 100 km. Los sismos que más han afectado a la presa se encuentran aproximadamente dentro un radio de 100 km, y se muestran en el mapa 2 en el anexo de figuras.

A pesar de que la presa se encuentra situada en una zona de generación de temblores de gran intensidad, los materiales con los que está conformada han tenido una flexibilidad aceptable, ya que la presa se diseñó para resistir de 0.1 a 0.3 la aceleración de la gravedad y como se observa en la tabla 7 ha soportado aceleraciones de 698 cm/s^2 . Sin embargo, hay que tener presente que se espera un sismo de magnitud mayor a 8.1, por lo que se debe realizar un seguimiento, mediante modelos y mediciones, para predecir los efectos sobre la presa.

En las gráficas de Espectros de Fourier, de las figuras 16-30, se observa que el mayor movimiento se presenta en la corona, en el eje transversal, donde se han registrado aceleraciones hasta de 697.61 cm/s^2 , como la del 19 de septiembre de 1985, la tabla 7 incluye los máximos valores de aceleración para cada sismo.

Durante el período de 1966 a 1981, se observaron algunos picos anómalos que fueron atribuidos a la degradación paulatina de la estructura (Ref 22), sin embargo, mediante un estudio teórico experimental, se les relacionó al movimiento relativo entre la cortina y la base del acelerógrafo (Ref 23), recomendando la construcción de una nueva caseta anclada a la estructura. Con el objeto de establecer la existencia de un comportamiento distinto entre las estaciones VILC Y VILT se analizaron cinco sismos (Ref 24), en los que no se reportaron tales picos, los Espectros de Fourier mostraron igual comportamiento.

En este estudio se analizaron cuatro sismos diferentes para observar el movimiento relativo entre la cortina y las estaciones de medición, se hizo una comparación entre los registros en la corona y la estación testigo, en la figura 16 se puede ver que la tendencia es la misma para las dos estaciones, que la frecuencia de mayor amplitud se encuentra en 1.2 Hz y que para el sismo del 220597 en 3 Hz se separan, por lo que probablemente la corona amplifique de manera considerable, para un sismo mayor a 8.1, indicando que sí existe movimiento relativo, ya que las dos estaciones se encuentran ubicadas en la corona. Sin embargo, será necesario continuar con el registro simultáneo en ambos sitios para precisar con claridad a que se deben tales diferencias. De hecho de los 150 sismos analizados, sólo 4 se han registrado en ambas estaciones.

En general, el contenido de frecuencias va de 0.4 a 20 Hz, pero las mayores amplitudes se presentan entre 1 y 3 Hz, sin embargo la frecuencia dominante es de 1.2 Hz, como se muestra en las figuras 16-30 de Espectros de Fourier. En las figuras 23 y 24 de los sismos del 151175 y 210699, se ve que la máxima amplitud en todas las estaciones que registraron movimiento tiende a la frecuencia de 1.2 Hz. Esto corrobora los resultados obtenidos en estudios anteriores y efectivamente, para sismos lejanos el contenido de frecuencias es menor, va aproximadamente de 1 a 10 Hz, como se muestra en la figura 28 del sismo del 150699.

En cuanto a la respuesta del aluvión, se observa que existe poca capacidad de absorción de energía en este material, lo que se puede ver en las figuras 19-26, debido a que los registros de aceleración y por tanto las amplitudes espectrales, son mayores en la base que en los empotramientos, y la amplitud en los registros medidos en las estaciones de la base VILF y VILB es aproximadamente seis veces menor a de la amplitud en la corona VILC, lo que significa que el amortiguamiento en el aluvión es menor, absorbe poca energía y además la amplifica. Por lo que se puede comprobar que cuando las ondas sísmicas van de la roca al aluvión se duplica la intensidad del movimiento.

Así mismo, se comprueba que los esfuerzos y las deformaciones están en función de la magnitud, debido a que los sismos de mayor magnitud son los que han provocado los mayores esfuerzos y deformaciones permanentes, como el sismo del 19 de septiembre de 1985, que aunados a otros temblores de magnitud considerable han sumado una deformación de 50 cm en el centro de la cortina.

Las fuerzas debidas a carga sismica han formado grietas de 100 m en una longitud paralela al eje de la presa y hasta 2 cm de espesor, coincidiendo con la junta entre el núcleo de arcilla y el material granular, este agrietamiento es resultado del asentamiento de material granular respecto al núcleo.

De las gráficas 30-50 y de la tabla 8 de resultados de las Funciones de Transferencia, se observa que la energía que se transfiere desde la roca hasta la corona va de una, hasta más de 100 veces la amplitud espectral para frecuencias de 1.2 Hz y 3 Hz, esto se puede ver claramente en la gráfica 33, de las figuras de funciones de transferencia.

4.3 Directividad

En lo que se refiere a la directividad de los sismos, se observa en el mapa 1, en el anexo de figuras, que existe una gran dispersión de epicentros de eventos sísmicos, que no han tenido mayor relevancia en cuanto a efectos provocados por grandes aceleraciones. Sin embargo, conforme se van presentando más cercanos al sitio donde se encuentra la presa, forman una franja muy marcada próxima a la latitud 18 (Mapa 3), donde más de 50 sismos han tenido su epicentro. De los once sismos de mayor magnitud que se han presentado en la presa, ocho se encuentran en la zona de subducción donde se han presentado más de 70 sismos (Mapa 4).

De los sismos que se presentan en la franja cercana a la latitud 18, se realizó un análisis de acuerdo a la profundidad, dentro del continente, y se encontró que 11 sismos de profundidad menor a 5 km se presentaron en 1985, y que a partir del 19 de septiembre de ese año, los sismos tuvieron su foco a una profundidad próxima a los 20 km hasta 1997, a partir de esta fecha y hasta el año 2000 los sismos han tenido una profundidad entre 60 y 80 km. Los sismos de origen oceánico se han presentado a profundidades menores a 20 km, y dentro de éstos se encuentran los de mayor aceleración.

Los sismos que se han presentado hacia el oriente se muestran en el mapa 1 y están clasificados con los números 3 a 84, la mayoría son de magnitudes menores a 6 y algunos como los del 150699, 140995 y 250489, que aunque de magnitud mayor a 7, por su lejanía no han causado daños en la estructura. El sismo del 101081 ($M=7.3$) identificado con el número 76 en el mapa 2, el cual generó 422 cm/s^2 en la corona provocó una deformación permanente de 9 cm.

Hacia el norte los epicentros de los sismos están muy dispersos, sin embargo los sismos que tuvieron características importantes fueron el 77 que se presentó el 15 de noviembre del 75, con una magnitud de 5.9, profundidad menor a 5 km, aceleración máxima en la corona en su componente transversal de 209.3 cm/s², distancia 27 km y duración de 17 s, y el sismo 45 del 22 de mayo de 1997, de magnitud 5.9, profundidad 59 km, aceleración máxima en la corona en su componente transversal de 496.4 cm/s², distancia de 63 km y duración de 70 s.

Aproximadamente 65 sismos se han presentado hacia el poniente de la presa de los cuales solamente 15 están fuera de la franja que marca la latitud 18. De los que se encuentran dentro de la zona de subducción, los de mayor aceleración sobre la presa son el del 19 de septiembre de 1985, cuya magnitud fue de 8.1 y la aceleración registrada en la corona fue de 697.61 cm/s², distancia 80.9 km y duración de 76.6 s y que aunado a los efectos de deformación de sismos como el del 14 de marzo del 79 y 25 de octubre de 1981 produjeron en la presa deformaciones permanentes y agrietamientos considerables.

Otro sismo de magnitud y aceleraciones importantes que se presentó en esta zona, fue el del 9 de agosto de 2000, cuyas características fueron, magnitud 7, aceleración máxima en la corona de 262.02 cm/s², distancia 56.72 km y duración de 104.04 s, que ha sido el de mayor duración registrado en la presa en todas las estaciones.

Hacia el sur de la presa se han presentado alrededor de 100 sismos, sin embargo, solamente 4 han generado intensidades importantes y son el 76, 85, 24 y 19. El 85 que se presentó el 11 de octubre de 1975, tuvo un registro de aceleración en la corona de 342.83 cm/s^2 , del 76 se mencionaron ya sus efectos y el sismo 24 del 14 de marzo de 1979 provocó una deformación de 5 cm al centro de la corona, finalmente el 19 que se presentó el 15 de julio de 1996 y cuya magnitud fue de 6, a una profundidad de 20 km, generó una aceleración máxima en la corona de 56.25 a una distancia de 26.7 km y 65 s de duración.

De este análisis, se puede ver que los sismos que han tenido un mayor efecto sobre la cortina son los que tienen su epicentro fuera del continente que en este caso son 190985, 110197, 251081 y 111075, que se identifican con los números 66, 130, 76 y 85, en el mapa 2. Los epicentros de estos eventos sísmicos se han presentado en la costa, en una línea cercana al continente, sin embargo, hay que tomar en cuenta que los que se han presentado dentro del continente, como los del 140379, 150796, 101294, 210699 y principalmente el 220597, que aunque de menor magnitud, han provocado aceleraciones importantes y por lo tanto, habría que analizar el efecto de un sismo de magnitud mayor a 8.1, cuyo epicentro sea próximo al de los sismos del 210699 y 220597 respectivamente.

La principal aportación del análisis dinámico es considerar que la seguridad de la presa está en función de las deformaciones permanentes que se producen durante un sismo, y para el caso de la presa la Villita los sismos que han provocado mayor efecto debido a fuerzas dinámicas fueron los sismos del 25 de octubre de 1981, el del 11 de enero de 1997 y el del 19 de septiembre de 1985, que han desarrollado deformaciones permanentes de hasta 50 cm.

La respuesta de la presa ha sido satisfactoria, a pesar de la fuerte actividad dinámica por la que se ve afectada. Lo que indica que la resistencia a esfuerzos cortantes en los materiales de la presa ha sido mayor a los inducidos por las fuerzas dinámicas y que las deformaciones permanentes se deben a que el movimiento sísmico supera en periodos cortos las fuerzas resistentes.

CONCLUSIONES

Los métodos de observación para analizar la respuesta dinámica de la presa, han permitido identificar de manera satisfactoria, las zonas sometidas a los mayores esfuerzos.

Gracias a la red acelerográfica se han logrado establecer áreas de gran potencial de generación de temblores y se ha tomado como parámetro, para la actualización no sólo de la instrumentación, sino de la información y su procesamiento.

Del análisis espectral se deduce que los esfuerzos y deformaciones están en función de la magnitud, debido a que los sismos de mayor magnitud son los que han provocado una respuesta significativa en la presa que se manifiesta en deformaciones permanentes.

Las fuerzas dinámicas que han producido el mayor esfuerzo en la presa se originan aproximadamente dentro de un radio de 100 km y con un foco superficial menor a 70 km, cerca de las coordenadas 18° Latitud Norte y Longitud 103°, lo que indica que en esta zona existe menor absorción de energía.

A pesar de la gran actividad sísmica, los materiales con los que está conformada la presa han desarrollado una buena flexibilidad, ya que la presa se diseñó para resistir 0.1 a 0.3 la aceleración de la gravedad y ha soportado 697.61 cm/s^2 , sin embargo, esta carga cíclica, sumada a otros sismos de magnitud considerable, han provocado deformaciones permanentes en el centro de la corona, lo que indica que la rigidez disminuye en este punto.

Para el movimiento relativo entre la presa y las estaciones de medición se analizó la respuesta entre la corona y la estación testigo, el análisis muestra la misma tendencia en las dos estaciones para los tres componentes, los máximos picos de amplitud se presentan en 1.2 Hz. Solamente difieren los espectros del sismo del 220597, cuyos picos máximos se presentan para una frecuencia de 3 Hz y la corona muestra una amplitud tres veces mayor a la testigo, para aceleraciones mayores probablemente la diferencia sería más notoria.

Las curvas de espectros en general, muestran una misma tendencia entre 0.4 y 20 Hz, para amplitudes máximas hasta 10 para las frecuencias 1.2 y 3 Hz, por lo que podrían considerarse como envolventes de espectros de diseño. De las razones espectrales se deduce que la energía que se transfiere desde la roca hasta la corona desarrolla desde 1 hasta más de 100 veces la amplitud en las frecuencias de 1.2 y 3 Hz.

En cuanto a la respuesta del aluvión se observa que existe poca absorción de energía en este material, debido a que los registros de aceleración y por tanto las amplitudes espectrales, son mayores en la base que en los empotramientos y no se aleja en más de seis veces de la amplitud en la corona, lo que significa que el amortiguamiento en el aluvión es menor, por lo que se puede comprobar que cuando las ondas sísmicas van de la roca al aluvión se duplica la intensidad del movimiento y que el esfuerzo máximo ocurre en el centro de la base.

RECOMENDACIONES

Se recomienda modelar la estructura mediante algún programa de elemento finito con las fuerzas dinámicas que se han presentado hasta el momento y comparar los resultados del modelo con los registros medidos, además de analizar una fuerza dinámica, cuya aceleración sea mayor a la del sismo del 19 de septiembre de 1985.

Realizar el mismo análisis para otras presas de este tipo y obtener un espectro de diseño para zonas con características similares, debido a que en las gráficas de espectros de aceleración se nota claramente que tienen la misma tendencia los registros en todas las estaciones de medición y que el amortiguamiento crítico se puede presentar para una frecuencia cercana a 1.2 Hz.

Seguir analizando la respuesta del aluvión, ya que en este estudio se encontró que absorbe poca energía y que además la amplifica, a pesar de que se encuentra confinado por la roca y que a través del tiempo de ha ido consolidando, transmite a la estructura una mayor energía, que es superada en poco por el movimiento en la corona.

Se recomienda la modernización de acelerógrafos, debido a que se tienen problemas de registro, como en el sismo del 19 de septiembre de 1985, que sólo hubo un registro y en caso de que se presente un sismo de mayor magnitud es necesario tener más de un registro para cada punto de la cortina, y en campo libre, ya que el único medio de registro que existe pertenece al Instituto de Ingeniería de la UNAM.

PAGINACIÓN

DISCONTINUA

TABLAS

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

Tabla 1. Propiedades índice de los materiales de la cortina

Materiales		W_L	W_P	W	G	γ_0	W_O	k
		%	%	%	%	kg/m^3	%	cm/s
Arcilla Banco No. 2 No de determinaciones: 411	Promedio	55.6	23	23.7	95.4	1608	21.8	1.3×10^{-8}
	Desviación	5	2.2	1.9	3.8	57.1	2.4	
	Estándar							
Arcilla Banco No. 1 No de determinaciones: 232	Promedio	60.5	25.2	27.8	95.7	1528	25	1.3×10^{-8}
	Desviación	6.1	2.6	3.1	3.4	66.3	2.8	
	Estándar							
Arcilla Almacenamiento No. de determinaciones: 535	Promedio	53.1	24.2	28.3	96.4	1561	23.7	1.3×10^{-8}
	Desviación	4.6	1.3	1.9	2.8	40.4	1.5	
	Estándar							
W_L Límite líquido		g_0 Peso volumétrico seco máximo						
W_P Límite plástico		W_O Contenido de agua óptimo						
W Contenido de agua		k Coeficiente de permeabilidad						
G Grado de compactación								

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 2. Pezómetros Abiertos

IDENTIFICACIÓN	ELEVACIÓN DEL BULBO	UBICACIÓN	OBSERVACIONES	IDENTIFICACION	ELEVACIÓN DEL BULBO	UBICACIÓN	OBSERVACIONES
AGUAS ARRIBA				AGUAS ABAJO			
PA 1-1	3.92	Grava-arena *	Funciona	PA 4-1	-19,08	Aluvi3n	Funciona
PB 1-1	-19.31	Aluvi3n	"	PA 5-1	-11,93	Aluvi3n	"
PB 1-2	0.37	Grava-arena *	"	PB 3-1	-18,95	Aluvi3n	"
PB 2-1	-19.09	Aluvi3n	"	PB 3-2	0,85	Grava-arena *	"
PB 2-2	1.55	Zona inyectada	"	PB 3-3	12,92	N3cleo imp.	"
PB 2-3	13.24	N3cleo imp.	"	PB 3-4	25,88	N3cleo imp.	Sin lecturas
PB 2-4	25,95	N3cleo imp.	"	PB 3-5	39,97	Filtro	Funciona
PB 2-5	39.85	N3cleo imp.	"	PB 4-1	-19,08	Aluvi3n	"
PC 1-1	-18.70	Aluvi3n	"	PB 4-2	0.49	Grava-arena *	"
PC 1-2	1.50	Grava-arena *	"	PB 5-1	-11,93	Aluvi3n	"
PD 1-1	-18,02	Aluvi3n	"	PB 5-2	0,30	Grava-arena *	"
PD 1-2	1.73	Grava-arena *	"	PC 4-1	-19,89	Aluvi3n	"
PD 2-2	4.66	Zona inyectada	"	PC 4-2	-1,00	Aluvi3n	"
PD 2-3	10.87	Zona inyectada	"	PC 5-1	-19,82	Aluvi3n	"
PD 2-4	26.73	N3cleo imp.	"	PC 5-2	0.45	Grava-arena *	"
PD 2-5	40.80	N3cleo imp.	"	PD 3-3	11,55	Zona inyectada	"
PF 2-1	5.55	Zona inyectada	"	PD 3-5	40,80	N3cleo imp.	"
PF 2-2	11.48	N3cleo imp.	Obstruido	PD 4-1	-19,82	Aluvi3n	"
PF 2-3	24.45	N3cleo imp.	Funciona	PD 4-2	0,35	Grava-arena *	"
				PD 5-1	-19,65	Aluvi3n	"
				PD 5-2	0,65	Grava-arena *	"
				PD 5-3	12,63	Enrocamiento	"
				PD 6-1	-19,05	Aluvi3n	"
				PD 6-2	-12,06	Grava-arena *	"
				PF 3-1	5,25	Zona inyectada	"
				PF 3-2	11,43	N3cleo imp.	"

* Material colocado a fondo perdido.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3. Inclinómetros

IDENTIFICACIÓN	FECHA DE COLOC.	NO. TUBOS	ELEVACIONES HASTA JULIO DE 1999				UBICACIÓN	OBSERVACIONES
			ELEV. INIC.	BOCA	FONDO	BOCA		
I-1	07/07/1966	26	44.45	-12.89	57.86	Cota de fondo hasta tubo 1 -12.75	Talud aguas arriba, margen derecha dentro del embalse	Funciona
I-2	03/06/1966	28	43.86	12.19	57.86	Cota de fondo hasta tubo 1 -12.06	Talud aguas arriba, margen derecha dentro del embalse	-
I-3	13/06/1966	26	27.46	-15.52	25.73	Cota de fondo hasta tubo 1 -15.50	Cortina talud aguas abajo, margen derecha	-
I-4	24/10/1966	24	27.68	-12.06	26.48	Cota de fondo hasta tubo 1 -12.06	Cortina talud aguas abajo, margen derecha	-
I-6	31/03/1967	21	58.47	-11.68	59.43	Cota de fondo hasta tubo 9 35.12	Corona de la cortina, margen derecha	Funcionaban 14 tubos
I-7	01/01/1968	23	59.55	-10.76	59.61	Cota de fondo hasta tubo 2 12.79	Corona de la cortina, margen derecha	Funcionaban 22 tubos
I-8	16/06/1966	57	59.80	70.77	50.50	Cota de fondo hasta tubo 31 16.83	Corona de la cortina, margen derecha	Funcionaban 27 tubos
I-9	26/05/1967	30	60.74	-12.50	60.36	Cota de fondo hasta tubo 7 21.29	Cortina, material de transición	Tubos inclinados
I-10	29/05/1967	31	60.82	-10.70	60.35	Cota de fondo hasta tubo 3 12.08	Cortina, material de transición	-
I-11	23/11/1966	39	43.45	-12.90	57.89	Cota de fondo hasta tubo 1 -12.63	Talud aguas arriba, eje de río	Funciona
I-12	21/12/1966	44	53.31	-13.29	57.97	Cota de fondo hasta tubo 1 -13.38	Talud aguas arriba, eje de río dentro del embalse	-
I-13	23/02/1967	80	60.13	68.92	60.31	Cota de fondo hasta tubo 54 17.43	Corona de cortina, eje de río	Funcionaban 27 tubos
I-14	18/11/1966	43	50.72	-19.54	50.77	Cota de fondo hasta tubo 1 -18.55	Talud aguas abajo, margen izquierda	Funcionaban 42 tubos
I-15	15/11/1966	27	30.86	-13.26	30.10	Cota de fondo hasta tubo 1 -13.41	Corona, talud aguas abajo, eje de río	Funciona
I-16	08/03/1967	47	51.86	-18.06	58.29	Cota de fondo hasta tubo 1 -17.49	Talud aguas arriba, margen izquierda	-
I-17	04/04/1967	58	60.25	-32.68	-	Tiene un sensor en su interior	Corona de la cortina, margen izquierda	sensor atorado
I-18	20/03/1967	44	51.71	-20.28	50.96	Cota de fondo hasta tubo 1 -19.76	Talud aguas arriba, margen izquierda	Funciona
I-19	01/01/1968	21	61.00	-27.50	60.43	Cota de fondo hasta tubo 1 26.17	Corona de la cortina, margen izquierda	-
I-20	01/01/1968	14	60.00	-36.50	60.15	Cota de fondo hasta tubo 1 36.63	Corona de la cortina, margen izquierda	-
I-21	01/01/1968	11	60.00	-43.50	60.03	Cota de fondo hasta tubo 2 44.31	Corona de la cortina, margen izquierda	Funcionan 10 tubos

TESIS CON
 FALTA DE ORIGEN

Tabla 4. Desplazamientos horizontales en la cortina.

DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES						
AÑO	1967	1974	1984	1999	TOTAL	UBICACIÓN
MAGNITUD (cm)	25	10	10	18	63	Aguas arriba
	20	10	12	6	48	Aguas abajo

Tabla 5. Asentamientos en la cortina

ASENTAMIENTOS TOTALES						
AÑO	1967	1974	1984	1999	TOTAL	UBICACIÓN
MAGNITUD (cm)	120	42	19	78	159	Aguas arriba
	80	71	13	57	221	Aguas abajo
	28	34	15	68	145	Corona

TESIS COIT
FALLA DE ORIGEN

Tabla 6. Acelerogramas Presa José Ma. Morelos "La Villita"

No.	ESTACION	FECHA	HORA	LAT. N	LONG. W	Ma	Mo	Mb	Ms	M	Mc	Me	Mw	PROF.	A _{max}			DIST.	DURACION
1	VID15005 11A	11/05/1990	23 43 49.1	17 046	-100 840			5 3	4 9	5 3				12	3 35	10 05	8 61	179 870	15.4
72	VID19010 251	29/10/1990	02 21 50.2	18 710	-102 090			5			5			<5	9 57	3 83	4 79	81 305	28.8
63	VID19101 153	15/01/1991	03 33 25.3	17 850	-102 001						4 7			22	5 74	4 31	7 18	24 886	16.55
59	VID19101 175	17/01/1991	18 23 17.4	17 859	-101 930			4 7			4 8			23	6 22	6 22	8 13	30 875	20.82
62	VID19101 306	30/01/1991	12 19 64.7	17 807	-101 959						4 4			24	8 13	3 35	4 79	31 715	21.32
133	VID19105 221	22/05/1991	00 57 06.0	18 410	-103 210			5	4 6	5 1				5	2 87	2 87	4 79		17.52
11	VID29005 111	29/10/1990	23 43 49.1	17 046	-100 840			5 3	4 9	5 3				12	4 79	13 80	10 53	179 870	16.6
12	VID29005 311	31/05/1990	07 35 25.9	17 106	-100 893			5 8	5 9	5 5				16	9 57	18 18	18 66	171 339	21.46
88	VH69202 141	14/02/1992	05 46 27.2	18 010	-102 370						4 2			<5	5 74	8 61	6 22	19 432	14.93
69	VH69202 142	14/02/1992	23 43 11.0	17 680	-102 050						4 7			5	11 96	18 18	11 96	36 615	18.07
25	VH69204 016	01/04/1992	00 31 46.6	17 333	-101 266			4 9			4 5			18	12 44	13 4	10 05	123 646	20.74
74	VH69204 116	11/04/1992	06 12 11.6	17 630	-102 110						4 3			5	7 66	7 66	5 74	39 895	15.68
124	VILB0004 111	11/04/2000	1 35 38.0	17 670	-102 920						5 1			10	13 89	22 98	13 78	86 549	28.44
128	VILB0005 141	14/05/2000	04 00 21.0	17 890	-103 010						4 6			16	2 2	3 86	4 08	89 726	16.24
129	VILB0006 301	30/06/2000	04 20 52.0	17 730	-103 040						4 5			12	3 13	5 7	6 5	96 525	16.6
116	VILB0008 091	09/08/2000	06 41 53.0	17 940	-102 710						7			9	75 2	95 8	93 39	56 722	50.5
4	VILB7201 021	02/01/1972	21 56 57.0	15 700	-98 430			6 2						33	27 39	25 47	47 43	481 156	13.26
71	VILB7207 211	21/07/1972	05 10 18.6	17 720	-102 090			4 8			4 8			33	14 28	9 33	10 47	30 904	11.62
46	VILB7307 031	03/07/1973	03 59 52.0	19 180	-101 810			5 6						125	13 94	7 49	10 72	138 900	8.87
108	VILB7501 041	04/01/1975	04 30 14.7	18 290	-102 590			4 9						5	6 26	9 96	10 86	55 254	16.22
85	VILB7510 111	11/10/1975	14 41 09.0	17 580	-102 280			5 5						33	80 1	108 71	81 97	45 531	12.88
77	VILB7511 151	15/11/1975	15 28 30.4	18 230	-102 180			5 9	5 9					<5	83 61	59 32	84 87	27 479	15.86
24	VILB7903 141	14/03/1979	11 07 14.6	17 490	-101 260			7						<5	124 33	60 42	132 51	115 004	14.16
76	VILB8110 252	25/10/1981	03 35 38.7	17 880	-102 150			4 5						<5	15 76	13 59	19 91	12 071	10.08
135	VILB8110 253	25/10/1981	07 39 46.7	17 920	-102 390			4 5						<5	18 24	17 55	24 63	130 638	11.64
119	VILB8110 254	25/10/1981	13 48 37.1	17 900	-102 800									<5	14 93	12 18	10 56	66 934	4.4
134	VILB8111 111	11/11/1981	03 18 20.8	17 610	-103 250									<5	16 65	9 81	17 65	122 372	5.78
8	VILB8201 141	14/01/1982	10 48 35.0	18 700	-99 980									33	15 4	18 4	18 56	253 491	10.78
131	VILB8604 301	30/04/1986	07 07 18.9	18 024	-103 057			6 2	7		6 4			20	43 18	22 82	32 58	94 370	12.27
33	VILB8606 191	19/06/1986	04 39 43.7	18 168	-101 573			5 2			4 8			10	24 47	29 73	27 78	70 286	10.53
16	VILB9202 121	12/02/1992	11 56 56.2	17 733	-101 058			5 1	4 6		4 4			<5	17 23	9 57	17 23	126 340	19.58
69	VILB9202 141	14/02/1992	23 43 11.0	17 680	-102 050						4 7			12	12 44	5 74	9 57	36 615	19.04
39	VILB9303 111	11/03/1993	20 43 59.4	18 310	-101 730			5 3			5 1			12	27 75	29 67	24 86	61 872	30.21
14	VILB9303 312	31/03/1993	10 18 15.5	17 180	-101 020			5 3	5		5 3			8	4 79	2 87	3 83	155 303	14.64
13	VILB9308 261	26/08/1993	11 59 48.2	17 500	-100 990			4 6			4 9			27	4 79	3 83	5 74	141 172	14.88
15	VILB9308 271	27/08/1993	01 45 26.2	17 440	-101 050			4 7			4 8			35	3 83	3 83	6 7	137 900	15.79
10	VILB9405 231	23/05/1994	01 41 46.0	18 030	-100 570					5 6				23	7 66	11 49	13 41	176 531	12.45
41	VILB9408 221	22/08/1994	01 47 27.5	18 020	-101 780						4 5			11	3 83	5 74	7 66	44 855	15.19
34	VILB9410 181	18/10/1994	04 46 39.7	18 440	-101 580			4 8			4 7			147	9 57	5 74	5 74	83 570	15.3
30	VILB9411 271	27/11/1994	18 00 30.2	18 280	-101 480						4 5			80	3 83	5 74	3 83	84 073	14.84
32	VILB9412 101	10/12/1994	16 17 40.9	18 020	-101 560					6 3				20	47 85	52 64	58 38	68 749	69.93
68	VILB9412 151	15/12/1994	22 23 03.0	18 550	-102 030						4			92	2 87	5 74	2 87	65 228	15.55
90	VILB9412 311	31/12/1994	13 24 29.1	18 290	-102 420						4 7			6	5 74	10 53	8 61	41 997	16.03
112	VILB9503 201	20/03/1995	20 14 41.0	17 730	-102 650						4 2			89	8 61	12 44	14 36	57 261	15.34
141	VILB9505 081	08/05/1995	20 40 11.0	21 830	-104 650						3 4			<5	3 83	5 74	5 74	502 901	14.71
140	VILB9510 091	09/10/1995	15 36 51.0	18 700	-104 300				7 6			7 5	7 9	33	5 74	10 53	12 44	242 764	64.61
139	VILB9510 121	12/10/1995	16 53 01.0	18 990	-103 950						5 3			24	2 87	3 83	4 79	221 488	20.01

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 6. Continuación

No.	ESTACION	FECHA	HORA	LAT. N	LONG. W	Ma	Mo	Mb	Ms	M	Mc	Me	Mw	PROF.	A _{max}	DIST.	DURACION		
76	VILB5601 251	25/01/1996	12 45 10 0	18 430	-102 210						5 1			26	58 38	84 22	90 92	49 648	41 59
50	VILB5602 111	11/02/1996	01 35 22 7	18 090	-101 840						4 4			54	8 61	7 66	6 7	39 171	22 84
19	VILB5607 151	15/07/1996	21 23 38 5	17 450	-101 160						6			20	14 29	27 03	28 86	126 700	51 37
20	VILB5607 181	18/07/1996	08 16 46 7	17 540	-101 200						5 1			20	5 79	8 44	8 78	118 409	21 1
115	VILB5612 031	03/12/1995	01 20 21 1	18 650	-102 700						4 2			14	2 94	4 82	5 39	92 413	14 89
130	VILB5701 111	11/01/1997	20 26 27 1	17 910	-103 040			6 5						16	124 47	183 84	132 19	92 750	94 27
99	VILB5701 121	12/01/1997	01 26 28 8	17 920	-102 530						4 6			14	4 76	4 34	4 56	37 594	16 11
110	VILB5701 122	12/01/1997	02 26 09 8	17 990	-102 610						4 3			8	3 84	5 13	5 03	45 669	15 76
117	VILB5701 161	16/01/1997	21 41 10 1	17 940	-102 760						5 1			25	16 34	23 97	16 28	62 142	33 74
113	VILB5701 271	27/01/1997	16 47 34 0	17 910	-102 670						4 9			23	6 73	4 67	7 49	52 788	26 59
52	VILB5705 211	21/05/1997	11 13 03 7	18 540	-101 850						4 6			16	7 43	9 05	7 73	71 624	18 23
45	VILB5705 221	22/05/1997	07 50 55 7	18 410	-101 810			5 9						59	91 49	129 33	96 76	62 905	67 14
49	VILB5705 291	29/05/1997	03 18 43 7	18 450	-101 830						4 4			27	5 07	8 44	6 56	64 964	16 92
44	VILB5710 121	12/10/1997	02 43 13 3	18 460	-101 800						4 5			63	4 98	7 66	8 62	67 847	28 43
47	VILB5802 271	27/02/1998	23 12 07 0	17 480	-101 830						4 4			2	2 87	5 72	3 93	68 003	15 45
21	VILB5904 261	20/04/1998	22 59 17 6	18 370	-101 210						5			66	13 45	11 52	11 78	115 056	43 62
28	VILB5905 091	09/05/1998	17 03 13 1	17 340	-101 410						4 8			18	5 17	9 53	9 36	110 754	19 92
3	VILB5906 151	15/06/1999	20 42 07 1	18 180	-97 510						7			69	1 88	3 67	5 26	510 218	23 55
7	VILB5906 211	21/06/1999	17 43 05 5	17 990	-101 720			6						54	74 52	80 94	82 39	51 200	54 4
51	VILB5906 221	22/06/1999	01 11 20 3	18 070	-101 850			4 9						28	12 04	14 51	17 24	37 522	25 75
35	VILB5907 051	05/07/1999	23 31 39 2	17 940	-101 650			4 8						12	4 67	7 67	5 06	59 000	16 5
124	VILCC004 111	11/04/2000	13 35 38 0	17 670	-102 920						5 1			10	14 36	27 01	34 49	86 549	49 19
128	VILCC005 141	14/05/2000	04 06 21 0	17 890	-103 010						4 6			16	3 36	4 51	8 01	89 726	27 28
129	VILCC006 301	30/06/2000	04 26 52 0	17 730	-103 040						4 5			12	6 31	7 74	16 44	96 525	28 6
55	VILCC007 121	12/07/2000	03 22 04 0	18 060	-101 860						3 8			61				36 214	
116	VILCC008 091	09/08/2000	06 41 53 0	17 940	-102 710						7			9	110 18	163 34	262 02	56 722	104 04
109	VILCC008 092	09/08/2000	08 02 25 0	17 890	-102 610						4 6			10	6 76	10 54	15 81	46 782	36 83
107	VILCC008 093	09/08/2000	12 56 42 0	17 980	-102 590						4 2			14	3 91	2 9	4 76	43 486	25
100	VILCC008 094	09/08/2000	14 44 59 0	17 930	-102 540						4 5			10	8 58	10 54	20 6	38 483	38 9
125	VILCC008 096	09/08/2000	14 54 26 0	18 020	-102 920						4 4			15				79 473	
104	VILCC008 097	09/08/2000	15 46 33 0	17 930	-102 570						4 3			14	4 45	4 31	6 23	41 710	26 5
146	VILCC008 101	10/08/2000	17 17 02 0	18 020	-102 490						4 5			10	5 27	8 14	10 07	32 925	27 39
122	VILC7301 301	30/01/1973	21 01 15 0	18 270	-102 880				7 5					43	18 6	63 27	49 34	81 504	19 39
1	VILC7310 171	17/10/1973	21 02 23 5	17 300	-93 980			4 7						202	0	29 37	20 57	897 416	7 79
108	VILC7501 041	04/01/1975	04 30 14 7	18 290	-102 590			4 9						< 5	11 27	9 92	22 1	55 254	16 6
85	VILC7510 111	11/10/1975	14 41 09 0	17 580	-102 280			5 5						33	115 69	85 28	342 83	45 531	14 36
77	VILC7511 151	15/11/1975	15 28 30 4	18 230	-102 180			5 9	5 9					< 5	72 91	73 3	209 3	27 479	17 42
24	VILC7903 141	14/03/1979	11 07 14 6	17 490	-101 260			7						< 5	184 46	155	371 2	115 004	31 04
76	VILC8110 251	25/10/1981	03 22 13 5	17 880	-102 150			6 1	7 3					< 5	142 37	183 8	421 79	12 071	29 82
76	VILC8110 253	25/10/1981	03 35 38 7	17 880	-102 150									< 5	11 8	28 54	49 21	12 071	10 84
142	VILC8110 301	30/10/1981	17 53 59 0	17 660	-102 422			4 1						< 5	7 44	0	8 24	292 286	7 52
27	VILC8111 011	01/11/1981	23 18 41 0	17 960	-101 310						5 5			< 5	18 51	15 83	32 25	95 881	10 28
134	VILC8111 111	11/11/1981	03 18 20 8	17 610	-103 250									< 5	6 64	0	12 08	122 372	6 41
137	VILC8112 301	31/12/1981	14 43 36 0	17 820	-103 500									< 5	16 57	24 3	48 67	143 540	11 34
91	VILC8312 081	08/12/1983	10 21 58 1	18 300	-102 420			5 5						6	41 44	32 4	98 8	42 901	25 6
127	VILC8505 281	28/05/1985	19 27 36 0	18 940	-102 980			5 2						< 5	12 59	18 32	10 12	136 451	29 28
120	VILC8506 191	19/06/1985	03 09 46 1	18 030	-102 840			4 4						< 5	8 23	10 24	20 93	70 863	18 6

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 6. Continuación

No.	ESTACIÓN	FECHA	HORA	LAT. N	LONG. W	Ma	Mo	Mb	Ms	M	Mc	Me	Mw	PROF.	A _{max}			DIST.	DURACIÓN
75	VILC8506 261	26/08/1985	16 58 14 0	17 760	-102 140									< 5	7 99	10 39	19 74	25 151	16 8
66	VILC8509 191	19/09/1985	13 17 42 6	18 081	-102 942			6 8	8 1		8 1			15	297 07	305 01	697 61	80 889	76 06
65	VILC8509 213	21/09/1985	12 32 24 5	17 430	-102 020									< 5	2 45	2 35	5 97	63 746	15 19
83	VILC8509 215	21/09/1985	19 21 22 0	17 950	-102 250						3 1			25	1 59	1 79	4 45	7 310	6 91
101	VILC8509 222	22/09/1985	07 33 14 0	18 050	-102 540						3 2			20	2 44	1 34	4 53	38 787	11 4
79	VILC8509 223	22/09/1985	13 10 32 0	17 080	-102 220									< 5	1 16	1 95	4 04	99 920	14 91
96	VILC8509 224	22/09/1985	21 16 48 0	17 930	-102 470			4 1						< 5	1 51	1 82	4 9	30 979	16 53
126	VILC8509 241	24/09/1985	07 03 02 0	17 790	-102 940			4 5						< 5	16 33	19 1	35 6	84 260	28 86
105	VILC8509 242	24/09/1985	18 35 48 0	16 830	-102 580									< 5	9 26	12 36	34 62	134 367	14 38
114	VILC8509 243	24/09/1985	22 37 22 0	17 670	-102 690			4 5						< 5	8 96	18 54	30 16	64 399	26 46
64	VILC8509 251	25/09/1985	07 44 06 0	18 010	-102 260			5 3						< 5	3 9	8 57	20 33	8 079	43 51
92	VILC8509 271	27/09/1985	11 16 22 0	17 830	-102 430			4 7						< 5	8 88	16 56	28 63	30 618	26 53
87	VILC8510 031	03/10/1985	02 18 56 0	17 620	-102 340						3 4			32	3 04	3 99	7 35	43 150	11 53
70	VILC8510 041	04/10/1985	07 20 17 0	17 260	-102 070						4			< 5	1 64	2 54	5 02	80 956	13 5
111	VILC8510 291	29/10/1985	15 02 26 1	17 583	-102 636			5 6	5 4		5 1			20	33 2	50 26	142 08	65 583	33 89
40	VILC8511 231	23/11/1985	11 16 04 7	17 930	-101 780									< 5	8 72	9 33	17 61	45 927	14 28
26	VILC8512 051	05/12/1985	15 42 21 9	17 853	-101 287			3 7			4 4			10	6 78	7 88	20 54	99 386	18 29
61	VILC8512 101	10/12/1985	04 14 00 0	17 660	-101 950						3 6			32	4 01	4 31	11 96	43 326	14 49
48	VILC8512 231	23/12/1985	11 30 42 7	17 590	-101 830									< 5	4 39	10 89	15 54	58 479	18
58	VILC8601 121	12/01/1986	16 51 21 2	17 917	-101 893			5 1			4 7			< 5	8 2	14 92	22 53	32 461	22 72
132	VILC8601 271	27/01/1986	19 36 14 1	17 880	-103 090						4 7			< 5	2 92	3 7	17 03	98 492	15 54
29	VILC8602 071	07/02/1986	21 26 53 4	17 653	-101 455			4 9			4 7			20	7 51	11 66	20 58	87 948	16 74
60	VILC8602 101	10/02/1986	22 59 00 0	17 580	-101 950									< 5	3 66	4 32	8 94	51 335	14 22
23	VILC8603 181	18/03/1986	11 14 21 1	17 614	-101 240			4 6			4 5			< 5	5 68	6 8	14 52	111 202	18 43
143	VILC8604 301	30/04/1986	07 07 18 9	18 024	-103 570			6 2	7		6 4			20	34 01	42 56	132 95	78 554	75 82
138	VILC8604 302	30/04/1986	08 08 52 6	17 480	-103 560									< 5	3 52	5 93	9 4	158 965	15 63
136	VILC8604 303	30/04/1986	08 12 44 7	17 450	-103 490									< 5	3 92	4 91	13 23	153 104	15 9
118	VILC8605 051	05/05/1986	05 46 35 2	17 765	-102 799			5 6	5 5		5 6			20	26 94	27 97	60 52	70 429	35 19
67	VILC8611 041	04/11/1986	01 58 06 7	17 789	-102 021			4 8			4 8			15	12 81	19 59	46 33	28 175	23 45
94	VILC8611 261	26/11/1986	06 53 17 2	18 680	-102 430									< 5	7 95	6 62	16 03	81 405	28 07
103	VILC8612 241	24/12/1986	08 19 41 0	17 530	-102 570									< 5	15 99	18 72	40 51	64 879	19 05
9	VILC8705 301	30/05/1987	23 29 57 0	16 910	-100 390									67	1 52	4 24	9 4	229 161	15 09
42	VILC8707 261	26/07/1987	00 22 38 1	18 730	-101 780			5						6	4 99	5 93	11 51	94 062	17 25
144	VILC8708 291	29/08/1987	08 05 36 3	17 950	-103 010			4 2						< 5	2 7	3 74	7 89	77 515	14 9
145	VILC8709 101	10/09/1987	22 55 00 0	18 030	-101 470							2 6		7	1 94	4 13	9 8	43 678	14 64
7	VILC8711 071	07/11/1987	18 12 33 0	16 950	-99 690						2 7			50	2 65	5 27	11 04	295 285	15 45
18	VILC8802 081	08/02/1988	13 51 29 9	17 494	-101 157			5 5	5 7		5			19	10 05	13 5	22 53	124 807	36 18
6	VILC8904 251	25/04/1989	14 29 00 4	16 603	-99 400			6 3	6 9	6 5				19	2 87	5 26	10 05	340 061	23 13
43	VILC8911 022	02/11/1989	07 34 57 0	17 760	-101 800							4 9		< 5	4 31	5 26	13 4	49 073	15 44
12	VILC9005 311	31/05/1990	07 35 26 9	17 106	-100 893			5 8	5 9	5 5				16	12 44	27 75	29 67	171 339	35 02
98	VILC9007 042	04/07/1990	13 27 29 7	18 930	-102 520			3 5			4 3			5	5 74	7 66	9 57	110 888	14 35
72	VILC9010 291	29/10/1990	02 21 30 2	18 710	-102 090			5			5			< 5	5 74	15 31	15 31	81 305	13 75
63	VILC9101 153	15/01/1991	03 33 26 3	17 850	-102 001						4 7			22	7 66	7 66	15 31	24 886	17 34
59	VILC9101 175	17/01/1991	18 23 17 4	17 859	-101 930			4 7			4 8			23	8 61	12 44	26 8	30 875	21 93
62	VILC9101 306	30/01/1991	12 19 04 7	17 807	-101 959						4 4			24	7 66	7 66	11 48	31 715	21 69
133	VILC9105 221	22/05/1991	00 57 06 0	18 410	-103 210			5	4	5 1				< 5	3 83	7 66	8 61		18 08
95	VILC9201 122	12/01/1992	08 49 25 7	17 790	-102 470						4 3			5	1 91	3 83	7 66	36 638	15 95

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 6. Continuación

No.	ESTACIÓN	FECHA	HORA	LAT. N	LONG. W	Ma	Mo	Mb	Ms	M	Mc	Me	Mw	PROF.	A _{max}			DIST.	DURACIÓN
16	VILC9202 123	12/02/1992	11 56 58 2	17 733	-101 058			5 1	4 6		4 4			< 5	14 36	16 27	38 28	126 340	26 28
88	VILC9202 141	14/02/1992	05 46 27 2	18 010	-102 370						4 2			5	7 66	5 74	8 61	19 432	15 6
69	VILC9202 142	14/02/1992	23 43 11 0	17 680	-102 050						4 7			12	8 61	9 57	22 97	36 615	17 82
25	VILC9204 013	01/04/1992	00 31 48 6	17 333	-101 266			4 9			4 5			18	4 79	8 61	14 36	123 646	18 39
74	VILC9204 114	11/04/1992	06 12 11 6	17 630	-102 110						4 3			5	4 79	7 66	13 4	39 895	15 82
106	VILC9207 241	24/07/1992	06 04 54 0	18 150	-102 580						4 5			10	3 83	5 74	14 36	46 297	16 51
54	VILC9208 273	27/08/1992	08 11 40 6	17 868	-101 859			4			4 3			10	9 57	15 31	34 45	37 466	25 49
80	VILC9209 234	23/09/1992	00 13 12 6	17 750	-102 220						4 4			5	16 27	22 01	23 93	25 865	17 51
57	VILC9210 101	10/10/1992	03 34 03 6	17 813	-101 861						4			26	5 74	7 66	13 4	39 743	15 95
39	VILC9303 115	11/03/1993	20 43 59 4	18 310	-101 730			5 3			5 1			12	29 67	31 58	62 21	61 872	34 03
130	VILC9701 111	11/01/1997	20 28 27 2	17 910	-103 040			6 5						16	188 05	169 37	624 56	92 750	93 175
99	VILC9701 121	12/01/1997	01 28 28 8	17 920	-102 530						4 6			14	4 88	4 01	14 66	37 594	23 11
117	VILC9701 161	16/01/1997	21 41 10 1	17 940	-102 760						5 1			25	15 75	19 15	49 98	62 142	34 3
113	VILC9701 271	27/01/1997	16 47 34 0	17 910	-102 670						4 7			23	7 5	8 58	15 89	52 788	24 28
52	VILC9705 211	21/05/1997	11 13 03 7	18 540	-101 850						4 6			16	10 38	14 74	22 01	71 624	24 78
45	VILC9705 221	22/05/1997	07 50 55 8	18 410	-101 810			5 9						59	149 55	145 61	496 4	62 905	70 29
49	VILC9705 291	29/05/1997	03 18 43 7	18 450	-101 830						4 4			27	6 12	6	22 86	64 964	23 61
44	VILC9710 121	12/10/1997	02 43 13 3	18 460	-101 800						4 5			63	6 79	11 08	22 11	67 847	25 01
22	VILC9712 221	22/12/1997	05 22 07 8	17 140	-101 240						4 6			5	4 84	8 57	10 67	139 252	12 505
47	VILC9802 271	27/02/1998	23 12 07 0	17 480	-101 830						4 4			2	5 39	9 06	13 68	68 003	23 92
123	VILC9803 131	13/03/1998	14 57 41 2	18 080	-102 900						4 7			5	1 65	2 86	14 09	77 946	23 96
21	VILC9804 201	20/04/1998	22 59 17 6	18 370	-101 210						5			66	13 83	19 11	27 19	115 056	52 69
28	VILC9805 091	09/05/1998	17 03 13 1	17 340	-101 410						4 8			18	5 41	12 22	17 16	110 754	27 02
89	VILC9806 271	27/06/1998	23 49 02 0	17 990	-102 410						4 1			52	12 15	12 06	24 13	23 463	30 63
86	VILC9901 071	07/01/1999	08 50 57 4	17 860	-102 290						4 1			8	3 29	4 8	5 9	17 206	25 18
73	VILC9902 221	22/02/1999	14 13 04 9	17 860	-102 100						4 1			9	3 83	3 35	9 96	16 567	26 35
56	VILC9904 021	02/04/1999	13 05 25 7	18 340	-101 860						4 2			77	4 31	4 31	8 62	52 991	36 62
82	VILC9904 291	29/04/1999	01 43 19 8	17 970	-102 240						4			9	2 87	5 27	11 84	5 491	25 85
3	VILC9906 151	15/06/1999	20 42 07 1	18 180	-97 510						7			69	2 68	8 33	11 68	510 218	59 21
37	VILC9906 211	21/06/1999	17 43 05 5	17 990	-101 720			6						54	85 86	108 51	147 08	51 200	96 82
51	VILC9906 221	22/06/1999	01 11 20 3	18 070	-101 850			4 9						28	10 54	16 85	28 23	37 522	39 65
97	VILC9912 181	18/12/1999	19 00 10 1	18 720	-102 470			4 8						208	5 19	4 09	12 27	87 169	37 02
36	VILC9912 291	29/12/1999	05 19 46 1	18 020	-101 680								5 0	82	45 98	56 69	110 79	55 709	67 19
129	VILD0006 301	30/06/2000	04 20 52 0	17 730	-103 040						4 5			12	2 64	3 54	5 35	96 525	15 42
116	VILD0008 091	09/08/2000	06 41 53 0	17 940	-102 710						7			9	136 07	146 72	81 73	56 722	43 91
109	VILD0008 092	09/08/2000	08 02 25 0	17 890	-102 610						4 6			10	2 88	9 3	5 36	46 782	15 9
107	VILD0008 093	09/08/2000	12 50 42 0	17 980	-102 590						4 2			14	4 12	10 89	6 17	43 486	15 86
100	VILD0008 094	09/08/2000	14 44 59 0	17 930	-102 540						4 5			10	2 55	7 37	4 24	38 483	15 35
77	VILD7511 151	15/11/1975	15 28 30 4	18 230	-102 180			5 9	5 9					< 5	28 32	41 32	39 37	27 479	18 4
24	VILD7903 141	14/03/1979	11 07 14 6	17 490	-101 260			7						< 5	14 66	17 97	16 67	115 004	5 12
120	VILD8506 191	19/06/1985	03 09 46 1	18 030	-102 840			4 4						< 5	6 59	5 57	10 2	70 863	14 77
126	VILD8509 241	24/09/1985	07 03 02 0	17 790	-102 940			4 5						< 5	5 01	10 94	11 54	84 260	14 6
105	VILD8509 242	24/09/1985	18 35 48 0	16 830	-102 580									< 5	4 91	12 87	15 62	134 367	10 57
114	VILD8509 243	24/09/1985	22 37 22 0	17 670	-102 690			4 5						< 5	4 3	12 61	15 18	64 399	13 71
131	VILD8604 301	30/04/1986	07 07 18 9	18 024	-103 057			6 2	7		6 4			20	19 47	25 71	24 75	94 370	31 11
103	VILD8612 241	24/12/1986	08 19 41 0	17 530	-102 570									< 5	6 18	20 57	12 67	64 879	15 32
93	VILD8809 141	14/09/1988	20 36 37 5	18 340	-102 430			4 9			4 7			38	10 07	25 07	22 61	47 173	25 81

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 6. Continuación

No.	ESTACIÓN	FECHA	HORA	LAT. N	LONG. W	Ma	Mo	Mb	Ms	M	Mc	Me	Mw	PROF.	A _{max}			DIST.	DURACIÓN
2	VILD9010 201	20/10/1990	00 52 10 6	17 400	-95 510						4 1			< 5	1 91	4 79	10 05	730 433	13 96
16	VILD9202 121	12/02/1992	11 56 58 2	17 733	-101 058			5 1	4 6		4 4			< 5	4 79	9 57	7 66	126 340	16 43
69	VILD9202 141	14/02/1992	23 43 11 0	17 680	-102 050						4 7			12	5 74	8 61	6 7	36 615	14 78
106	VILD9207 245	24/07/1992	06 04 54 0	18 150	-102 580						4 5			10	1 91	6 7	4 79	46 297	14 8
54	VILD9208 279	27/08/1992	08 11 40 6	17 858	-101 859			4			4 3			10	3 83	8 61	6 7	37 466	16 1
80	VILD9209 231	23/09/1992	00 15 12 6	17 750	-102 220						4 4			< 5	9 57	19 14	8 61	25 885	15 75
39	VILD9303 115	11/03/1993	20 4 59 4	18 310	-101 730			5 3			5 1			12	10 53	18 18	17 23	61 872	25 89
32	VILD9412 101	10/12/1994	16 1 40 9	18 020	-101 560					6 3				20	47 92	23 92	33 22	68 749	41 5
90	VILD9412 311	31/12/1994	13 24 29 1	18 290	-102 420						4 7			6	4 21	17 23	3 92	41 997	16 08
112	VILD9503 201	20/03/1995	20 14 41 0	17 730	-102 650						4 2			89	9 39	24 17	14 61	57 261	16 46
140	VILD9510 091	09/10/1995	15 36 51 0	18 700	-104 300				7 6			7 5	7 9	33	3 91	5 59	4 44	242 764	20 49
81	VILD9601 251	25/01/1996	12 45 09 8	18 390	-102 230						5 1			26	33 77	62 05	37 99	45 374	30 44
50	VILD9602 111	11/02/1996	01 39 22 7	18 090	-101 840						4 4			54	3 1	7 57	3 06	39 171	15 57
19	VILD9607 151	15/07/1996	21 23 38 5	17 450	-101 160						6			20	6 82	11 49	9 81	126 700	20 45
130	VILD9701 111	11/01/1997	20 28 27 2	17 910	-103 040			6 5						16	147 6	172 18	124 68	92 750	74 89
147	VILD9701 112	11/01/1997	20 48 05 3	17 730	-102 990						4 7			16	2 02	6 05	2 62	87 925	14 69
99	VILD9701 121	12/01/1997	01 28 28 8	17 920	-102 530						4 6			14	3 11	10 97	3 4	37 594	14 75
110	VILD9701 122	12/01/1997	02 20 09 8	17 990	-102 610						4 3			8	2 79	8 36	5 14	45 669	15 97
117	VILD9701 161	16/01/1997	21 41 10 1	17 940	-102 760						5 1			25	10 68	34 07	12 04	62 142	19 1
113	VILD9701 271	27/01/1997	16 47 34 0	17 910	-102 670						4 9			23	1 97	7 41	4 03	52 788	15 44
52	VILD9705 211	21/05/1997	11 13 03 7	18 540	-101 850						4 6			16	2 87	4 88	4 96	71 624	15 29
45	VILD9705 221	22/05/1997	07 50 55 7	18 410	-101 810			5 9						59	39 55	72 82	39 15	62 905	47 5
49	VILD9705 291	29/05/1997	03 18 43 7	18 450	-101 830						4 4			27	1 98	7 11	4 32	64 964	15 31
44	VILD9710 121	12/10/1997	02 43 13 3	18 460	-101 800						4 5			63	2 4	4 6	4 86	67 847	15 27
21	VILD9804 201	20/04/1998	22 59 17 6	18 370	-101 210						5			66	4 3	7 41	5 72	115 056	17 66
28	VILD9805 091	09/05/1998	17 03 13 1	17 340	-101 410						4 8			18	2 25	4 39	4 56	110 754	15 79
37	VILD9906 211	21/06/1999	17 43 05 5	17 990	-101 720			6						54	42 17	46 31	48 07	51 200	47 61
51	VILD9906 221	22/06/1999	01 11 20 3	18 070	-101 850			4 9						28	6 65	11 02	8 03	37 522	22 62
116	VILE0008 091	09/08/2000	06 41 53 0	17 940	-102 710						7			9				56 722	
109	VILE0008 092	09/08/2000	08 02 25 0	17 890	-102 610						4 6			10				46 782	
107	VILE0008 093	09/08/2000	12 50 42 0	17 980	-102 590						4 2			14				43 486	
100	VILE0008 094	09/08/2000	14 44 59 0	17 930	-102 540						4 5			10				38 483	
148	VILE8509 211	21/09/1985	01 37 18 4	18 021	-101 479			6 3	7 6		7 5			15	41 1	23 34	30 41	91 439	11 65
53	VILE9101 141	14/01/1991	21 11 06 0	17 838	-101 854			5 3	5		5 1			25	22	8 31	10 58	39 198	26 41
39	VILE9303 111	11/03/1993	20 43 59 4	18 310	-101 730			5 3			5 1			12	6 21	5 91	7 64	61 872	18 39
32	VILE9412 101	10/12/1994	16 17 40 9	18 020	-101 560					6 3				20	23 53	14 67	17 37	68 749	35 31
81	VILE9601 251	25/01/1996	12 45 09 8	18 390	-102 230						5 1			26	16 27	14 42	28 71	45 374	25 21
130	VILE9701 111	11/01/1997	20 28 27 2	17 910	-103 040			6 5						16	99 5	70 82	103 36	92 750	55 105
52	VILE9705 211	21/05/1997	11 13 03 7	18 540	-101 850						4 6			16	2 22	2 67	3 59	71 624	58
45	VILE9705 221	22/05/1997	07 50 55 7	18 410	-101 810			5 9						59	34 51	22 12	25 53	62 905	93
49	VILE9705 291	29/05/1997	03 18 43 7	18 450	-101 830						4 4			27	2 68	1 55	1 67	64 964	56
121	VILE9710 251	25/10/1997	13 35 17 2	17 710	-102 880						4 3			16	2 58	1 21	0 9	80 828	57
21	VILE9804 201	20/04/1998	22 59 17 6	18 370	-101 210						5			66	2 75	2 92	3 13	115 056	63
28	VILE9805 091	09/05/1998	17 03 13 1	17 340	-101 410						4 8			18	2 6	1 95	1 84	110 754	56
89	VILE9806 271	27/06/1998	23 49 02 0	17 990	-102 410						4 1			52	3 17	4 82	2 84	23 463	63
73	VILE9902 221	22/02/1999	14 13 04 9	17 860	-102 100						4 1			9	1 92	1 03	2 85	16 567	61
37	VILE9906 211	21/06/1999	17 43 05 5	17 990	-101 720			6						54	29 55	22 77	30 34	51 200	91

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 6. Continuación

No	ESTACION	FECHA	HORA	LAT. N	LONG. W	Ma	Mo	Mb	Ms	M	Mc	Me	Mw	PROF.	A _{max}			DIST.	DURACION
51	VILE906 221	22/06/1999	01 11 20 3	18 070	-101 850			4 9						28	4 23	3 11	4 24	37 522	70
36	VILE9912 291	29/12/1999	05 19 46 0	18 020	-101 660							5 9		82	14 57	8 82	12 7	55 709	87
124	VILF0004 111	11/04/2000	13 35 38 0	17 670	-102 920						5 1			10	14 36	16 64	12 45	86 549	29 77
116	VILF0008 091	09/08/2000	06 41 53 0	17 940	-102 710						7			9	80 47	107 3	91 01	56 722	57 1
109	VILF0008 092	09/08/2000	08 02 25 0	17 890	-102 610						4 6			10	6 72	7 66	6 71	46 782	25 25
107	VILF0008 093	09/08/2000	12 50 42 0	17 980	-102 590						4 2			14	9 58	5 75	8 62	43 486	26 38
102	VILF9001 291	29/01/1990	02 41 23 9	18 271	-102 547			5 4	4 4	5 1				39	18 18	22 49	21 05	50 293	24 91
12	VILF9005 311	31/05/1990	07 35 26 9	17 106	-100 893			5 8	5 9	5 5				16	10 05	17 23	17 23	171 335	24 77
63	VILF9101 155	15/01/1991	03 33 26 3	17 850	-102 001						4 7			22	5 74	4 79	8 61	24 886	14 6
59	VILF9101 176	17/01/1991	18 23 17 4	17 859	-101 930			4 7			4 8			23	6 7	5 74	8 61	30 875	16 93
39	VILF9303 111	11/03/1993	20 43 59 4	18 310	-101 730			5 3			5 1			12	16 27	23 93	29 67	61 872	24 03
14	VILF9303 312	31/03/1993	10 18 15 5	17 180	-101 020			5 3	5		5 3			8	1 91	2 87	3 83	155 303	15 94
13	VILF9308 261	26/08/1993	11 59 48 2	17 500	-100 990			4 6			4 9			27	2 87	3 83	5 74	141 172	14 82
15	VILF9308 271	27/08/1993	01 45 26 2	17 440	-101 050			4 7			4 8			35	2 87	3 83	6 7	137 900	16 67
10	VILF9405 231	23/05/1994	01 41 46 0	18 030	-100 570					5 6				23	4 9	7 66	6 68	176 531	7 48
41	VILF9408 221	22/08/1994	01 47 27 5	18 020	-101 780						4 5			11	5 74	3 83	6 7	44 855	16 63
34	VILF9410 181	18/10/1994	04 46 39 7	18 440	-101 580			4 8			4 7			147	6 7	3 83	4 79	83 570	15 51
32	VILF9412 101	10/12/1994	16 17 40 9	18 020	-101 560					6 3				20	45 94	48 81	59 34	68 749	69 52
90	VILF9412 311	31/12/1994	13 24 29 1	18 290	-102 420						4 7			6	4 79	5 74	5 74	41 997	13 83
112	VILF9503 201	20/03/1995	20 14 41 0	17 730	-102 650						4 2			89	10 53	12 44	18 18	57 261	12 26
140	VILF9510 091	09/10/1995	15 36 51 0	18 700	-104 300			7 6				7 5	7 9	33	5 74	7 66	12 44	242 764	73 11
139	VILF9510 121	12/10/1995	16 53 01 0	18 990	-103 950						5 3			24	3 83	3 83	5 74	221 488	21 02
78	VILF9601 251	25/01/1996	12 45 10 0	18 430	-102 210						5 1			26	5 74	7 66	11 48	49 648	16 6
50	VILF9602 111	11/02/1996	01 39 22 7	18 090	-101 840						4 4			54	4 79	3 83	5 74	39 171	15 53
19	VILF9607 151	15/07/1996	21 23 38 5	17 450	-101 160						6			20	17 23	20 1	27 75	126 700	54 63
20	VILF9607 181	18/07/1996	08 16 46 7	17 540	-101 200						5 1			20	5 86	5 76	9 77	118 409	21 42
130	VILF9701 111	11/01/1997	20 28 27 2	17 910	-103 040			6 5						16	136 84	139 63	144 8	92 750	98 11
99	VILF9701 121	12/01/1997	02 20 09 8	17 920	-102 530						4 6			14	4 58	3 65	4 36	37 594	14 76
117	VILF9701 161	16/01/1997	21 41 10 1	17 940	-102 760						5 1			25	19 4	20 17	18 21	62 142	33 98
113	VILF9701 271	27/01/1997	16 47 34 0	17 910	-102 670						4 9			23	3 84	6 63	4 85	52 788	19 36
52	VILF9705 211	21/05/1997	11 13 03 7	18 540	-101 850						4 6			16	8 52	7 72	8 73	71 624	18 9
45	VILF9705 221	22/05/1997	07 50 55 7	18 410	-101 810			5 9						59	4 79	5 74	5 74	62 905	13 83
49	VILF9705 291	29/05/1997	03 18 43 7	18 450	-101 830						4 4			27	5 9	4 63	6 9	64 964	15 51
44	VILF9710 121	12/10/1997	02 43 13 3	18 460	-101 800						4 5			63	2 95	3 37	3 4	67 847	17 06
22	VILF9712 221	22/12/1997	05 22 07 8	17 140	-101 240						4 6			5	3 11	4 2	5 44	139 252	13 26
47	VILF9802 271	27/02/1998	23 12 07 7	17 480	-101 830						4 4			2	3 29	5 95	5 65	68 003	16 5
123	VILF9803 131	13/03/1998	14 57 41 2	18 080	-102 900						4 7			5	3 36	2 95	4 21	77 946	14 99
21	VILF9804 201	20/04/1998	22 59 17 6	18 370	-101 210						5			66	11 21	12 11	11 52	115 056	40 31
28	VILF9805 091	09/05/1998	17 03 13 1	17 340	-101 410						4 8			18	5 76	7 04	8 93	110 754	18 29
82	VILF9904 291	29/04/1999	01 43 19 8	17 970	-102 240						4			9	2 44	3 82	5 75	5 491	24 93
37	VILF9906 211	21/06/1999	17 43 05 5	17 990	-101 720			6						54	63 22	88 14	80 1	51 200	58 88
51	VILF9906 221	22/06/1999	01 11 20 3	18 070	-101 850			4 9						28	8 28	6 71	12 12	37 522	33 32
97	VILF9912 181	18/12/1999	19 00 10 1	18 720	-102 470			4 8			3 9			208	3 89	1 93	4 79	87 169	32 16
36	VILF9912 291	29/12/1999	05 19 46 0	18 020	-101 680							5 9		82	28 74	43 12	53 65	55 709	49 64
149	VILG8904 251	25/04/1989	14 29 00 4	16 603	-99 900			6 3	6 9	6 5				19	2 87	4 79	12 44	89 330	13 94
43	VILG8911 022	02/11/1989	07 34 57 0	17 760	-101 800						4 9			< 5	6 7	9 57	9 57	49 073	15 57
102	VILG9001 291	29/01/1990	02 41 23 9	18 271	-102 547			5 4	4 4	5 1				39	26 8	22 97	36 37	50 293	27 7

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 6. Continuación

No.	ESTACIÓN	FECHA	HORA	LAT. N	LONG. W	Ma	Mo	Mb	Ms	M	Mc	Me	Mw	PROF.	A _{max}			DIST.	DURACIÓN
11	VILG9005 112	11/05/1990	23 43 49 1	17 046	-100 840			5 3	4 9	5 3				12	3 83	7 66	13 4	179 870	25 43
12	VILG9005 311	31/05/1990	07 35 26 9	17 106	-100 893			5 8	5 9	5 5				16	7 66	21 05	26 8	171 339	35 27
98	VILG9007 042	04/07/1990	13 27 29 7	18 930	-102 520			3 5			4 3			5	3 83	7 66	9 57	110 888	13 89
63	VILG9101 155	15/01/1991	03 33 26 3	17 850	-102 001						4 7			22	6 7	6 7	6 7	24 886	14 59
59	VILG9101 176	17/01/1991	18 23 17 4	17 859	-101 930			4 7			4 8			23	7 66	8 61	21 05	30 875	17 77
95	VILG9201 123	12/01/1992	08 49 25 7	17 790	-102 470						4 3			< 5	3 35	3 35	5 74	36 638	16 11
16	VILG9202 124	12/02/1992	11 56 58 2	17 733	-101 058			5 1	4 6	4 4				< 5	15 79	9 57	20 1	126 340	28 72
17	VILH8903 101	10/03/1989	05 19 51 0	17 446	-101 089			5 3	4 8	5				18	5 74	6 7	9 57	133 792	15 53
102	VILH9001 291	29/01/1990	02 41 23 9	18 271	-102 547			5 4	4 4	5 1				39	5 74	10 53	11 48	50 293	14 89
72	VILH9010 291	29/10/1990	02 21 30 2	18 710	-102 090			5			5			< 5	3 83	5 74	7 66	81 305	14 95
63	VILH9101 153	15/01/1991	03 33 26 3	17 850	-102 001						4 7			22	4 79	5 74	7 66	24 886	15 02
59	VILH9101 172	17/01/1991	18 23 17 4	17 859	-101 930			4 7			4 8			23	7 66	13 4	18 18	30 875	19 64
62	VILH9101 305	30/01/1991	12 19 04 7	17 807	-101 959						4 4			24	4 79	5 74	8 61	31 715	14 93
127	VILH8505 281	28/05/1985	19 27 36 0	18 940	-102 980			5 2						< 5	2 92	6 76	9 16	136 451	14 83
126	VILH8509 241	24/09/1985	07 03 02 0	17 790	-102 940			4 5						< 5	11 42	9 37	12 11	84 260	15 33
105	VILH8509 242	24/09/1985	18 35 48 0	16 830	-102 580									< 5	6 13	13 59	11 96	134 367	12 53
114	VILH8509 243	24/09/1985	22 37 22 0	17 670	-102 690			4 5						< 5	3 84	11 63	10 41	64 399	10 76
92	VILH8509 271	27/09/1985	11 16 22 0	17 830	-102 430			4 7						< 5	4 03	11 21	9 62	30 618	11 05
64	VILH8510 021	02/10/1985	16 49 34 0	17 250	-102 010						3 6			7	4 06	6 4	5 82	83 286	14 98
111	VILH8510 251	29/10/1985	15 02 26 1	17 583	-102 636			5 6	5 4	5 1				20	0	9 98	18 33	65 583	15 9
58	VILH8601 121	12/01/1986	16 51 21 2	17 917	-101 893			5 1						< 5	4 99	10 9	10 11	32 461	14 26
131	VILH8604 301	30/04/1986	07 07 18 9	18 024	-103 057			6 2	7	6 4				20	13 88	16 67	17 16	94 370	24 77
118	VILH8605 051	05/05/1986	05 46 35 2	17 765	-102 799			5 6	5 5	5 6				20	8 53	20 53	15 52	70 429	24 35
33	VILH8606 191	19/06/1986	04 39 43 7	18 168	-101 573			5 2		4 8				10	9 62	19 89	17 73	70 286	17 45
67	VILH8611 041	04/11/1986	01 58 06 7	17 789	-102 021			4 8						15	11 34	19 66	13 19	28 175	16 75
103	VILH8612 241	24/12/1986	08 19 41 0	17 530	-102 570									< 5	5 7	15 17	24 43	64 879	16 19
18	VILH8802 081	08/02/1988	13 51 29 9	17 494	-101 157			5 5	5 7	5				19	3 63	10 22	12 34	124 807	16 16
12	VILH9005 311	31/05/1990	07 35 26 9	17 106	-100 893			5 8	5 9	5 5				16	2 87	8 37	5 26	171 339	16 12
63	VILH9101 152	15/01/1991	03 33 26 3	17 850	-102 001						4 7			22	1 91	4 79	6 7	24 886	15 24
59	VILH9101 173	17/01/1991	18 23 17 4	17 859	-101 930			4 7			4 8			23	3 35	6 22	7 18	30 875	16 4
62	VILH9101 304	30/01/1991	12 19 04 7	17 807	-101 959						4 4			24	2 15	4 55	5 02	31 715	14 81
16	VILH9202 121	12/02/1992	11 56 58 2	17 733	-101 058			5 1	4 6	4 4				< 5	5 26	11 25	10 53	126 340	18 33
69	VILH9202 141	14/02/1992	23 43 11 0	17 680	-102 050						4 7			12	3 59	6 46	8 61	36 615	18 22
106	VILH9207 241	24/07/1992	06 04 54 0	18 150	-102 580						4 5			10	1 67	5 74	4 07	46 297	15 45
54	VILH9208 272	27/08/1992	08 11 40 6	17 868	-101 859			4			4 3			10	5 5	12 92	8 61	37 466	16 1
80	VILH9209 233	23/09/1992	00 13 12 6	17 750	-102 220						4 4			5	5 98	6 7	10 05	25 885	16 73
39	VILH9303 111	11/03/1993	20 43 59 4	18 310	-101 730			5 3			5 1			12	17 71	29 19	32 54	61 872	23 47
32	VILH9412 101	10/12/1994	16 17 40 9	18 020	-101 560						6 3			20	27 28	45 94	38 28	68 749	29 47
90	VILH9412 311	31/12/1994	13 24 29 1	18 290	-102 420						4 7			6	2 87	9 57	5 74	41 997	15 09
140	VILH9510 091	09/10/1995	15 36 51 0	18 700	-104 300				7 6					33	2 87	3 35	5 26	242 764	21 08
81	VILH9601 251	25/01/1996	12 45 09 8	18 390	-102 230						5 1			26	40 67	88 53	66 99	45 374	30 29
50	VILH9602 111	11/02/1996	01 39 22 7	18 090	-101 840						4 4			54	3 35	6 22	5 26	39 171	15 24
19	VILH9607 151	15/07/1996	21 23 38 5	17 450	-101 160						6			20	6 7	14 36	14 83	126 700	39 66
20	VILH9607 181	18/07/1996	08 16 46 7	17 540	-101 200						5 1			20	5 26	7 66	6 22	118 409	17 4
130	VILH9701 111	11/01/1997	08 28 27 2	17 910	-103 040			6 5						16	80 81	174 7	163 3	92 750	70 02
110	VILH9701 121	12/01/1997	02 20 09 8	17 990	-102 610						4 3			8	2 08	7 71	4 5	45 669	15 55
117	VILH9701 191	16/01/1997	21 41 10 2	17 940	-102 760						5 1			25				62 142	

TESIS CON
DATA DE ORIGEN

Tabla 6. Continuación

No.	ESTACION	FECHA	HORA	LAT. N	LONG. W	Ma	Mo	Mb	Ms	M	Mc	Me	Mw	PROF.	A _{max}		DIST.	DURACION	
52	VIL19705 211	21/05/1997	11 13 03 7	18 540	-101 850						4 6			16	1 99	6 08	6 88	71 624	16 44
45	VIL19705 221	22/05/1997	07 50 55 7	18 410	-101 810			5 9						59	39 72	80 85	66 99	62 905	53 06
49	VIL19705 291	29/05/1997	03 18 43 7	18 450	-101 830						4 4			27	2 3	6 42	4 81	64 964	15 72
44	VIL19710 121	12/10/1997	02 43 13 3	18 460	-101 800						4 5			63	1 95	5 6	5 28	67 847	15 24
47	VIL19802 271	27/02/1998	23 12 07 0	17 480	-101 830						4 4			2	2 41	3 17	5 14	68 003	15
21	VIL19804 201	20/04/1998	22 59 17 6	18 370	-101 210						5			66	5 07	6 85	9 25	115 056	23 85
28	VIL19805 091	09/05/1998	17 03 13 1	17 340	-101 410						4 8			18	3 3	6 59	6 17	110 754	15 9
73	VIL19902 221	22/06/1999	14 13 04 9	17 860	-102 100						4 1			9	1 29	5 69	5 48	16 567	15 7
82	VIL19904 291	29/04/1999	01 43 19 8	17 970	-102 240						4			9	2 07	4 87	5 9	5 491	14 74
37	VIL19906 211	21/06/1999	17 43 05 5	17 990	-101 720									54	34 01	50 77	52 69	51 200	45 79
51	VIL19906 221	22/06/1999	01 11 20 3	18 070	-101 850			6						28	9 69	11 5	9 58	37 522	24 08
97	VIL19912 181	18/12/1999	19 00 10 1	18 720	-102 470			4 8			3 9			208	2 32	5 94	6 69	87 169	15 43
36	VIL19912 291	29/12/1999	05 19 46 0	18 020	-101 680								5 9	82	24 91	34 01	21 56	55 709	31 16
10	VILP9405 231	23/05/1994	01 41 44 0	18 030	-100 570					5 6				23	6 13	7 78	9 34	176 531	43 32
41	VILP9408 221	22/08/1994	01 47 27 5	18 020	-101 780						4 5			11	4 7	5 34	6 04	44 855	15
32	VILP9412 101	10/12/1994	16 17 40 9	18 020	-101 560					6 3				20	61 14	39 1	79 81	68 749	75
90	VILP9412 311	31/12/1994	13 24 29 1	18 290	-102 420						4 7			6	9 05	6 1	8 29	41 997	16 37
112	VILP9503 201	20/03/1995	20 14 41 0	17 730	-102 650						4 2			89	11 03	17 33	13 38	57 261	18 63
6	VILP9509 141	14/09/1995	14 04 41 0	16 793	-98 615			7 5					7 3	21	2 02	5 74	3 13	340 061	21 62
31	VILP9509 211	21/09/1995	10 52 57 0	18 260	-101 530						4 6			83	3 96	2 9	4 12	78 195	14 72
140	VILP9510 091	09/10/1995	15 36 51 0	18 700	-104 300			7 6				7 5	7 9	33	10 01	16 21	16 57	242 764	109 48
78	VILP9601 251	25/01/1996	12 45 10 0	18 430	-102 210					5 1				26	49 24	95 26	112 08	49 648	44 68
50	VILP9602 111	11/02/1996	01 39 22 7	18 090	-101 840						4 4			54	4 85	5 66	8 62	39 171	23 4
19	VILP9607 151	15/07/1996	21 23 38 5	17 450	-101 160						6			20	21 77	40 88	43 42	126 700	23 4
20	VILP9607 181	18/07/1996	08 16 46 7	17 540	-101 200						5 1			20	12 32	11 24	13 8	118 409	22 45
116	VILT0008 091	09/08/2000	06 41 53 0	17 940	-102 710						7			9				56 722	
109	VILT0008 092	09/08/2000	08 02 25 0	17 890	-102 610						4 6			10	6 61	8 83	11 15	46 782	17 35
18	VILT0002 081	08/02/1988	13 51 29 9	17 494	-101 157			5 5	5 7		5			19	9 21	11 93	19 22	124 807	21 11
102	VILT9001 291	29/01/1990	02 41 23 9	18 271	-102 547			5 4	4 4	5 1				39	21 05	19 62	26 8	50 293	25 95
12	VILT9005 311	31/05/1990	07 35 26 9	17 106	-100 893			5 8	5 9	5 5				16	10 05	23 45	22 97	171 339	26 24
98	VILT9007 042	04/07/1990	13 27 29 7	18 930	-102 520			3 5			4 3			5	4 31	5 74	8 13	110 888	15 94
72	VILT9010 291	29/10/1990	02 21 30 2	18 710	-102 090			5			5			5	8 61	3 35	7 18	81 305	32 52
63	VILT9101 153	15/01/1991	03 33 26 3	17 850	-102 001						4 7			22	5 26	6 22	9 09	24 886	18 05
59	VILT9101 174	17/01/1991	18 23 17 4	17 859	-101 930			4 7			4 8			23	6 22	8 13	13 88	30 875	21 45
62	VILT9101 305	30/01/1991	12 19 04 7	17 807	-101 959						4 4			24	8 13	6 22	7 18	31 715	22 73
133	VILT9105 221	22/05/1991	00 57 06 0	18 410	-103 210			5	4	5 1				< 5	2 39	5 26	6 22		15 48
16	VILT9202 121	12/02/1992	11 56 58 2	17 733	-101 058			5 1	4 6		4 4			< 5	10 05	14 83	19 62	126 340	27 06
86	VILT9202 141	14/02/1992	05 46 27 2	18 010	-102 370						4 2			5	3 83	5 26	6 7	19 432	14 79
69	VILT9202 142	14/02/1992	23 43 11 0	17 680	-102 050						4 3			12	6 22	6 7	14 83	36 615	18 75
25	VILT9204 013	01/04/1992	00 31 48 6	17 333	-101 266			4 9			4 5			18	3 83	7 18	9 09	123 646	17 27
106	VILT9207 241	24/07/1992	06 04 54 0	18 150	-102 580						4 5			10	3 83	4 79	9 57	46 297	15 08
54	VILT9208 272	27/08/1992	08 11 40 6	17 868	-101 859			4			4 3			10	8 61	10 05	23 45	37 466	22 82
80	VILT9209 233	23/09/1992	00 13 12 6	17 750	-102 220						4 4			5	17 23	18 66	19 62	25 885	16 36
57	VILT9210 101	10/10/1992	03 34 03 0	17 813	-101 861						4			26	4 31	5 74	9 57	39 743	15 29
39	VILT9303 111	11/03/1993	20 43 59 4	18 310	-101 730			5 3			5 1			12	24 88	30 63	49 29	61 872	34 65
14	VILT9303 312	31/03/1993	10 18 15 5	17 180	-101 020			5 3	5		5 3			8	2 39	3 83	6 22	155 303	15 04
150	VILT9308 201	20/08/1993	13 06 15 6	18 440	-102 850			4 2			5			9	1 44	2 39	7 18	150 289	16

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Tabla 6. Continuación

No.	ESTACIÓN	FECHA	HORA	LAT. N	LONG. W	Ma	Mo	Mb	Ms	M	Mc	Me	Mw	PROF.	A _{max}			DIST.	DURACION
13	VILT9308 261	26/08/1993	11 59 48 2	17 500	-100 990			4 6			4 9			27	3 83	4 79	6 22	141 172	18 22
15	VILT9308 271	27/08/1993	01 45 26 2	17 440	-101 050			4 7			4 8			35	4 79	6 22	7 18	137 900	14 36
32	VILT9412 101	10/12/1994	16 17 40 9	18 020	-101 560					6 3				20	52 1	44 14	88 14	68 749	75
90	VILT9412 311	31/12/1994	13 24 29 1	18 290	-102 420						4 7			6	5 76	6 25	9 35	41 997	16 32
112	VILT9503 201	20/03/1995	20 14 41 0	17 730	-102 650						4 2			89	11 02	22 03	22 03	57 261	18 37
5	VILT9509 141	14/09/1995	14 04 31 0	16 793	-98 615				7 5				7 3	21	1 44	2 39	6 7	411 025	20 78
31	VILT9509 211	21/09/1995	10 52 57 0	18 260	-101 530						4 6			83	2 87	2 87	5 26	78 195	30 88
140	VILT9510 091	09/10/1995	15 36 51 0	18 700	-104 300				7 6			7 5	7 9	33	6 22	12 92	19 62	242 764	86 85
81	VILT9601 251	25/01/1996	12 45 09 8	18 390	-102 230						5 1			26	71 84	78 56	124 57	45 374	44 92
50	VILT9602 111	11/02/1996	01 39 22 7	18 090	-101 840						4 4			54	6 7	7 19	7 19	39 171	22 53
19	VILT9607 151	15/07/1996	21 23 36 5	17 450	-101 160						6			20	14 27	32 33	56 25	126 700	65 63
20	VILT9607 181	18/07/1996	08 16 46 0	17 540	-101 200						5 1			20	5 85	9 45	14 55	118 409	22 67
117	VILT9701 161	16/01/1997	21 41 10 1	17 940	-102 760						5 1			25	18 55	16 29	32 69	62 142	35 89
113	VILT9701 271	27/01/1997	16 47 34 0	17 910	-102 670						4 9			23	6 55	8 62	12 45	52 788	26 32
52	VILT9705 211	21/05/1997	11 13 03 7	18 540	-101 850						4 6			16	8 72	9 44	17 27	71 624	19 78
45	VILT9705 221	22/05/1997	07 50 55 7	18 410	-101 810			5 9						59	81 4	96 28	191 61	62 905	74 85
49	VILT9705 291	29/05/1997	03 18 43 7	18 450	-101 830						4 4			27	4 56	4 85	9 92	64 964	18 02
44	VILT9710 121	12/10/1997	02 43 13 3	18 460	-101 800						4 5			63	5 37	8 93	16 54	67 847	20 96
89	VILT9806 271	27/06/1998	23 49 02 0	17 990	-102 410						4 1			52	9 1	28 74	15 81	23 463	22 33
56	VILT9904 021	02/04/1999	13 05 25 7	18 340	-101 860						4 2			77	1 77	3 46	5 74	52 991	15 74
82	VILT9904 291	29/04/1999	01 43 19 8	17 970	-102 240						4			9	3 8	2 73	9 25	5 491	15 56
3	VILT9906 151	15/06/1999	20 42 07 1	18 180	-97 510						7			69	2 4	6 59	9 58	510 218	53 3
37	VILT9906 211	21/06/1999	17 43 05 5	17 990	-101 720			6						54	79 52	88 53	116 4	51 200	86 65
51	VILT9906 221	22/06/1999	01 11 20 3	18 070	-101 850			4 9						28	11 56	14 78	18 2	37 522	29 95
35	VILT9907 051	05/07/1999	23 31 39 2	17 940	-101 650			4 8						12	5 58	6 33	8 46	59 000	18 65

TESIS CON
 FALTA DE ORIGEN

Tabla 7. Resultados de Espectros de Fourier

No.	FECHA	ESTACIÓN	MAGNITUD	PROF. km	DIST. km	DURACIÓN (s)	A _{max} (cm/s ²)			AMPLITUD			FRECUENCIA (Hz)		
							V	L	T	V	L	T	V	L	T
66	19/09/1985	VILC	8.1	15	80.90	76.06	297.07	305.01	697.61	2.1	4.8	10	1.8	1.20	1.20
130	11/01/1997	VILC	6.5	16	92.75	93.17	169.37	188.05	624.56	2.5	5	11	1.20	1	0.5
		VILD				74.89	124.68	147.6	172.18	0.5	1	1.2	3	1.8	1.8
		VILI				70.02	80.81	163.3	174.7	0.6	0.6	0.8	2	1.20	1.20
		VILF				98.11	136.84	139.63	144.8	1.2	2.6	1.8	1.8	1.8	1.20
		VILB				94.27	124.47	183.84	132.19	1	2.6	1.8	3	1.8	1.20
		VILE				55.1	70.82	99.5	103.36	0.9	1.8	1.8	2	1	0.5
45	22/05/1997	VILC	5.9	59	62.90	70.29	145.61	149.55	496.40	2.2	3	8	3	3	3
		VILT				74.85	81.4	96.28	191.61	0.8	1.2	2.8	3	2	3
		VILD				47.5	39.15	72.82	39.55	0.4	0.9	0.6	3	3	2.2
		VILI				53	39.72	66.99	80.86	0.4	0.6	1	3	1	3
		VILB				67.14	91.49	96.76	129.33	1	1.5	1.5	3	2	3
		VILE				93	22.12	25.53	34.51	0.22	0.12	0.15	3	5	2
24	14/03/1979	VILC	7.0	4	115.00	31.04	155.00	184.46	371.20	2.2	4.2	6	1	2	3
		VILD				5.12	14.66	17.97	16.67	1.2	1.7	1.4	3	3	3
		VILB				14.16	60.42	124.66	132.51	4.2	8	10	3	1.8	2
85	11/10/1975	VILC	5.5	33	45.53	14.36	115.69	85.28	342.82	3.5	4.2	14	4	1.2	1.2
		VILB				12.88	80.1	81.97	108.71	4.2	3	5.3	3	2	1.2
116	09/08/2000	VILC	7.0	56	56.72	104.04	110.18	163.34	262.02	1	3	3	3	1.2	1.2
		VILD				43.91	81.73	136.07	146.72	0.05	0.22	0.08	3	3	3
		VILB				50.5	75.2	93.39	95.8	0.16	0.28	0.22	2	2	2
77	15/11/1975	VILC	5.9	5	27.48	17.42	72.91	73.30	209.30	1.8	3	14	3	1.5	1.2
		VILD				18.4	28.32	41.32	39.37	2.3	7.2	3.6	4	1.2	3
		VILB				15.86	59.32	83.61	84.87	2.3	2.3	5	4	2	1.2
37	21/06/1999	VILC	6.0	54	51.20	96.82	85.86	108.51	147.08	0.7	2.8	2	1.2	1.2	1.2
		VILT				86.65	79.52	88.53	116.4	0.7	2.3	1.8	3	1.2	1
		VILD				47.61	42.17	46.31	48.07	0.28	0.9	0.8	4	1.2	1.2
		VILI				45.79	34.01	50.77	52.69	0.3	0.82	0.82	1.5	1.2	1
		VILF				58.88	63.22	88.314	80.1	0.7	1.6	1.8	1.8	1.8	1.2
		VILB				54.4	74.52	80.94	82.39	0.65	1.6	1.3	1.2	1.2	1.2
		VILE				91	22.77	29.55	30.34	0.35	1.2	0.4	3	4	1.8
32	10/12/1994	VILT	6.3	20	68.75	75.5	44.40	52.00	88.00	1.2	0.3	1.3	1.2	3	1.2
		VILP				75	39.10	61.14	79.81	1.2	0.6	1.2	1.2	3	2.2
		VILD				41.5	33.22	23.92	47.92	0.5	0.28	0.6	2	1.2	1.2
		VILI				29.47	27.28	38.28	45.94	0.23	0.5	0.58	1	1.2	1.2

TESIS CON
 FALTA DE ORIGEN

Tabla 7. Resultados de Espectros de Fourier

No.	FECHA	ESTACIÓN	MAGNITUD	PROF. km	DIST. km	DURACIÓN (s)	A_{max} (cm/s ²)			AMPLITUD			FRECUENCIA (Hz)		
							V	L	T	V	L	T	V	L	T
		VILF				69 52	45 94	48 81	59 34	0.35	0.6	0.9	3	2	12
		VILB				69 93	47 85	52 64	58 38	0.4	0.5	0.8	6	2	12
		VILE				35 31	35 31	17 37	23 53	0.32	0.48	0.5	1.8	1.2	12
19	15/07/1996	VILT	6.0	20	126 70	65 63	14 27	32 33	56 25	0.2	0.5	1.3	3	12	12
		VILP				23.4	21 77	40 88	43 43	0.4	1	0.8	3	2	2
		VILF				54.63	17 23	20 1	27 25	0.2	0.32	0.8	2	1.8	12
		VILB				51 37	14 29	27 03	28 86	0.2	0.3	0.6	2	12	12
82	29/04/1999	VILC	4.0	9	5 49	25 85	2 87	5 27	11 84	0.02	0.05	0.15	10	4	6
		VILT				15 56	2 73	3 8	9 25	0.03	0.07	0.14	8	8	5
		VILI				14 74	2 87	4 87	5 9	0.02	0.06	0.1	10	10	10
		VILB				24 93	2 44	3 82	5 75	0.02	0.03	0.06	10	6	3
3	15/06/1999	VILC	7.0	69	510 218	59 21	2 68	8 63	11 68	0.12	0.3	0.5	1.8	1.8	1.8
		VILT				53.3	2 4	6 59	9 58	0.08	0.28	0.5	1.8	1.8	1.8
		VILB				23 55	1 88	3 67	5 26	0.14	0.22	0.5	1.8	1.5	12
5	14/09/1995	VILT	7.5	21	411 025	20 78	1 44	2 39	6 70	0.1	0.28	0.7	1.8	1.8	1.5
		VILP				21 62	2 02	3 13	5 74	0.12	0.6	0.28	2	1.5	1.8

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Tabla 8. Resultados de las Funciones de Transferencia

No.	FECHA	FUNCIÓN	AMPLITUD			FRECUENCIA		
			V	L	T	V	L	T
45	22-05-97	VILC/VILB	2.2	4.5	12	1.5	2.2	1.6
		VILT/VILB	1.3	1.8	4	1.5	2.2	1.6
		VILD/VILB	1.5	1	1.2	1.5	2.2	1.6
		VILI/VILB	1	0.7	0.8	1.5	2.2	1.6
		VILE/VILB	0.4	0.2	0.2	2	2	2
		VILC/VILI	8	7	15	2.8	1.8	1.8
		VILT/VILI	2.8	3	5	2.8	1.8	1.8
		VILD/VILI	2.2	2.2	1.6	2.8	3	1.8
		VILB/VILI	3	3	2.2	1.8	2	1.2
		VILE/VILI	1	0.3	0.2	2.2	2.2	1.2
		VILC/VILD	6	6	18	3	2	2.8
		VILT/VILD	2.5	3	6	3	2	2.8
		VILI/VILD	1	1.2	2	3	2	2.8
		VILB/VILD	2	2	3	3	2	2.8
VILE/VILD	1	0.2	0.25	4	2	2		
VILC/VILE	16	90	160	1.2	1.6	3		
VILT/VILE	7	40	50	1.2	1.6	3		
VILI/VILE	5	15	20	1.2	1.6	3		
VILD/VILE	7	16	10	1.2	1.6	3		
VILB/VILE	5	28	35	1.2	1.6	3		
85	11-10-75	VILC/VILB	3.2	5	4	1.2	1.5	2.2
116	08-09-00	VILC/VILB	1.6	1.2	1.2	1.2	2	1.2
		VILT/VILB	1.2	1.2	1	2	2	1
		VILD/VILB	2.5	1.6	0.8	1.2	2	1.2
		VILC/VILD	2.2	2.8	7	1.5	1.2	1.2
VILT/VILD	2	5	11	1.2	1.2	1.2		
VILB/VILD	12	12	12	1.2	1.2	1.2		
77	15-11-75	VILC/VILB	2.5	2.5	4.5	1.2	1.2	2
		VILD/VILB	4	17	3.2	1.2	1.2	2
		VILC/VILD	1.2	1	18	1.2	1.5	1.2
		VILB/VILD	0.6	0.5	7	1.2	1.5	1.2
37	21-06-99	VILC/VILB	1.5	0.9	1.5	1.5	3	1.2
		VILT/VILB	0.6	0.8	1.2	1.5	3	1.2
		VILD/VILB	1.2	0.5	0.5	1.5	3	1.2
		VILI/VILB	1.5	0.9	0.8	1.5	3	1.2
		VILE/VILB	0.5	0.3	0.4	1.5	3	1.2
		VILC/VILD	3	8	5	3	3	3
		VILT/VILD	2.2	8	3.5	3	3	3
		VILI/VILD	1.2	1.8	2	3	3	3
		VILB/VILD	2	2.5	3	3	3	3
		VILE/VILD	1.5	0.6	0.8	1.2	3	3
		VILC/VILI	3	7	4	2.8	2.2	1.8
		VILT/VILI	2	2	3	2.8	2.2	1.8
		VILD/VILI	1.2	0.9	1.8	2.8	2.2	1.8
		VILB/VILI	4	1.8	2.8	2.8	2.2	1.8
VILE/VILI	1.2	0.5	1.2	2.8	2.2	1.8		

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Tabla 8. Resultados de las Funciones de Transferencia

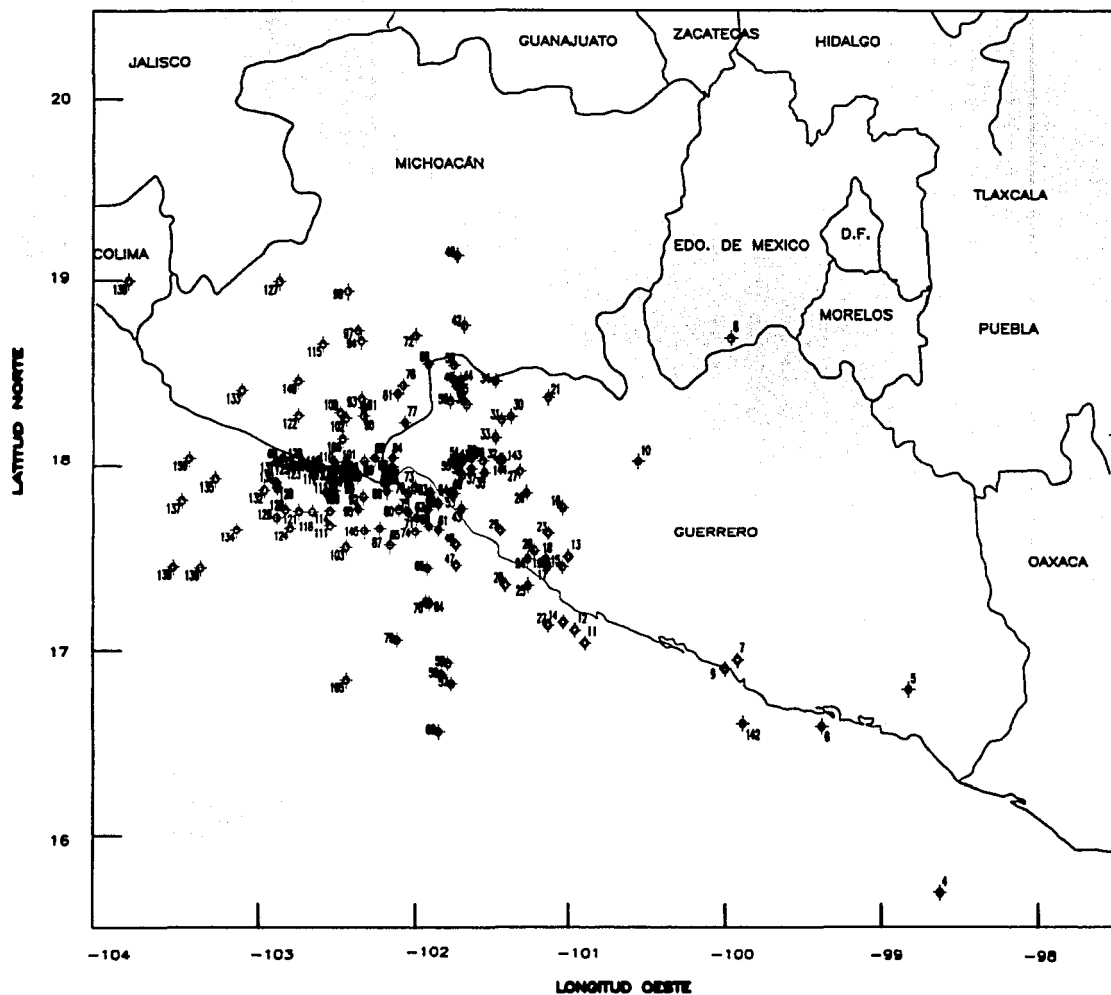
No.	FECHA	FUNCIÓN	AMPLITUD			FRECUENCIA		
			V	L	T	V	L	T
		VILC/VILE	5	35	16	1.5	2	3
		VILT/VILE	4	30	12	1.5	2	3
		VILD/VILE	3.5	20	4	1.5	2	3
		VILI/VILE	5	25	7	1.5	2	3
		VILB/VILE	6	18	10	1.5	2	3
32	10-12-94	VILP/VILB	7	1	3.5	1.2	1.2	2
		VILT/VILB	4	1.8	2.2	1.2	1.2	2
		VILD/VILB	3.8	0.6	1	1.2	1.2	2
		VILI/VILB	1	1	1	1.2	1.2	3
		VILE/VILB	1	0.6	1.5	1.2	2	2
		VILP/VILI	10	2	9	1.2	3	2
		VILT/VILI	6	1.5	7	1.2	3	1.2
		VILD/VILI	4	1	2.5	1.2	1.8	1.2
		VILB/VILI	4	2.8	4	3	2	1.2
		VILE/VILI	4	1.3	2.8	1.2	1.8	2
		VILP/VILD	2.8	4	5	2	1	1.2
		VILT/VILD	2	2	5	2	1	1.2
		VILI/VILD	1.2	3	2	2	1	3
		VILB/VILD	1.8	4	3	2	1	1.2
		VILE/VILD	0.8	1.5	1.5	1.2	1	1.2
		VILP/VILE	7	3	5	1.2	2.5	1.2
		VILT/VILE	4	3	6	1.2	2	1.2
		VILD/VILE	2.5	2	2.2	1.2	2	1.2
		VILI/VILE	3.5	5	5	1.2	2	1.2
		VILB/VILE	3.2	3.2	3.2	1.2	2	1.2
19	15-07-96	VILP/VILB	2.6	3	2.6	3	2	2
		VILT/VILB	1.5	1.8	2.8	3	2	2
		VILD/VILB	1.8	1.8	1.6	3	2	2
		VILI/VILB	2.5	2.5	2.5	3	2	2
		VILP/VILI	5	8	6	3	1.2	1.2
		VILT/VILI	2.8	3.2	8	3	1.2	1.2
		VILD/VILI	3.2	3.5	3	3	1.2	1.2
		VILB/VILI	2.2	2.2	2.2	3	1.2	1.2
		VILP/VILD	2.8	4.2	2.6	3	1.2	1.2
		VILT/VILD	1.8	1.6	3.2	3	1.2	1.2
		VILI/VILD	1.6	1.8	1.8	3	1.2	1.2
		VILB/VILD	1.8	1.8	1.8	3	1.2	1.2
3	15-06-99	VILC/VILB	1.4	1.7	2.2	6	1.8	1.8
		VILT/VILB	1.4	1.5	1.7	6	1.8	1.8

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FIGURAS

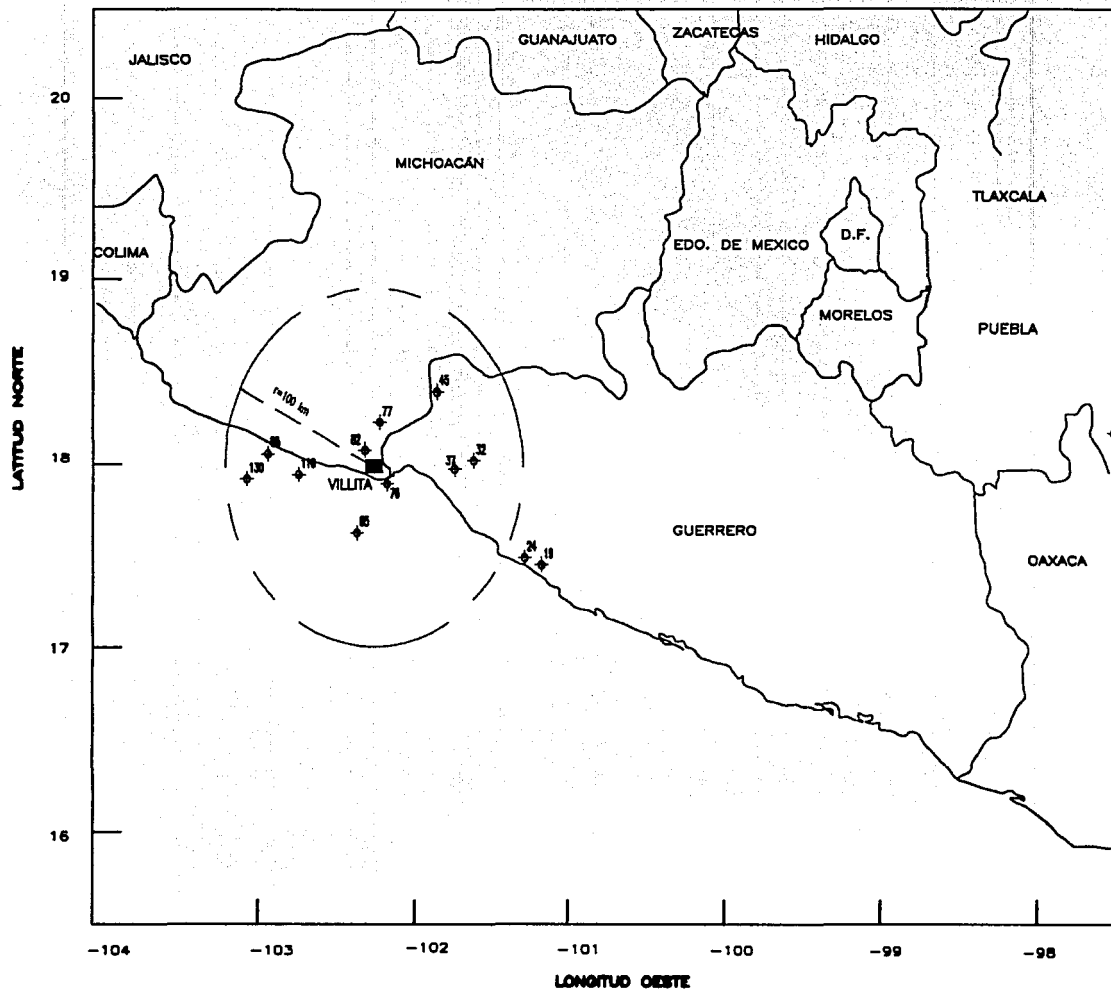
ANÁLISIS CON

ORIGEN



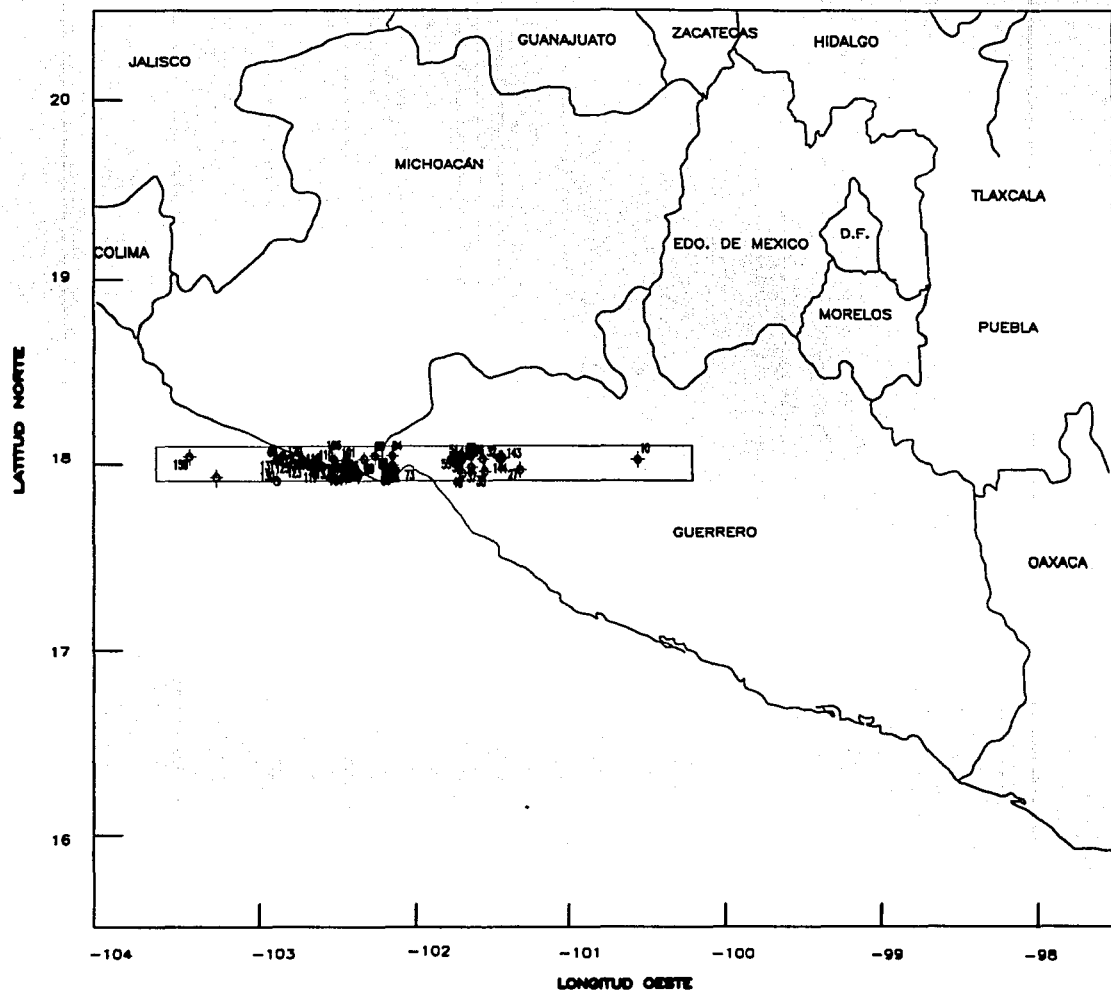
Mapa 1. Epicentros de Sismos de 1966-2000 en la presa "La Villita"

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



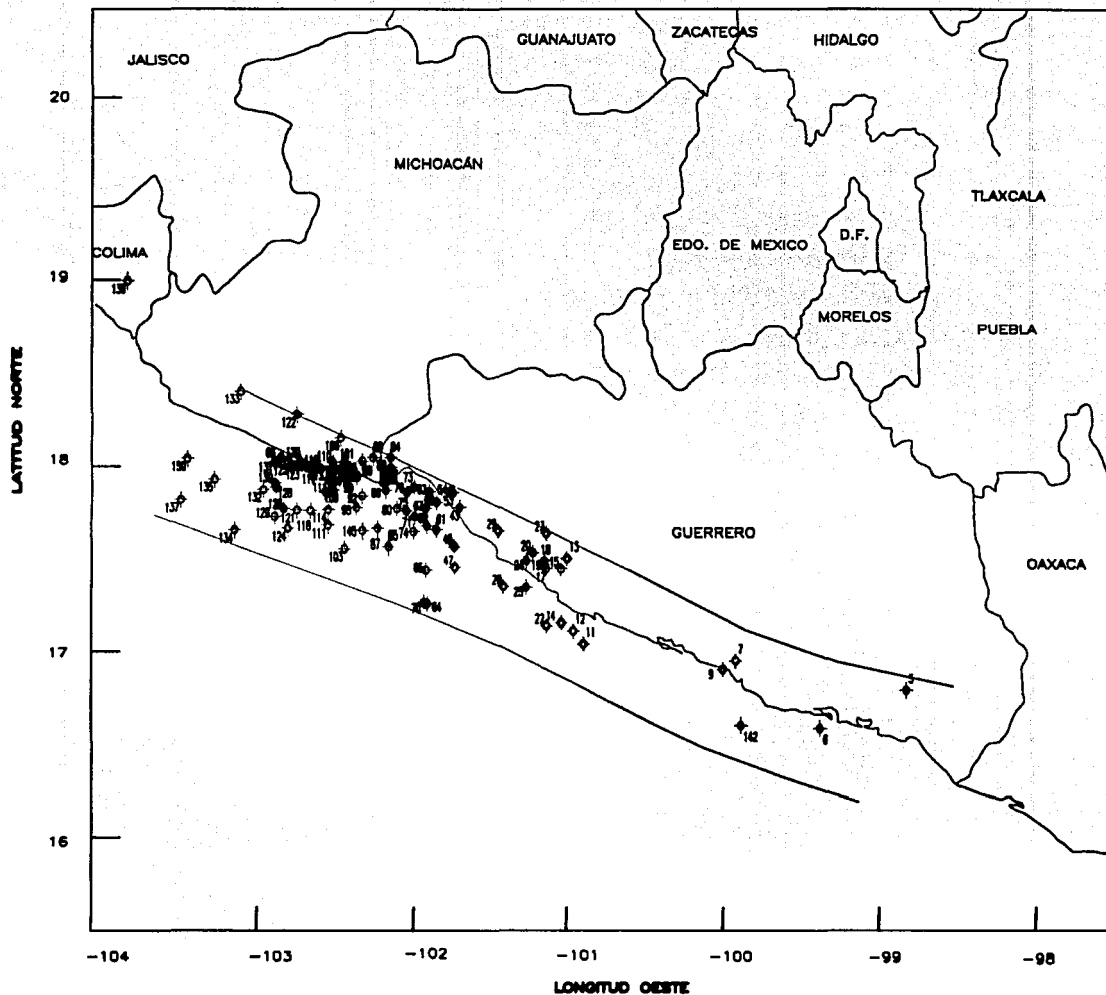
Mapa 2. Epicentros de Sismos de Mayor Magnitud

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Mapa 3. Epicentros en la Franja Latitud 18°

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Mapa 4. Epicentros Zona de Subducción

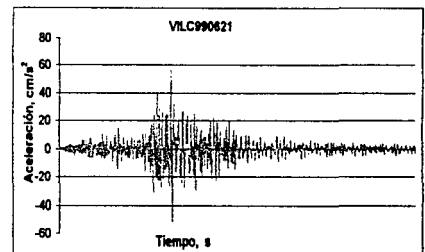
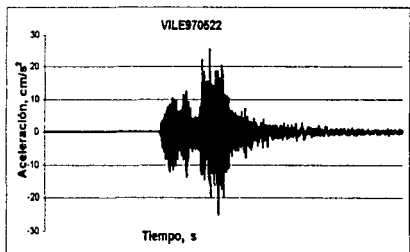
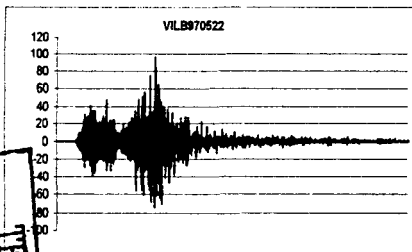
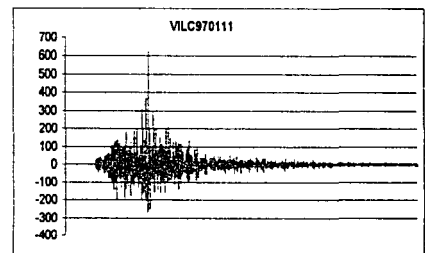
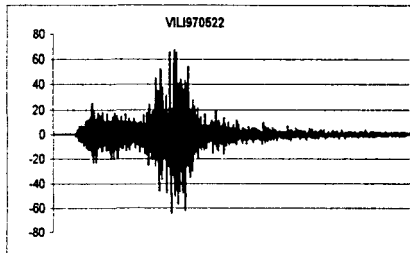
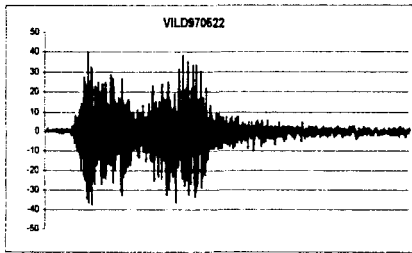
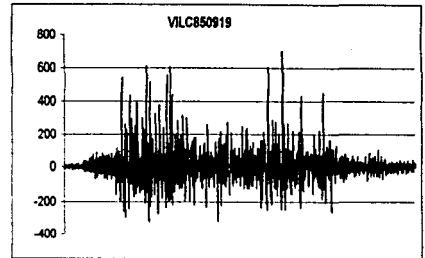
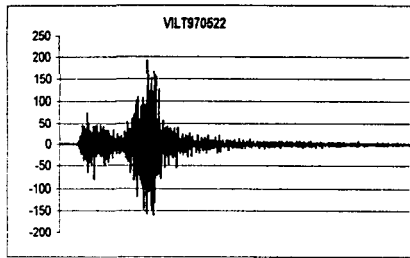
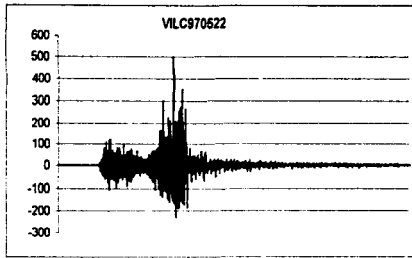


Fig. 15 Acelerogramas presa José María Morelos, "La Villita"

TESIS CON
 FALTA DE ORIGEN

ESPECTROS DE FOURIER VILLITA VILC Y VILT

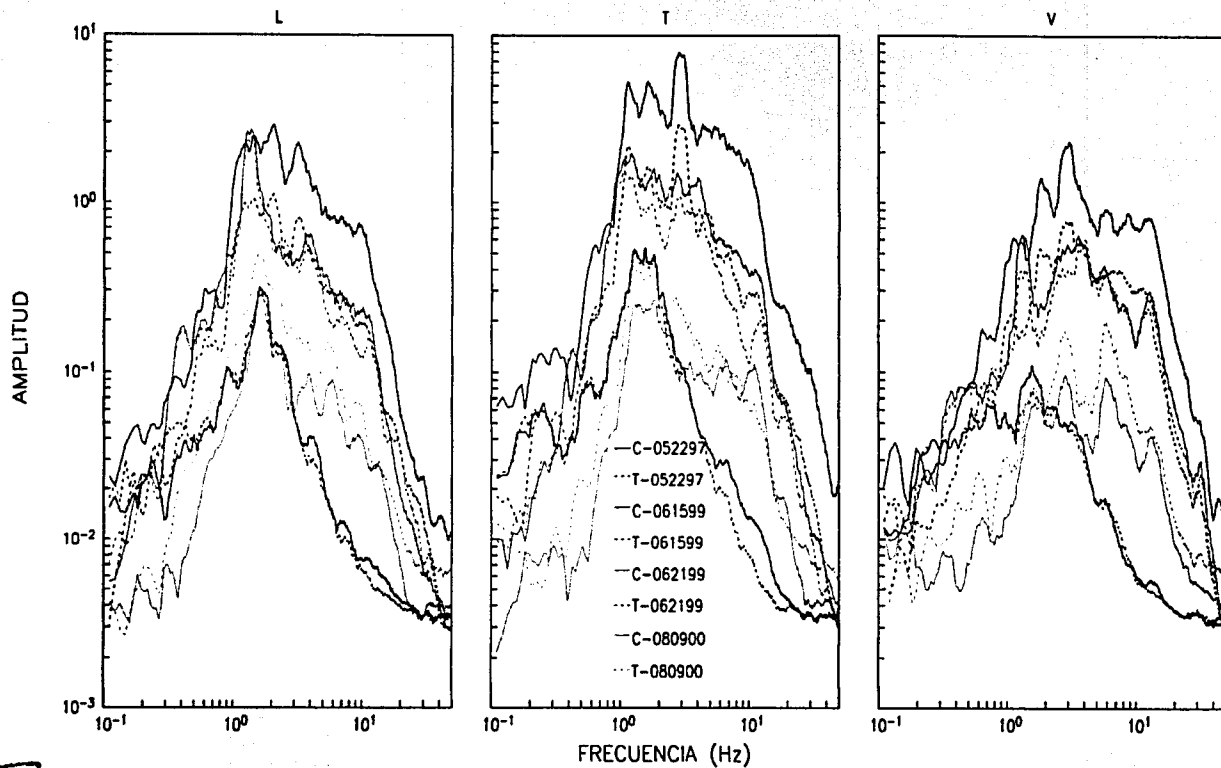


Fig.16

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN
25

ESPECTRO DE FOURIER VILLITA 190985

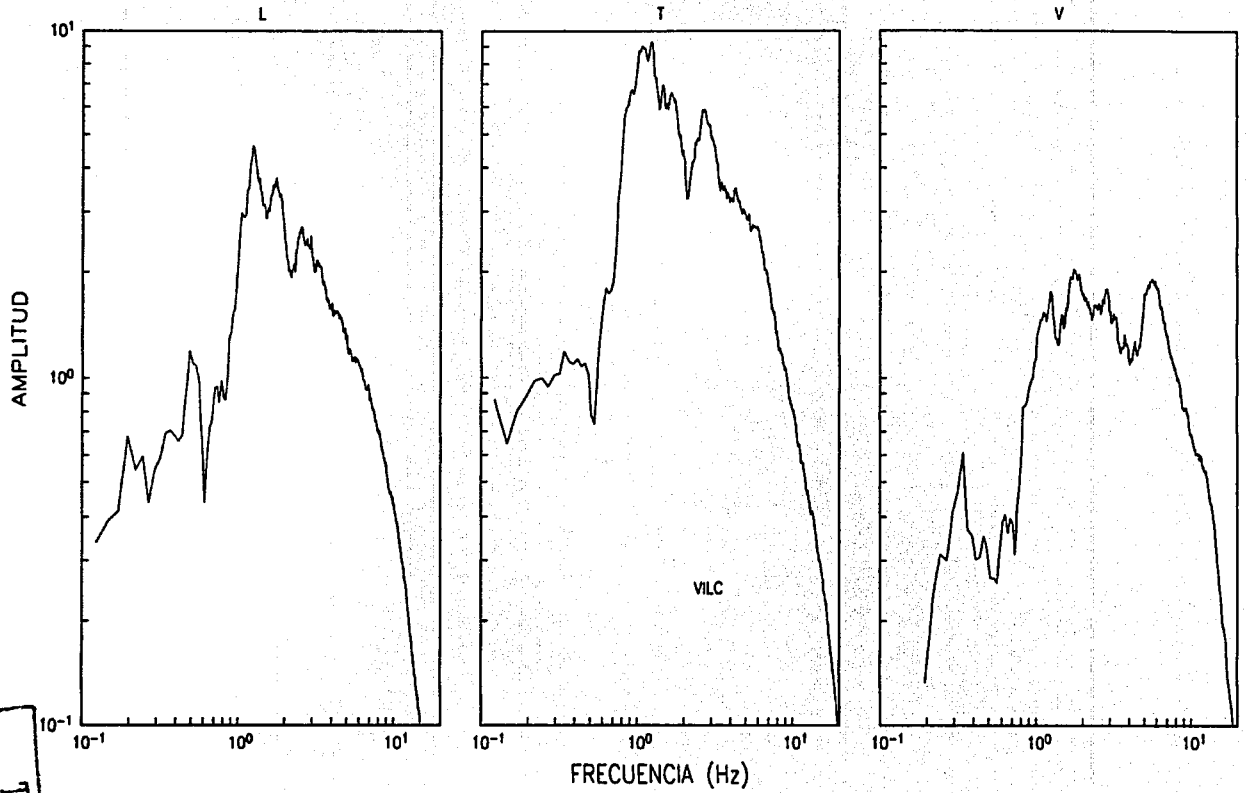


Fig.17

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

ESPECTROS DE FOURIER VILLITA 110197

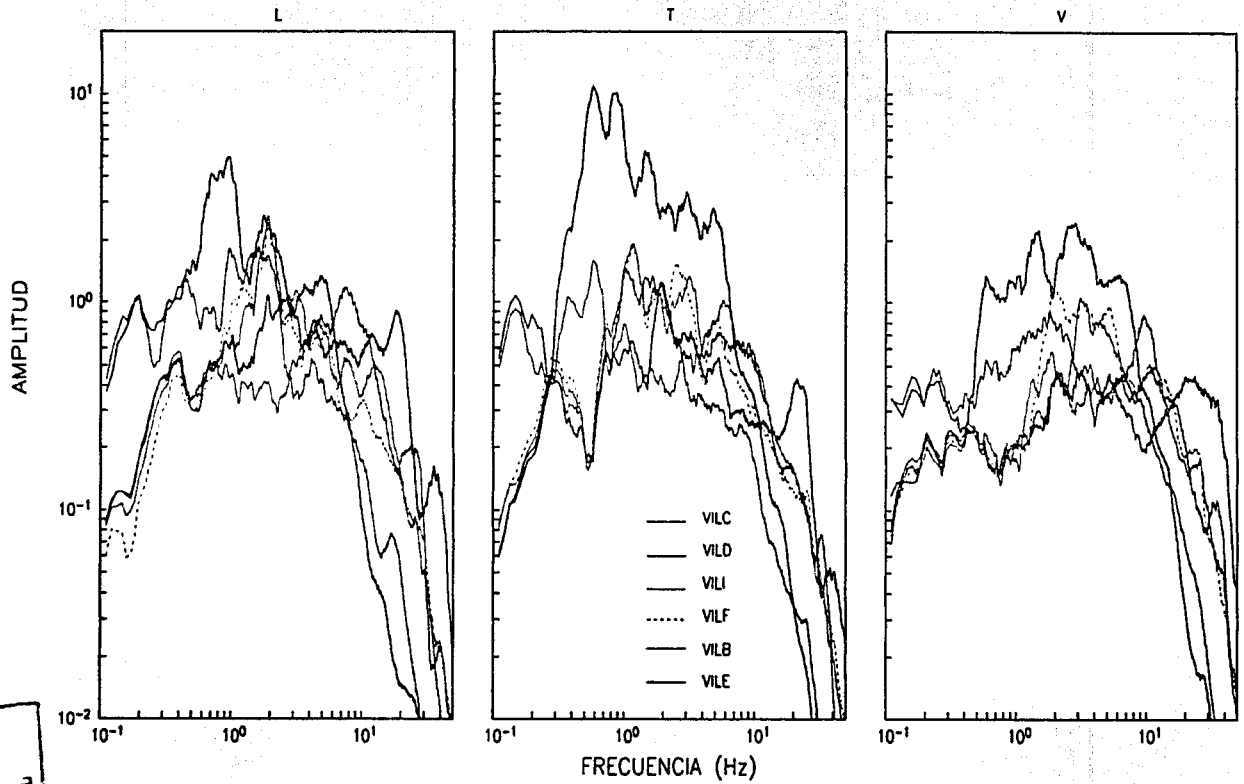


Fig.18

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN
27

ESPECTROS DE FOURIER VILLITA 220597

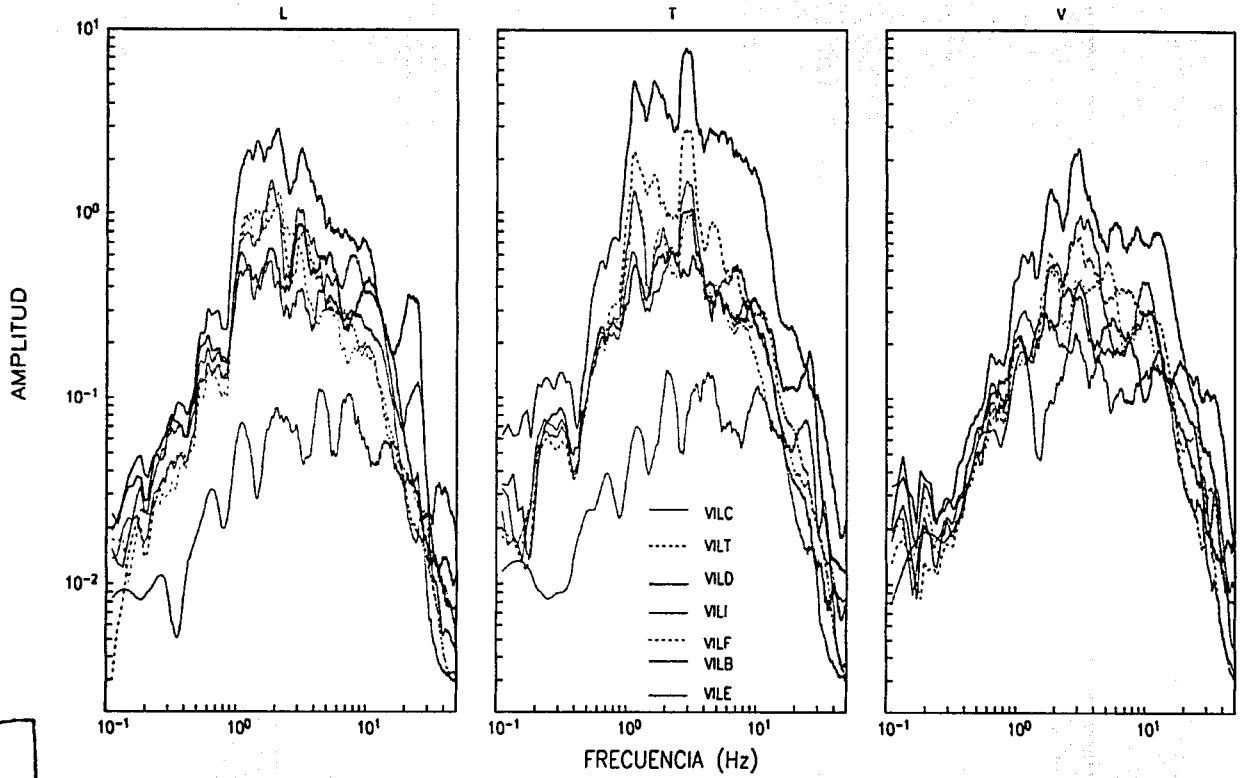


Fig.19

TESIS CON
FATA DE ORIGEN

ESPECTROS DE FOURIER VILLITA 140379

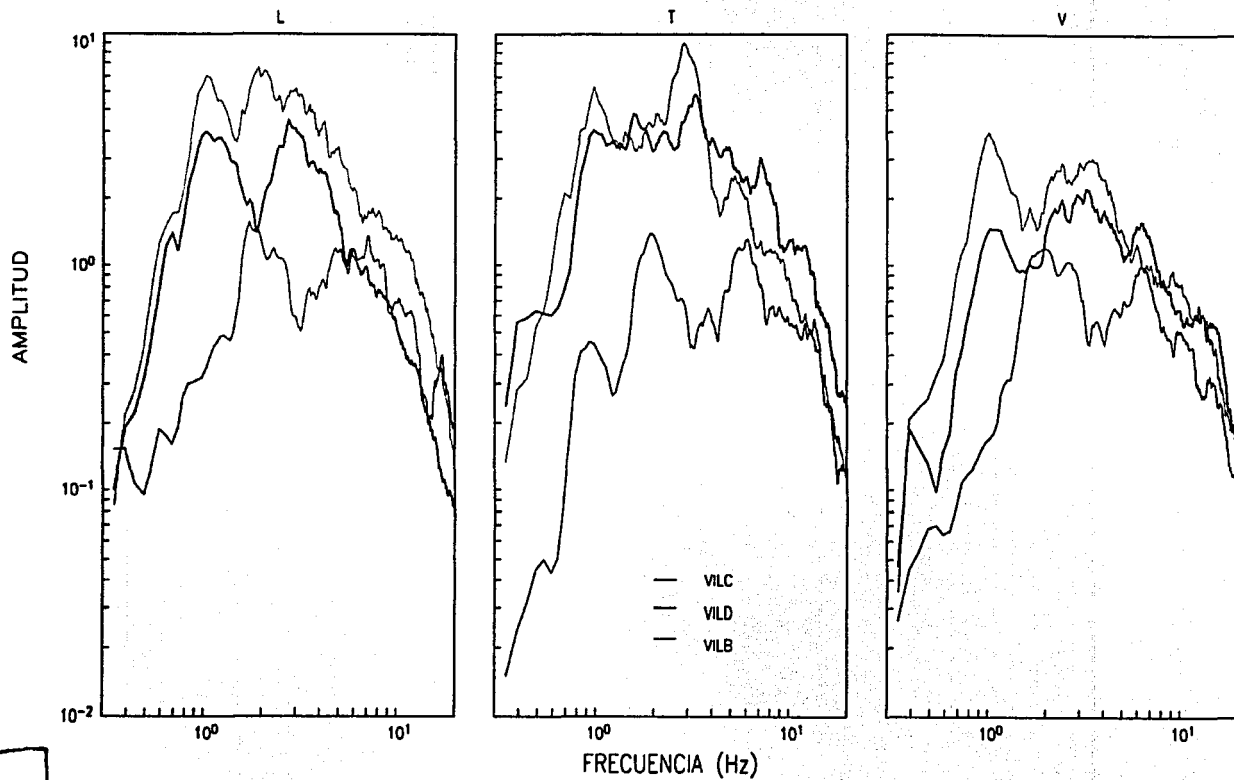


Fig. 20

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

ESPECTROS DE FOURIER VILLITA 111075

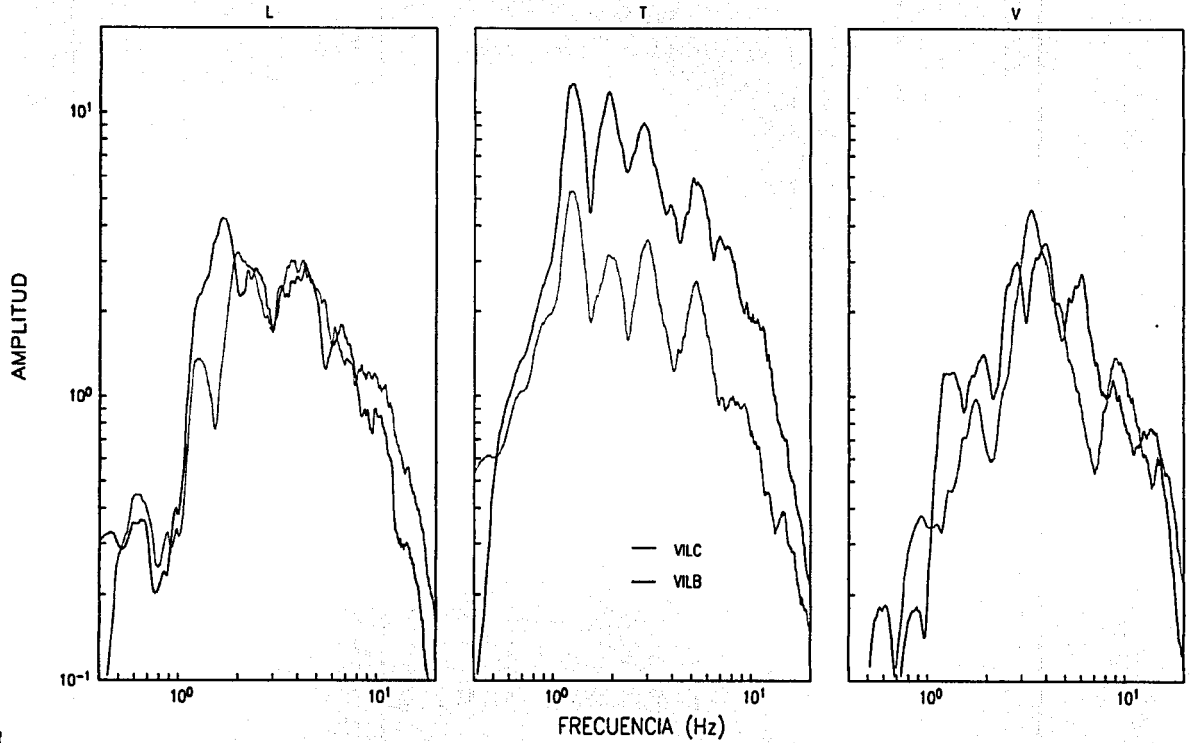


Fig. 21

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

ESPECTROS DE FOURIER VILLITA 090800

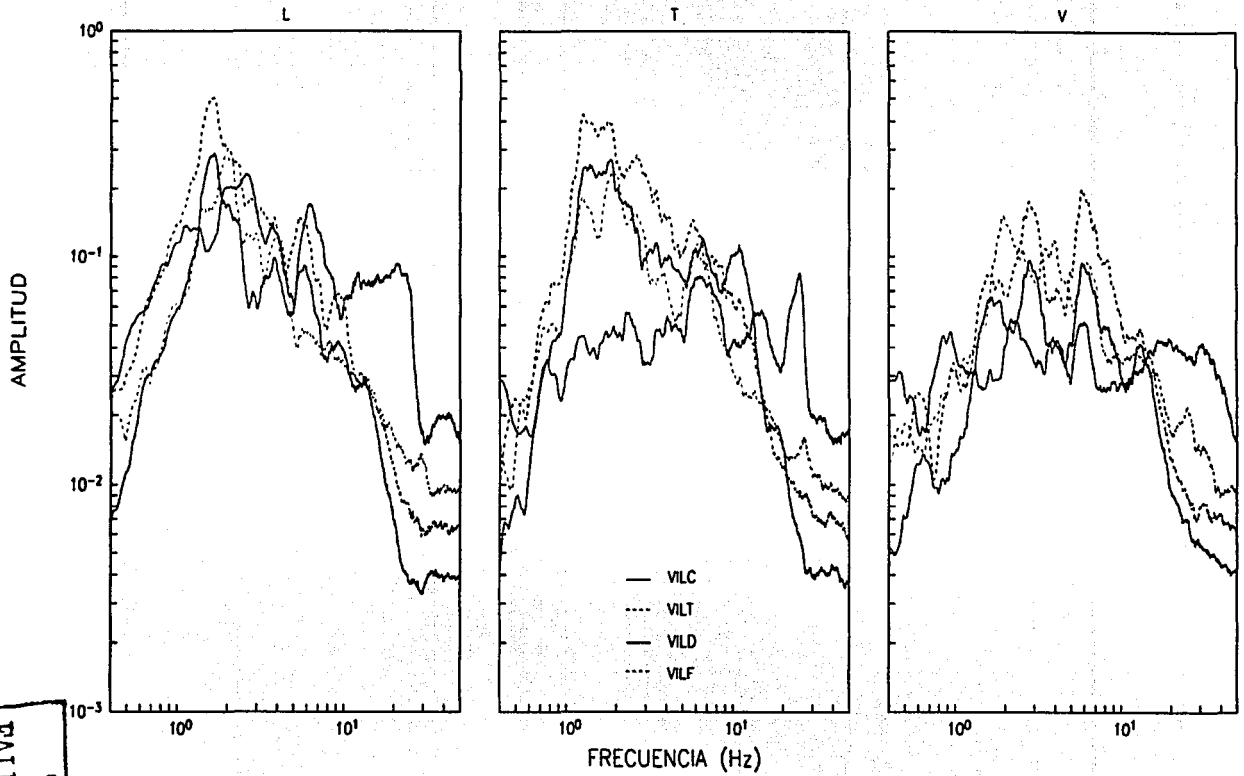


Fig. 22

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

ESPECTROS DE FOURIER VILLITA 151175

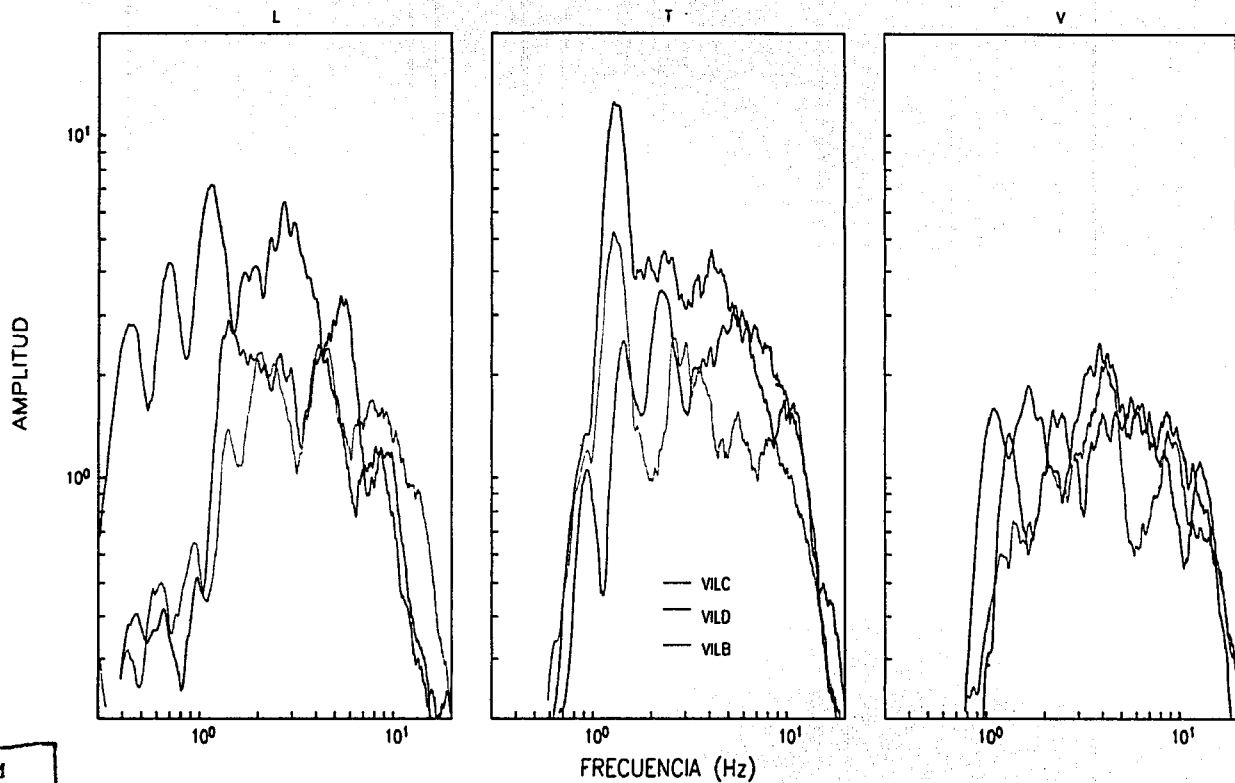


Fig.23

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ESPECTROS DE FOURIER VILLITA 210699

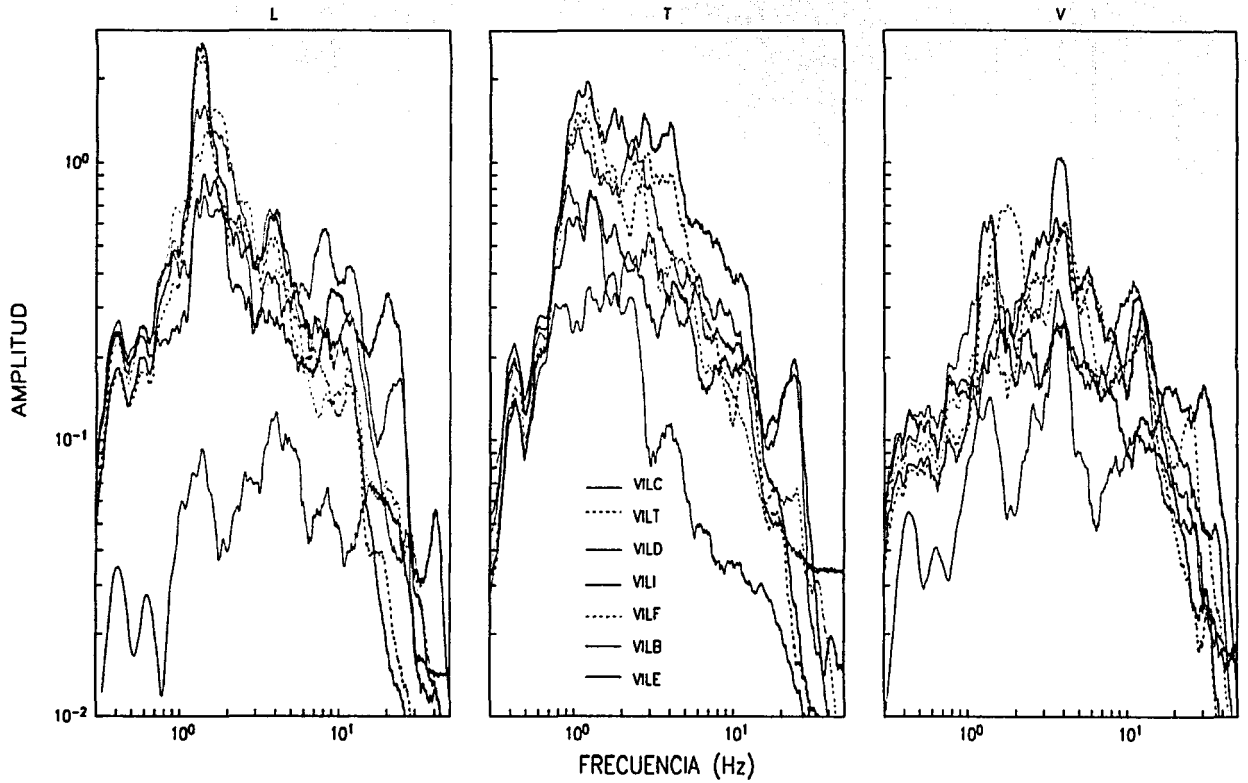


Fig. 24

ESPECTROS DE FOURIER VILLITA 101294

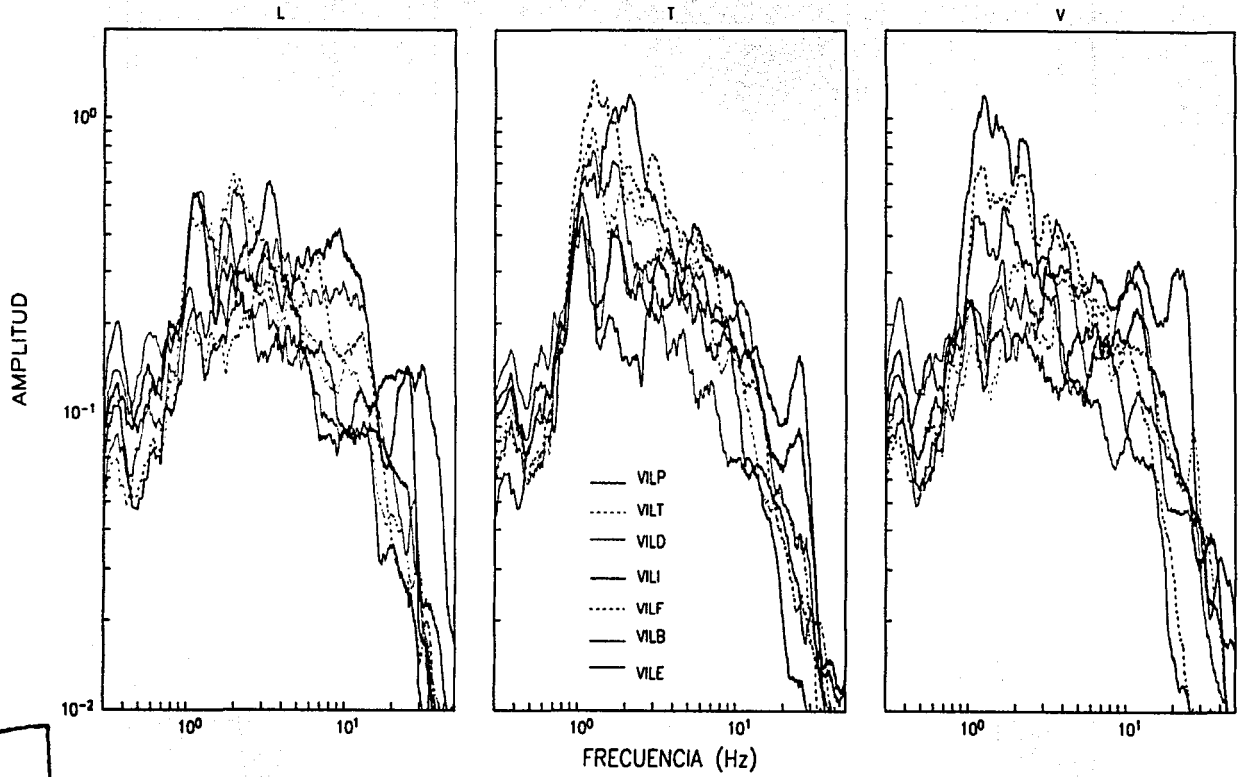


Fig. 25

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

ESPECTROS DE FOURIER VILLITA 150796

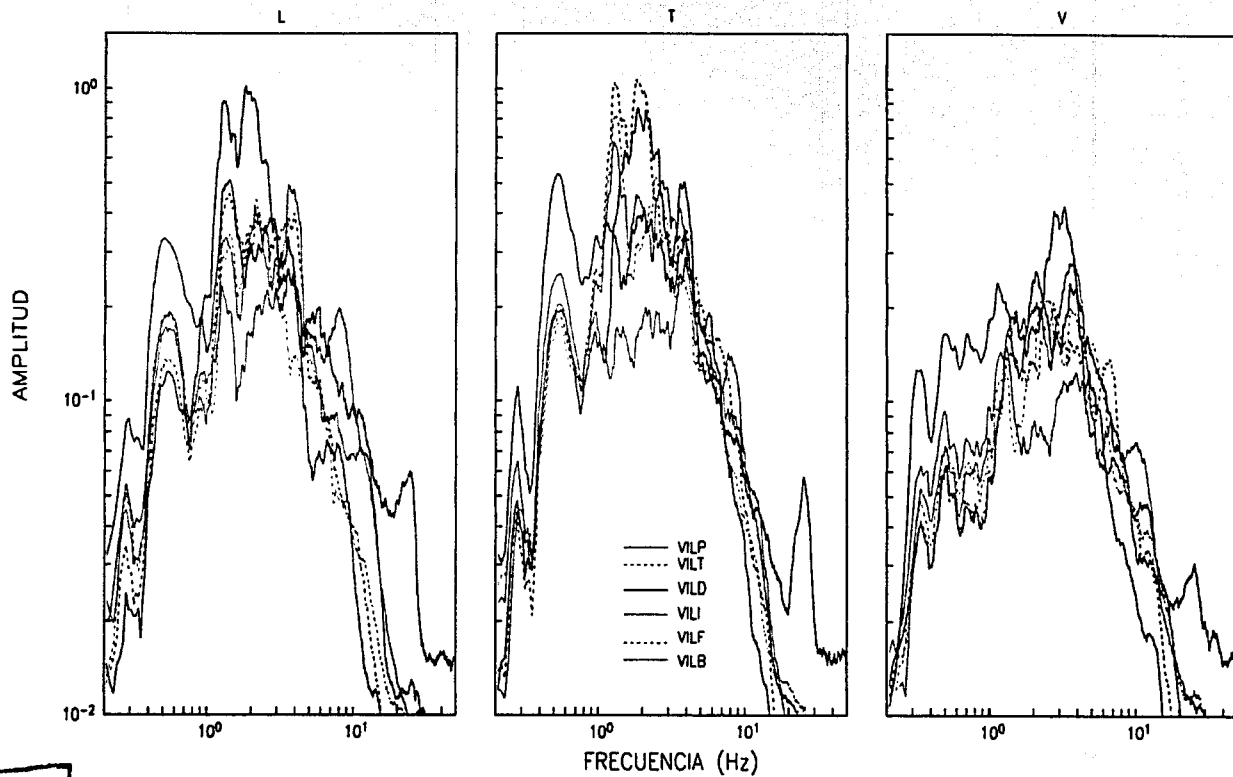


Fig. 26

TESIS CON
FALTA DE CREDITOS

ESPECTROS DE FOURIER VILLITA 290499

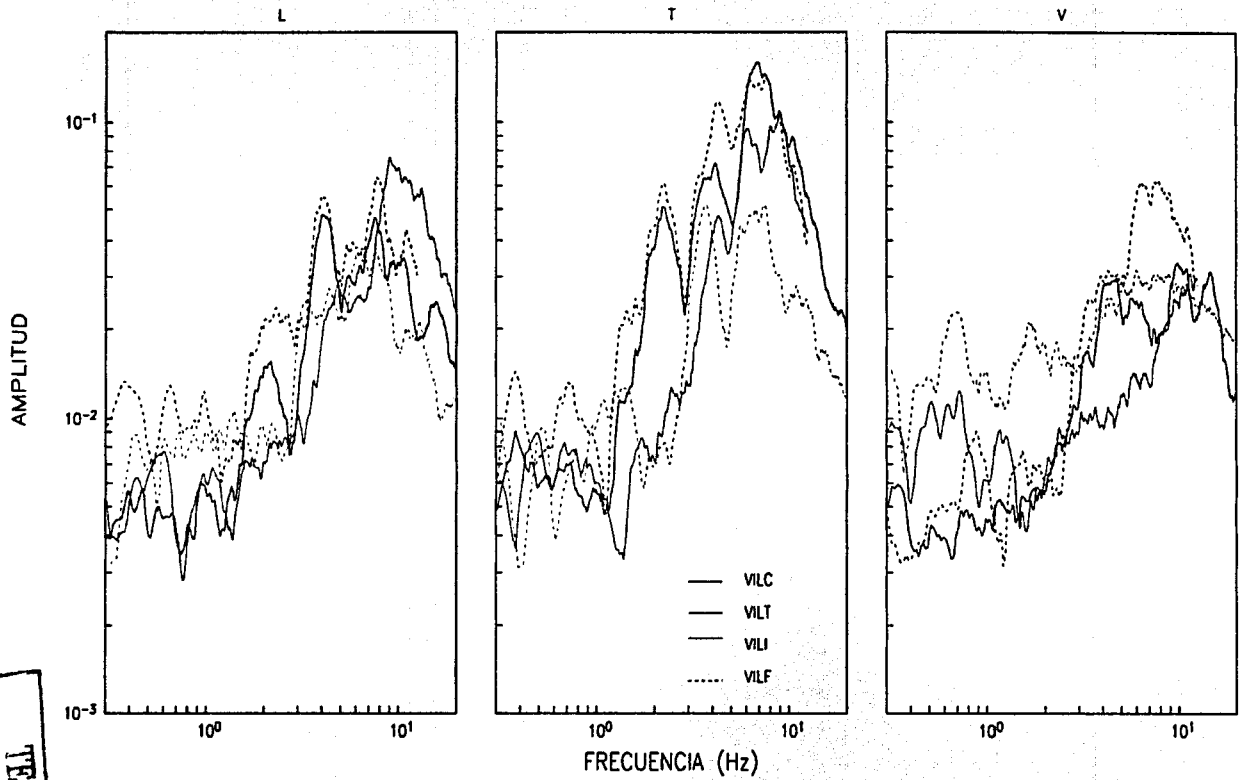


Fig. 27

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ESPECTROS DE FOURIER VILLITA 150699

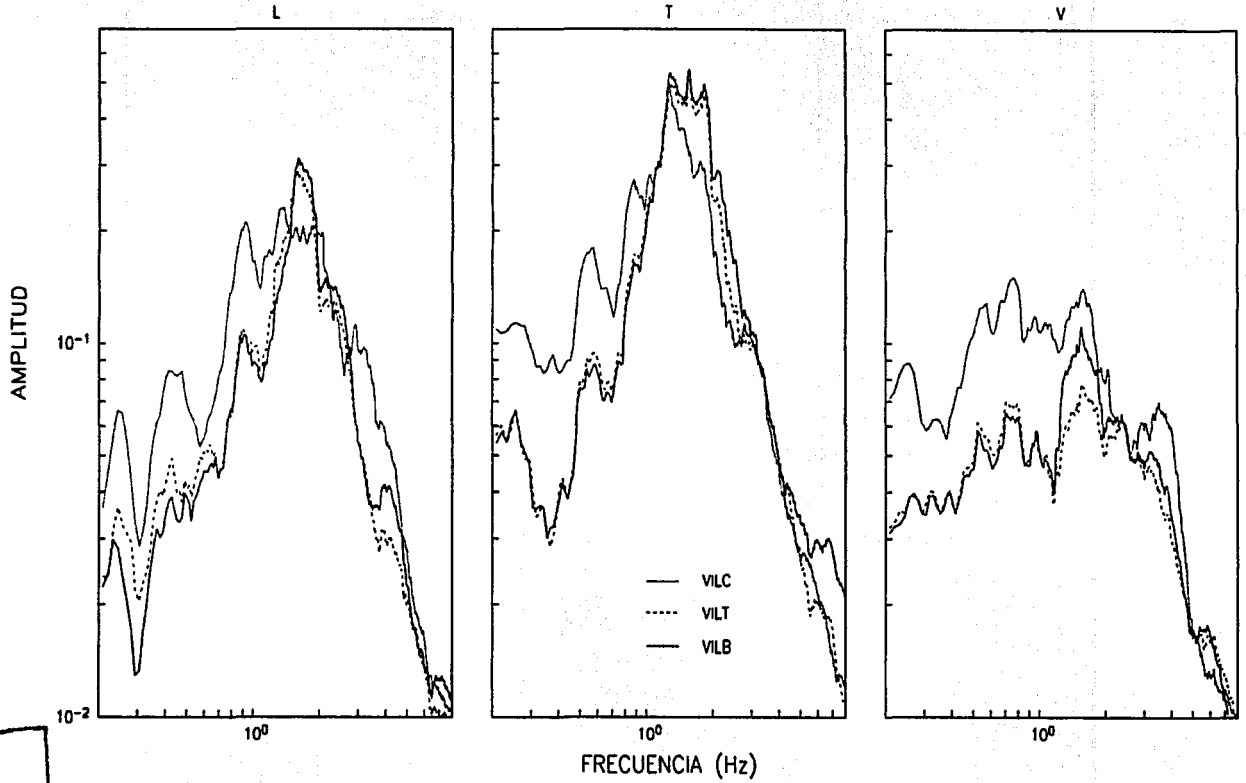


Fig. 28

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

ESPECTROS DE FOURIER VILLITA 140995

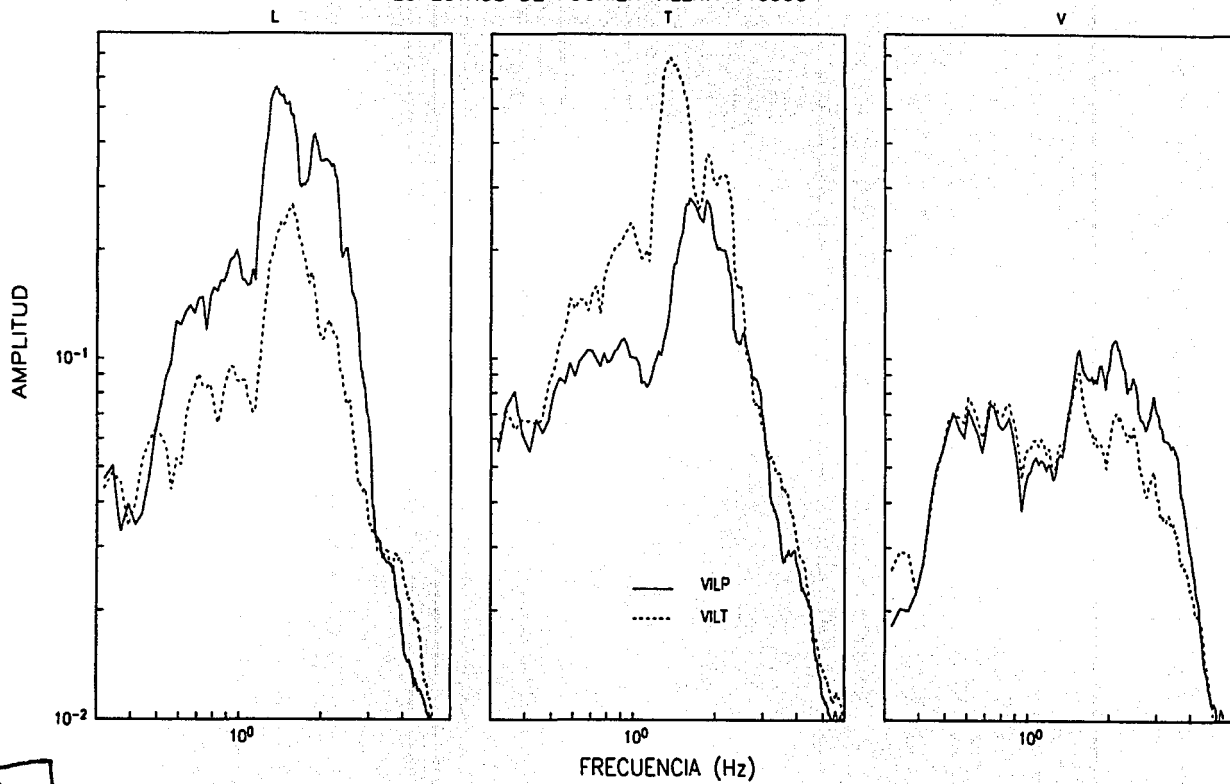


Fig. 29

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA VILLITA 220597

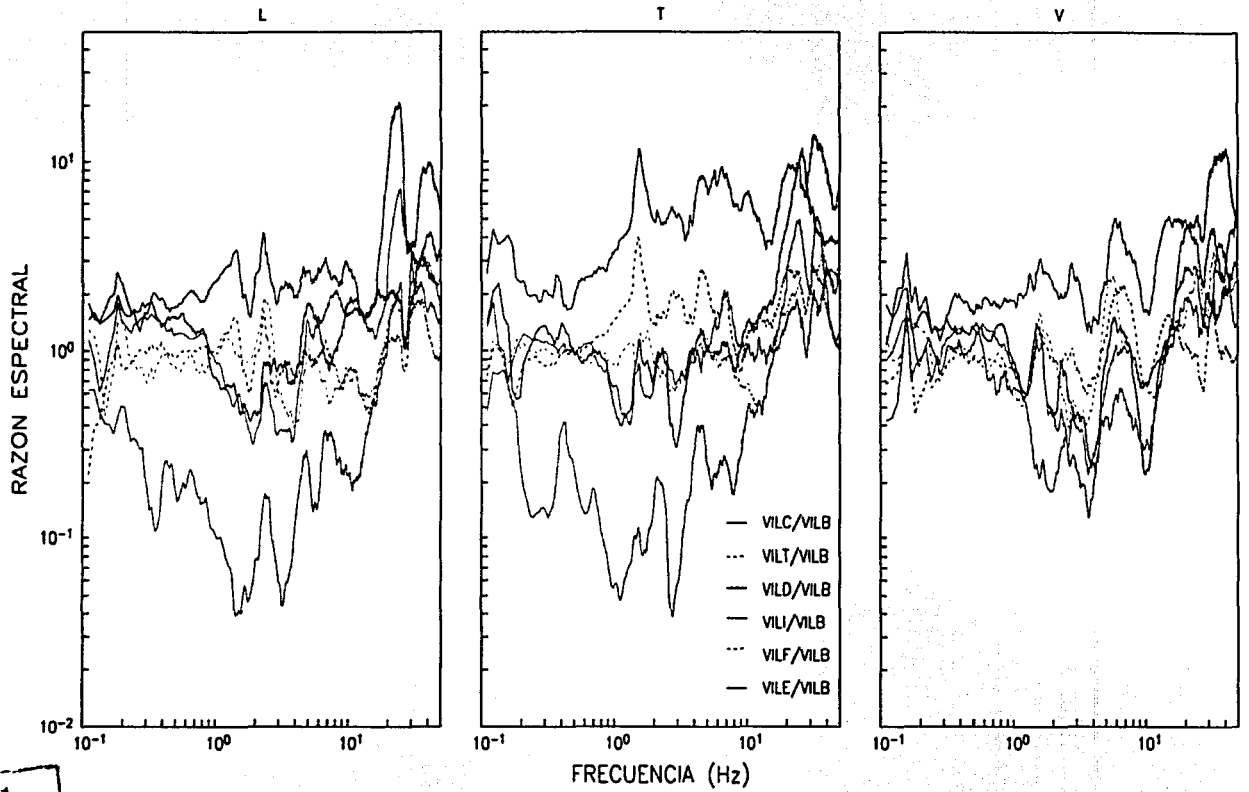


Fig. 30

TESIS CON
NOTA DE ORIGEN

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA VILLITA 220597

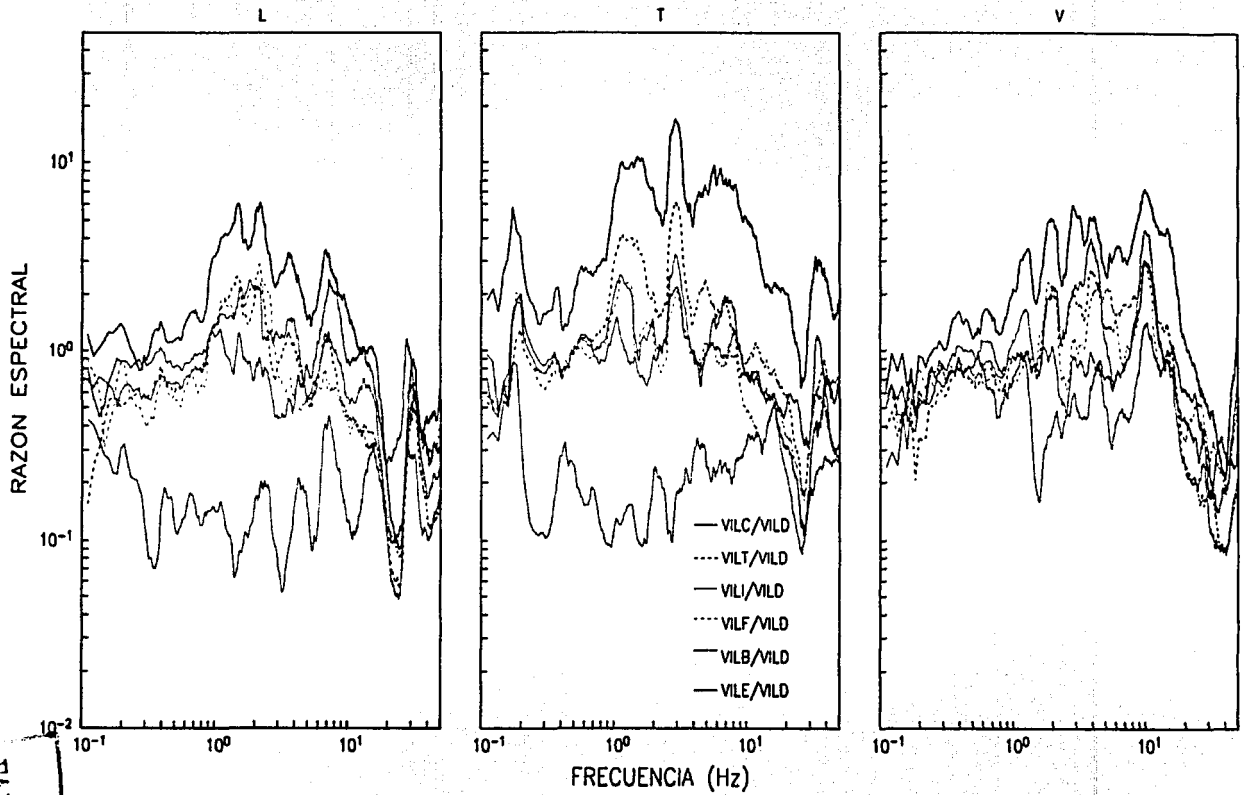


Fig. 31

TESIS CON
PARTA DE ORIGEN

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA VILLITA 220597

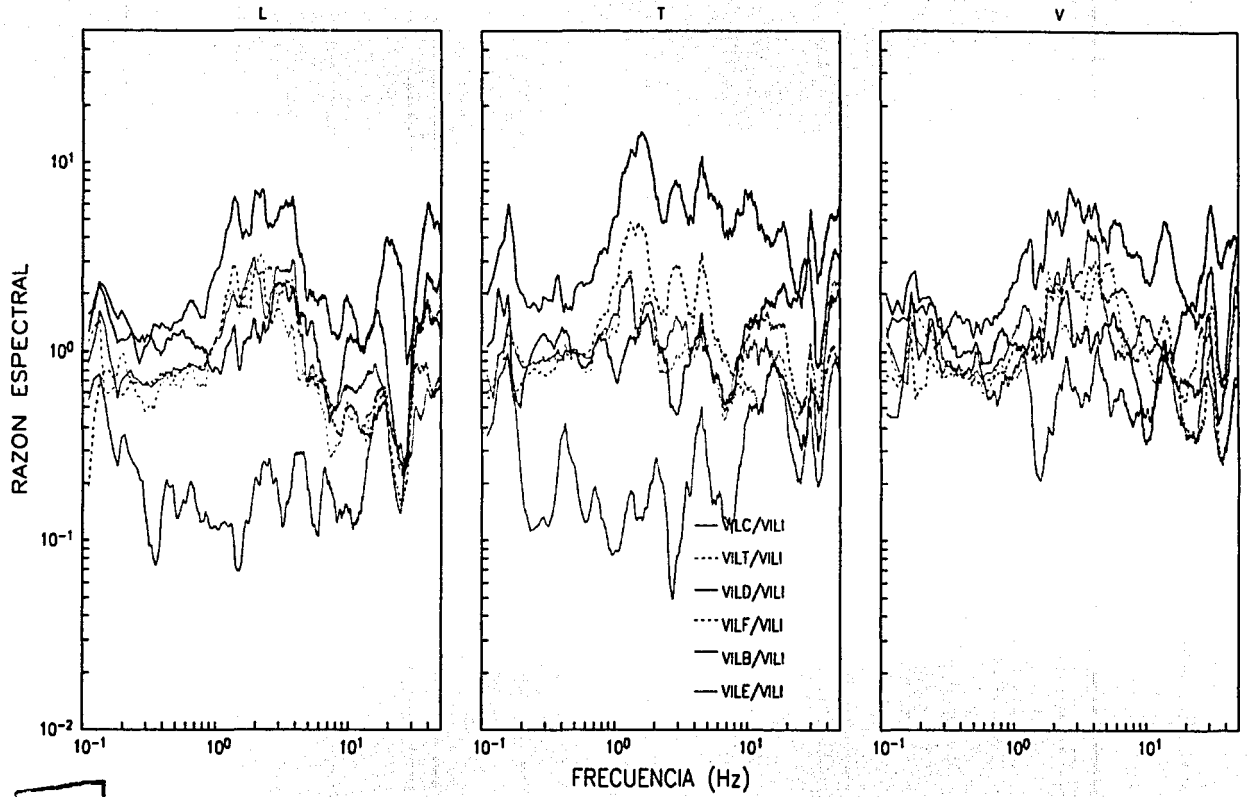


Fig. 32

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA VILLITA 220597

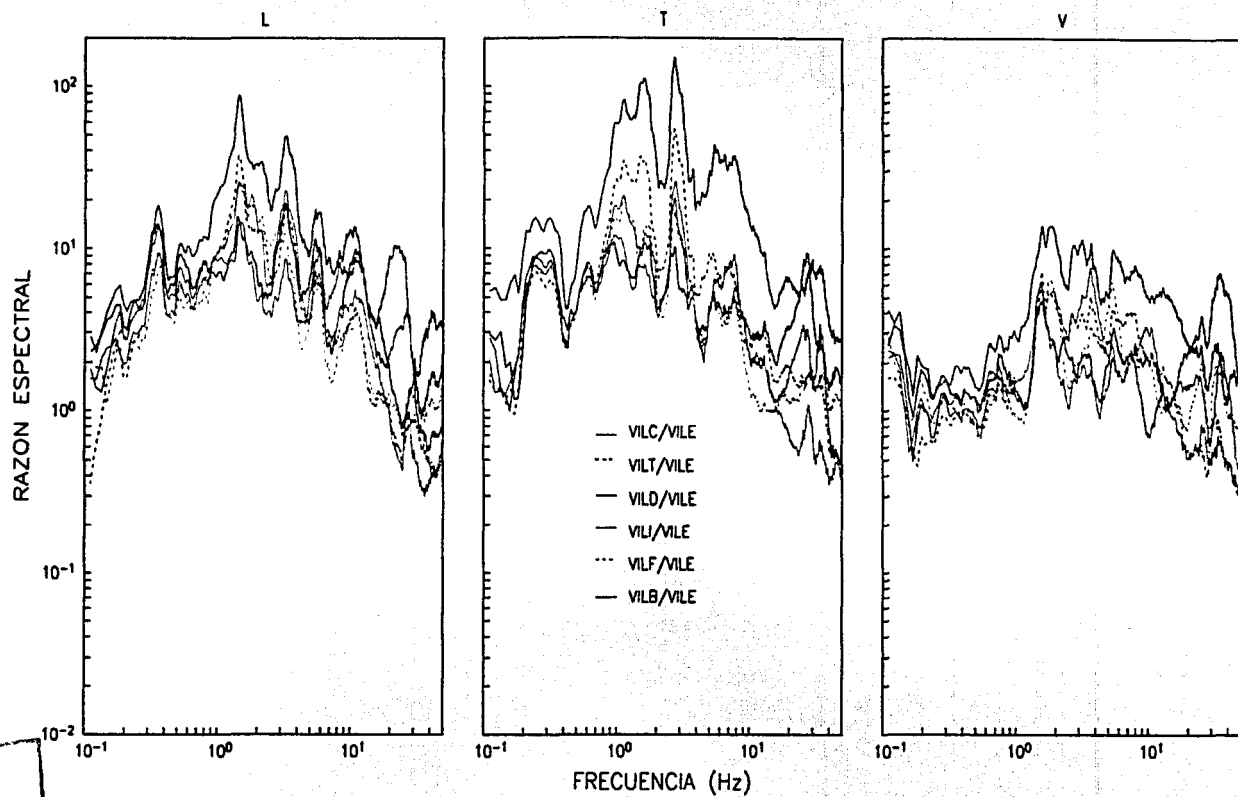


Fig. 33

TESIS CON
SALA DE ORIGEN

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA VILLITA 111075

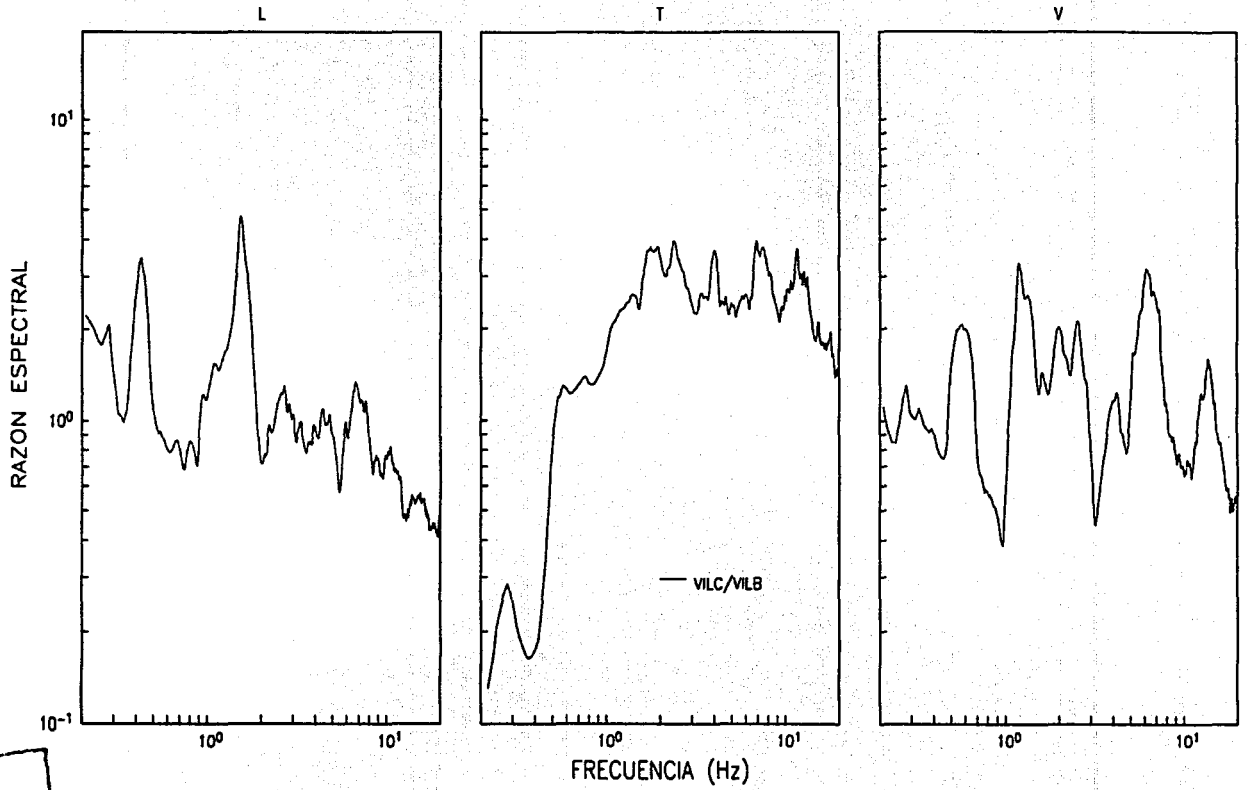


Fig. 34

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA VILLITA 080900

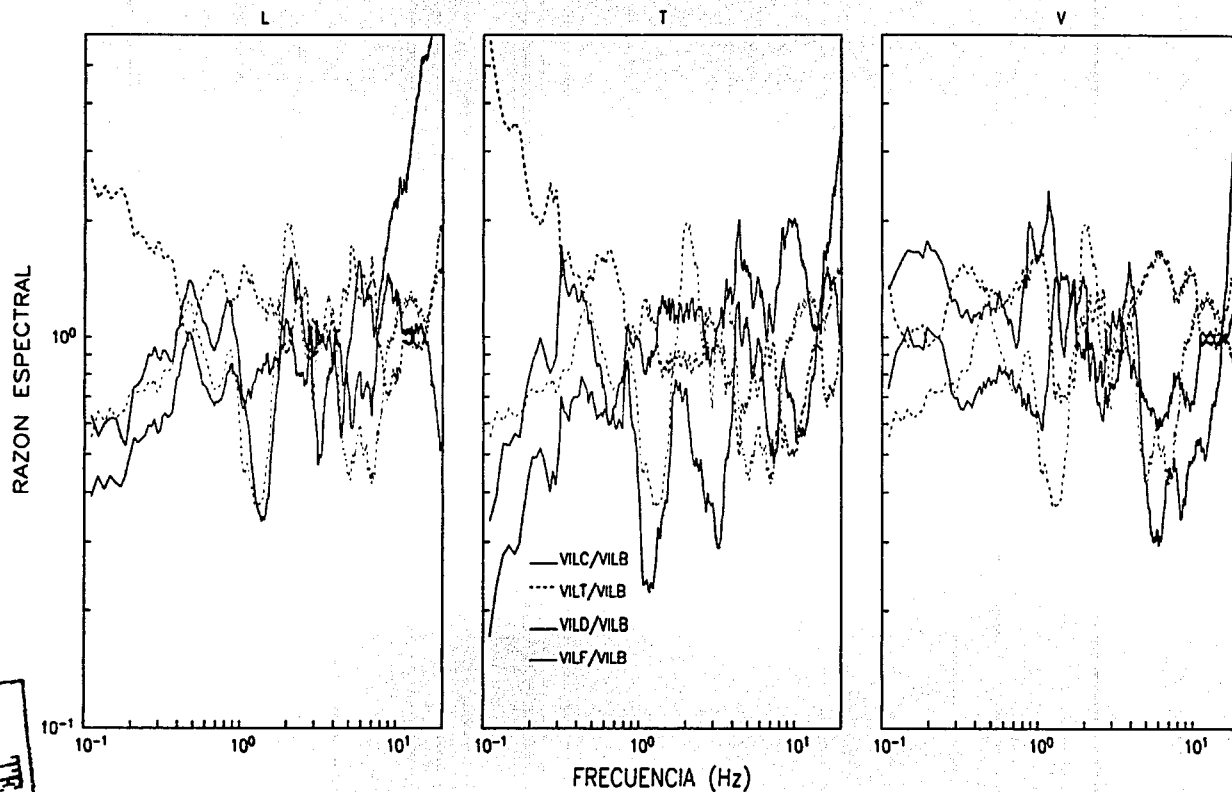


Fig. 35

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA VILLITA 080900

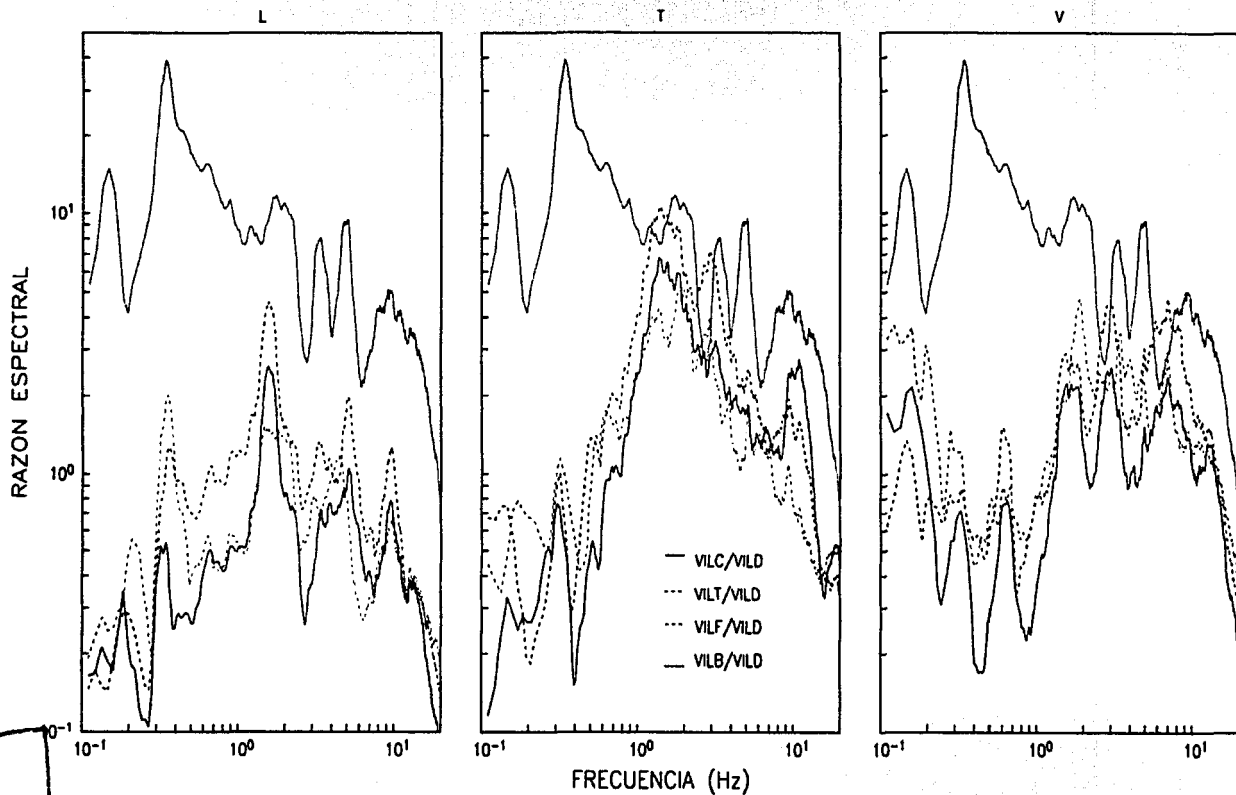


Fig. 36

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA VILLITA 151175

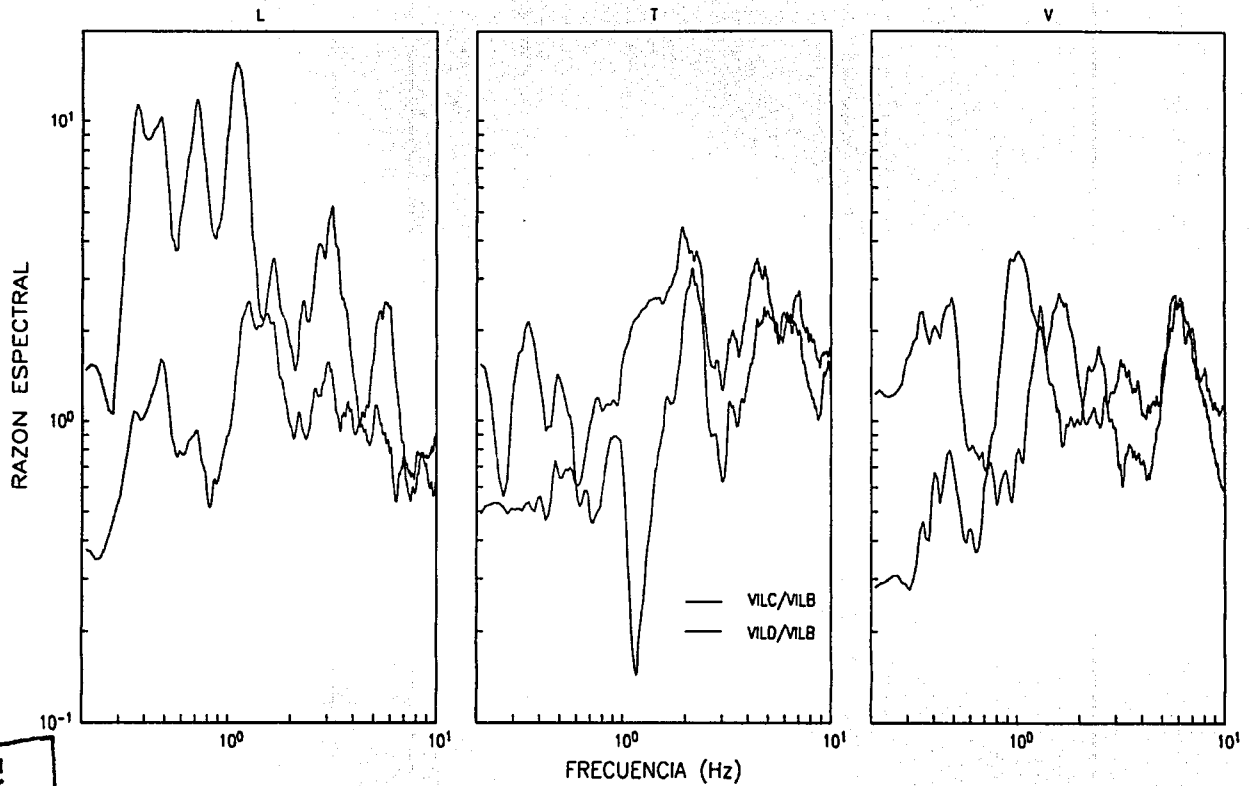


Fig. 37

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA VILLITA 151175

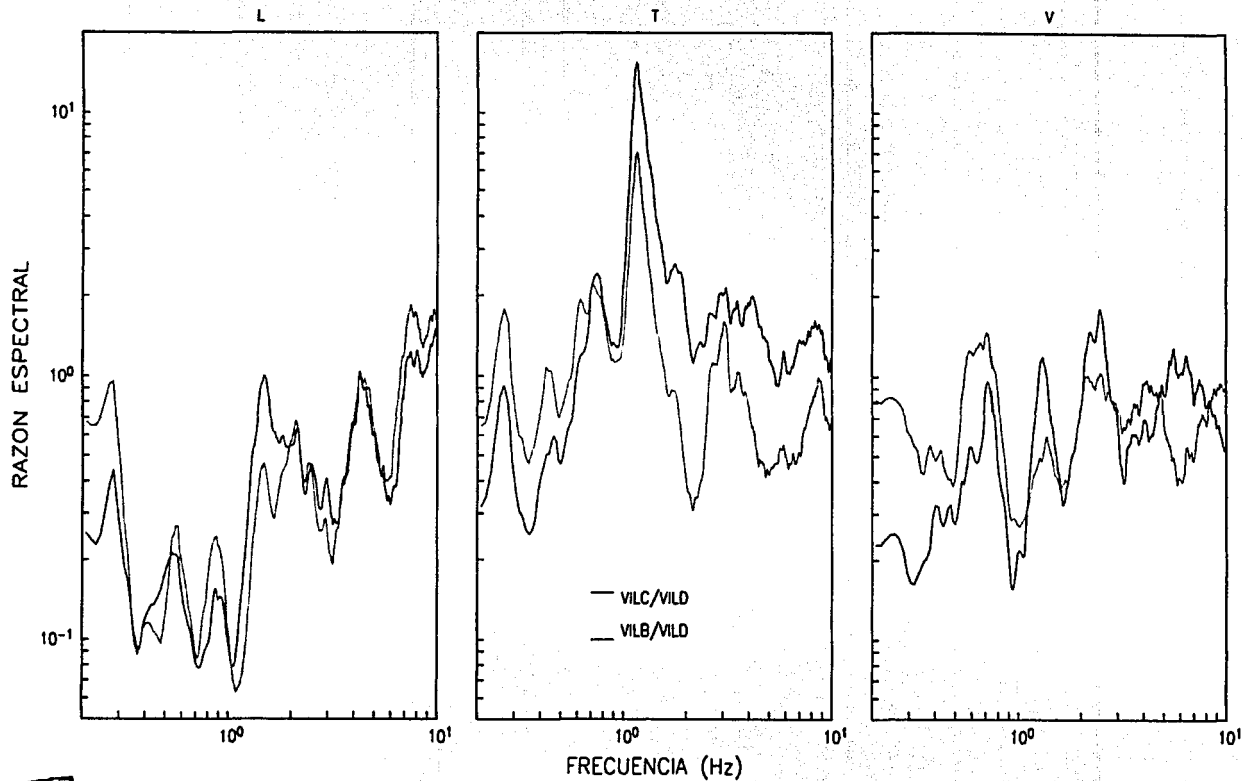


Fig. 38

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA VILLITA 210699

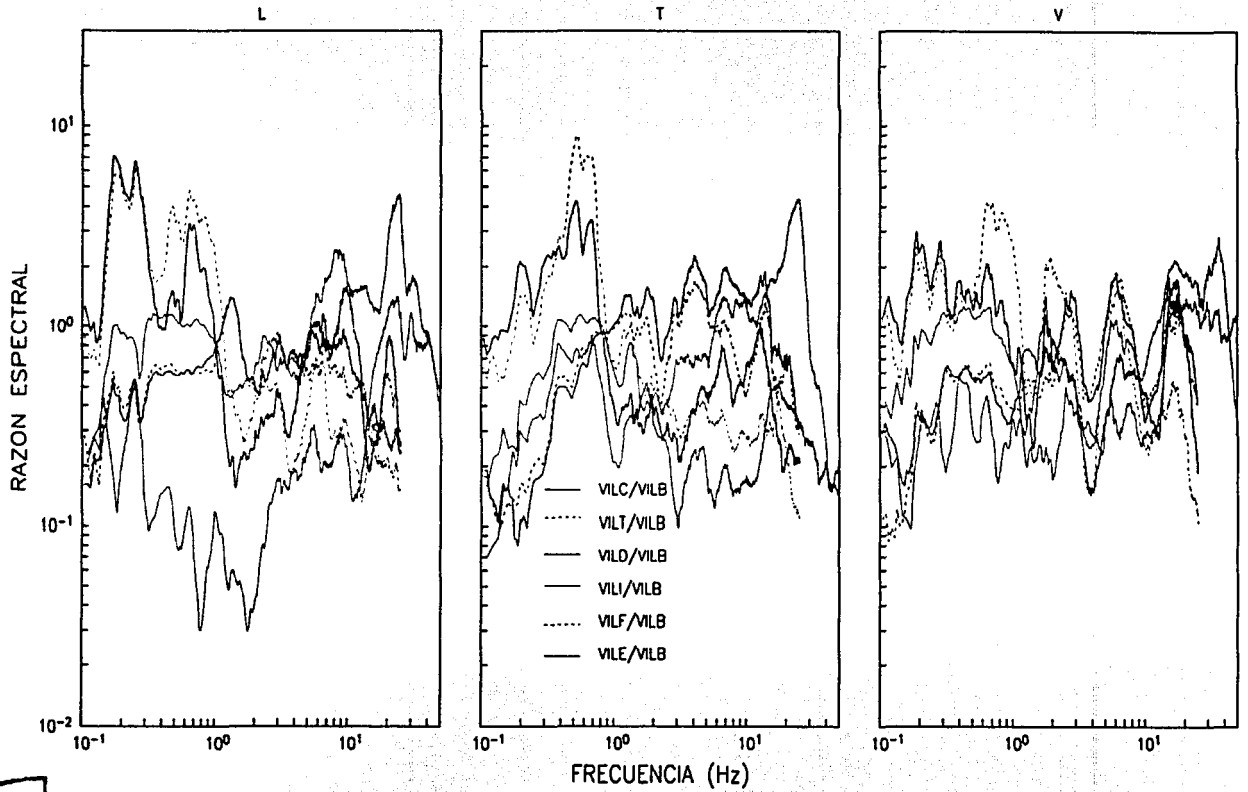


Fig. 39

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA VILLITA 210699

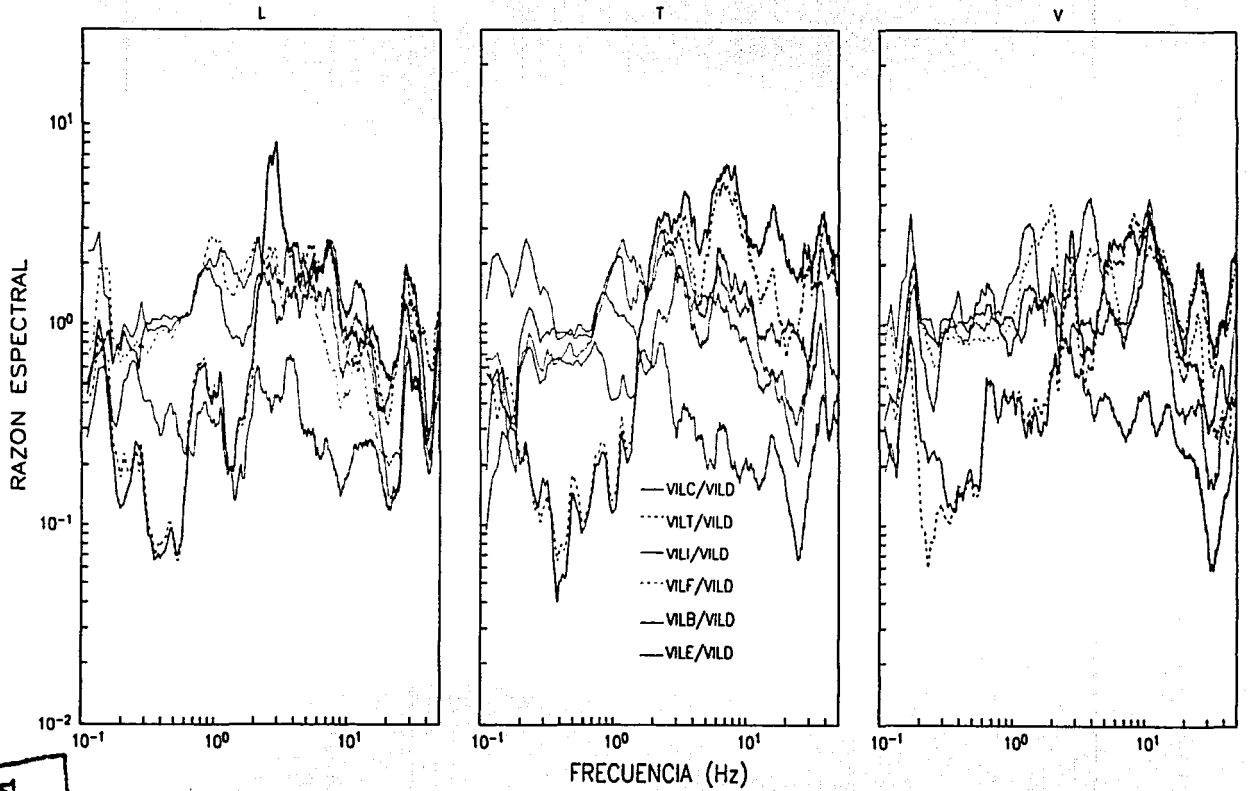


Fig. 40

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA VILLITA 210699

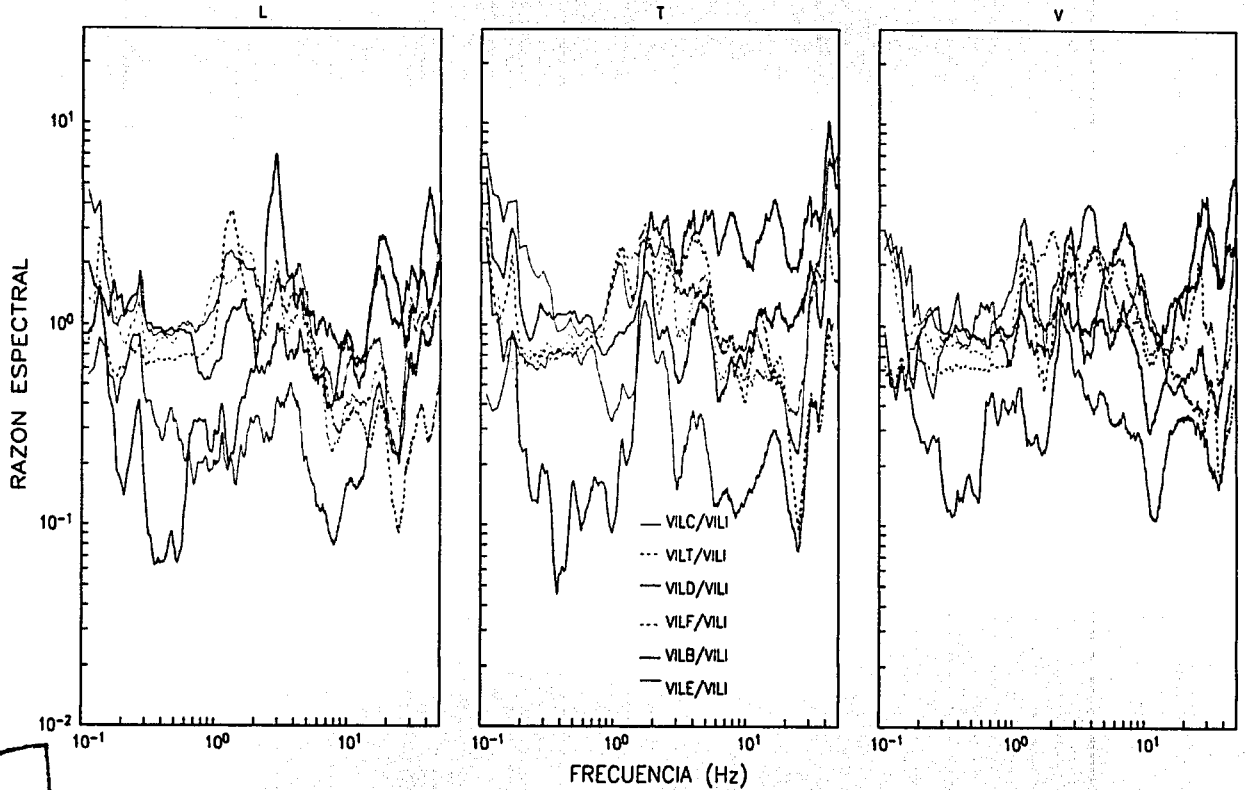


Fig. 41

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA VILLITA 210699

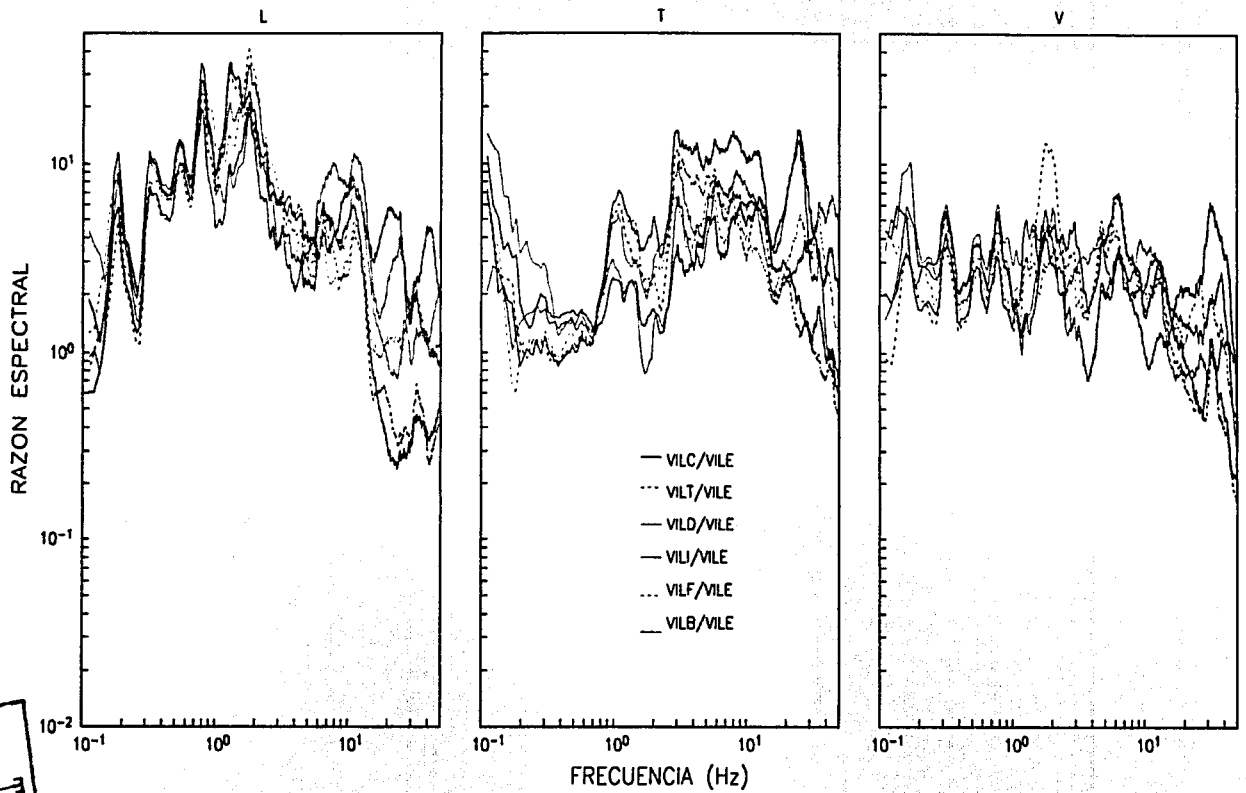


Fig. 42

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA VILLITA 101294

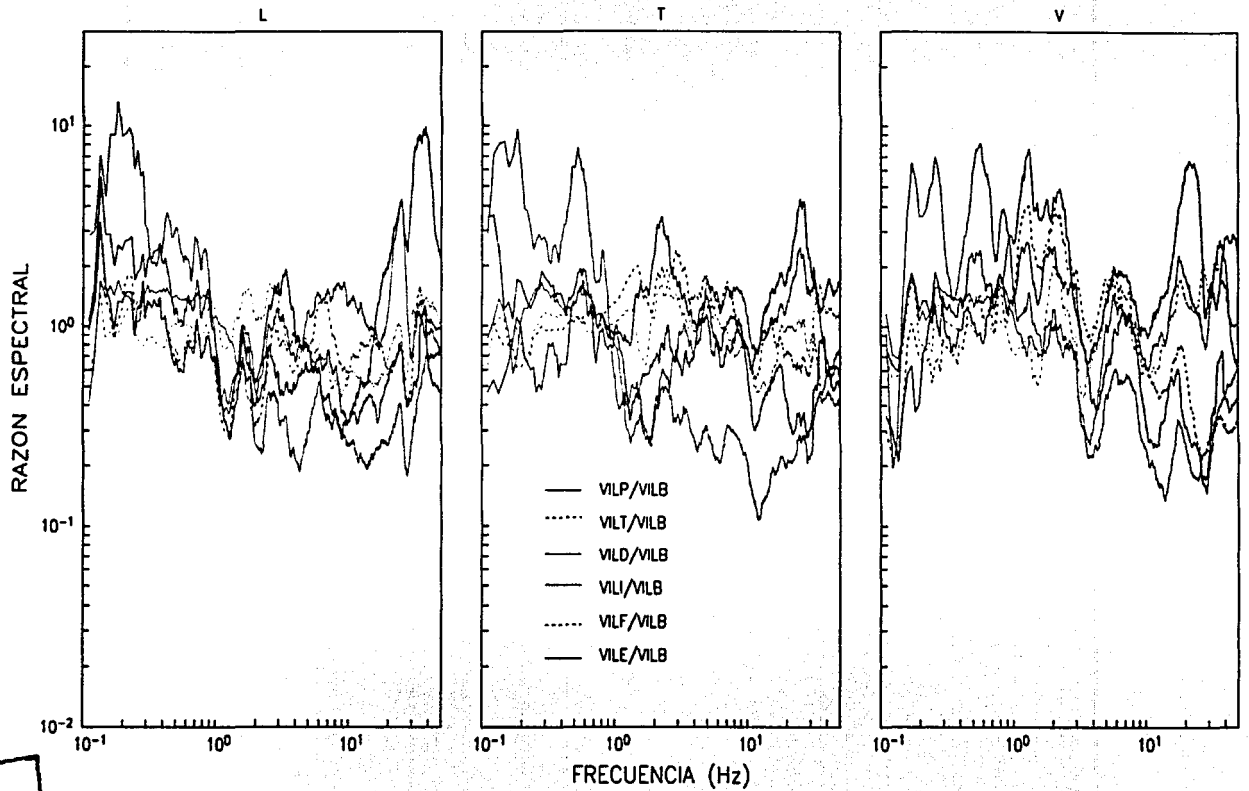


Fig. 43

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN
52

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA VILLITA 101294

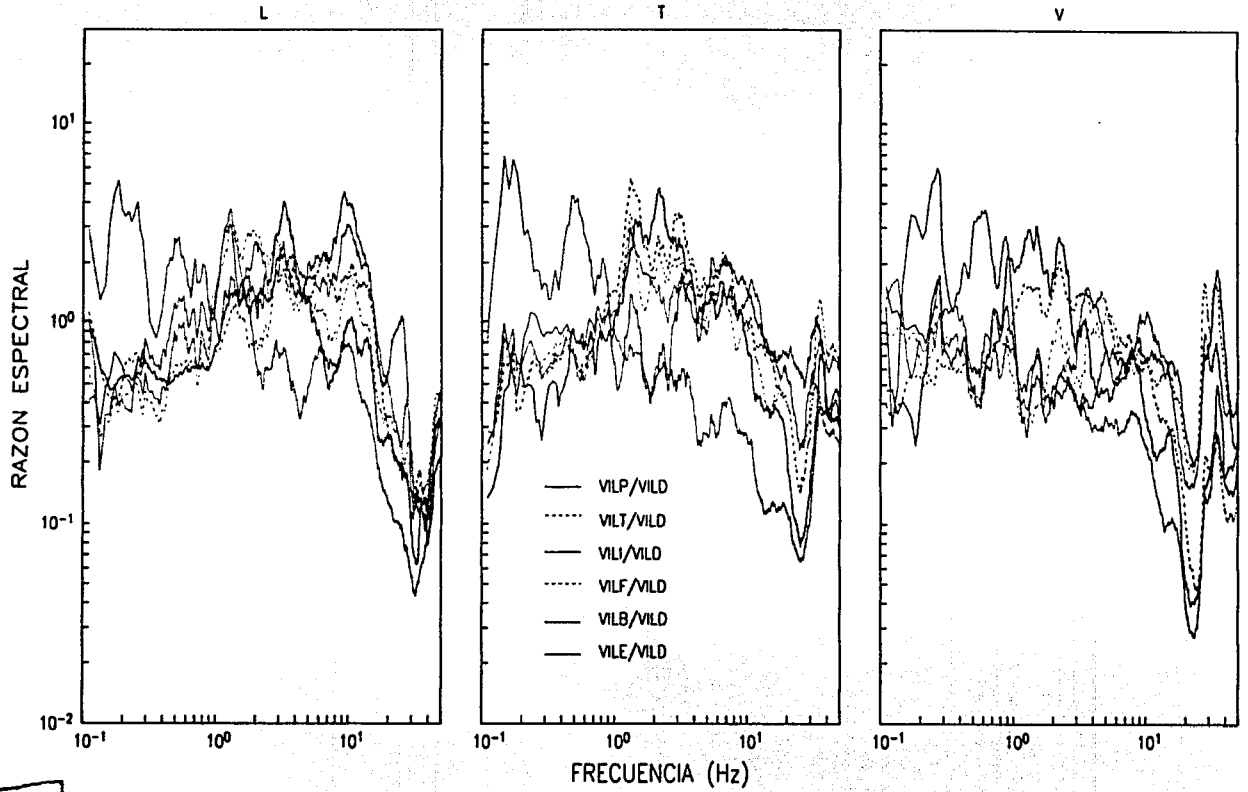


Fig. 44

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA VILLITA 101294

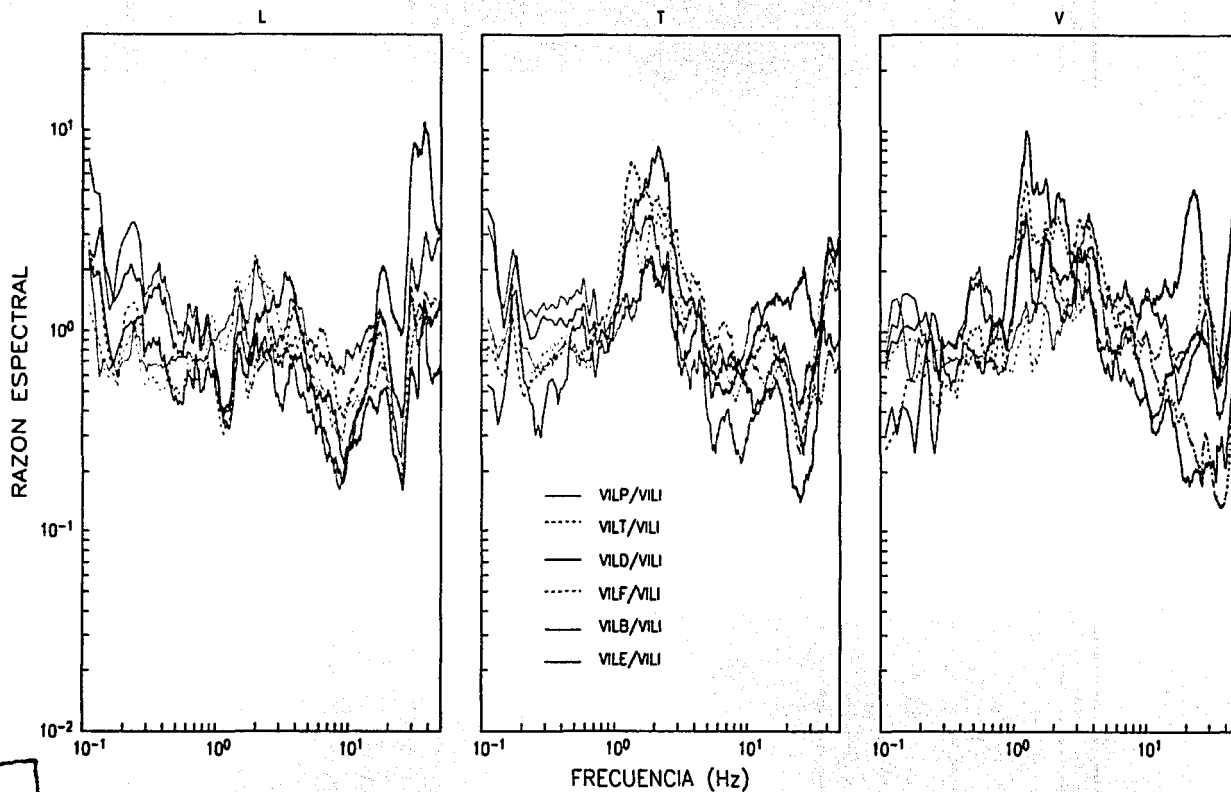


Fig. 45

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA VILLITA 101294

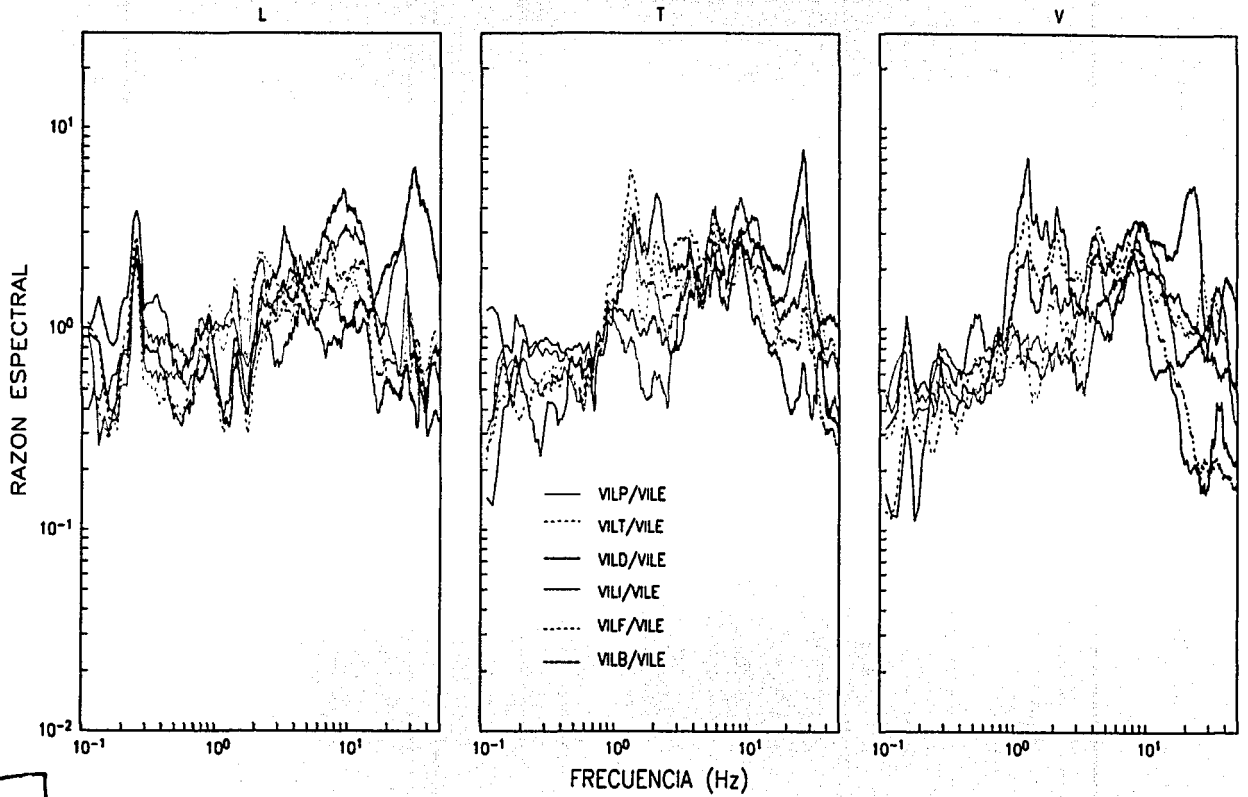


Fig. 46

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA VILLITA 150796

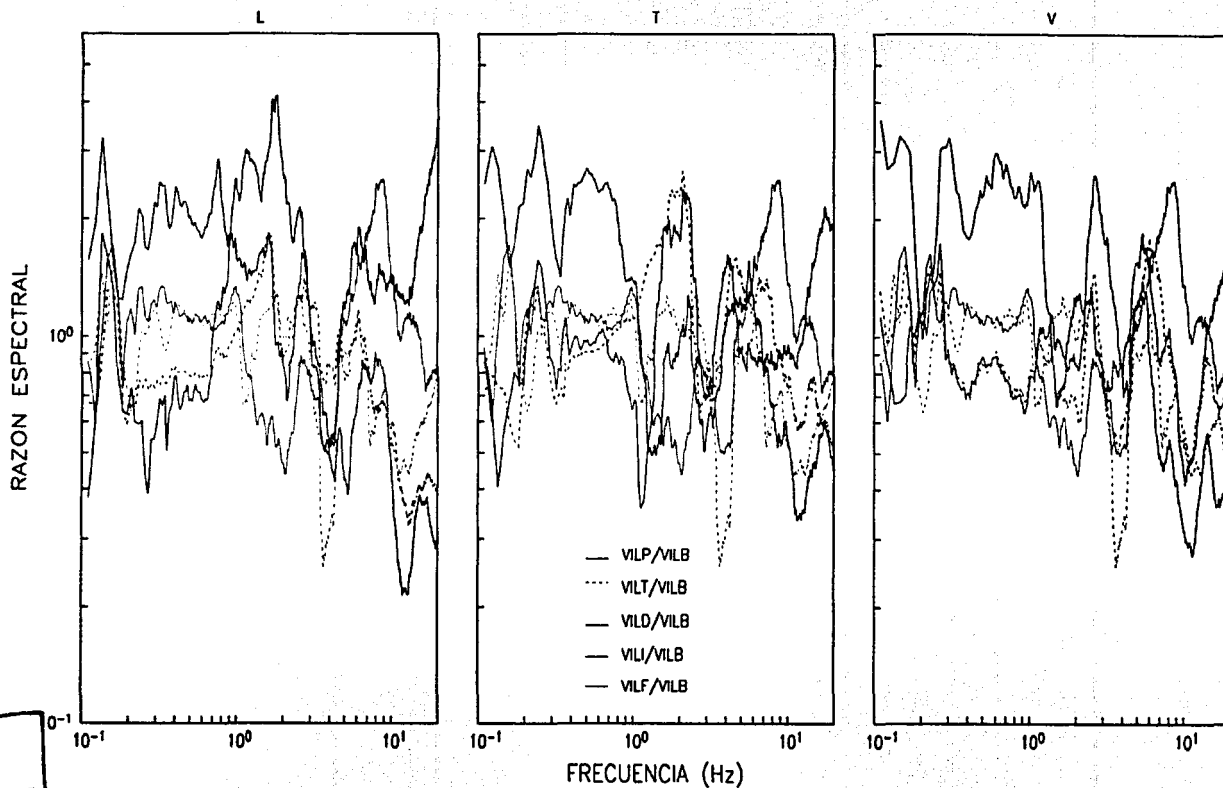


Fig. 47

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA VILLITA 150796

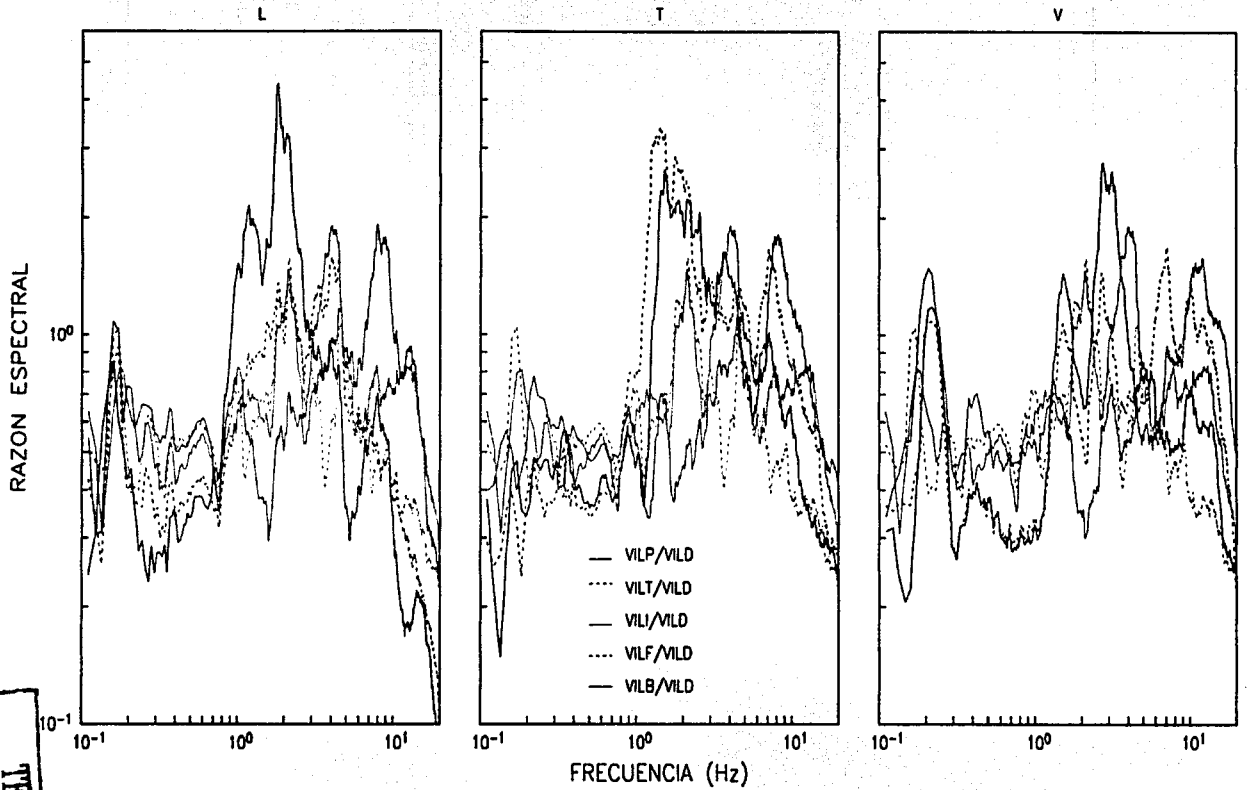


Fig. 48

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA VILLITA 150796

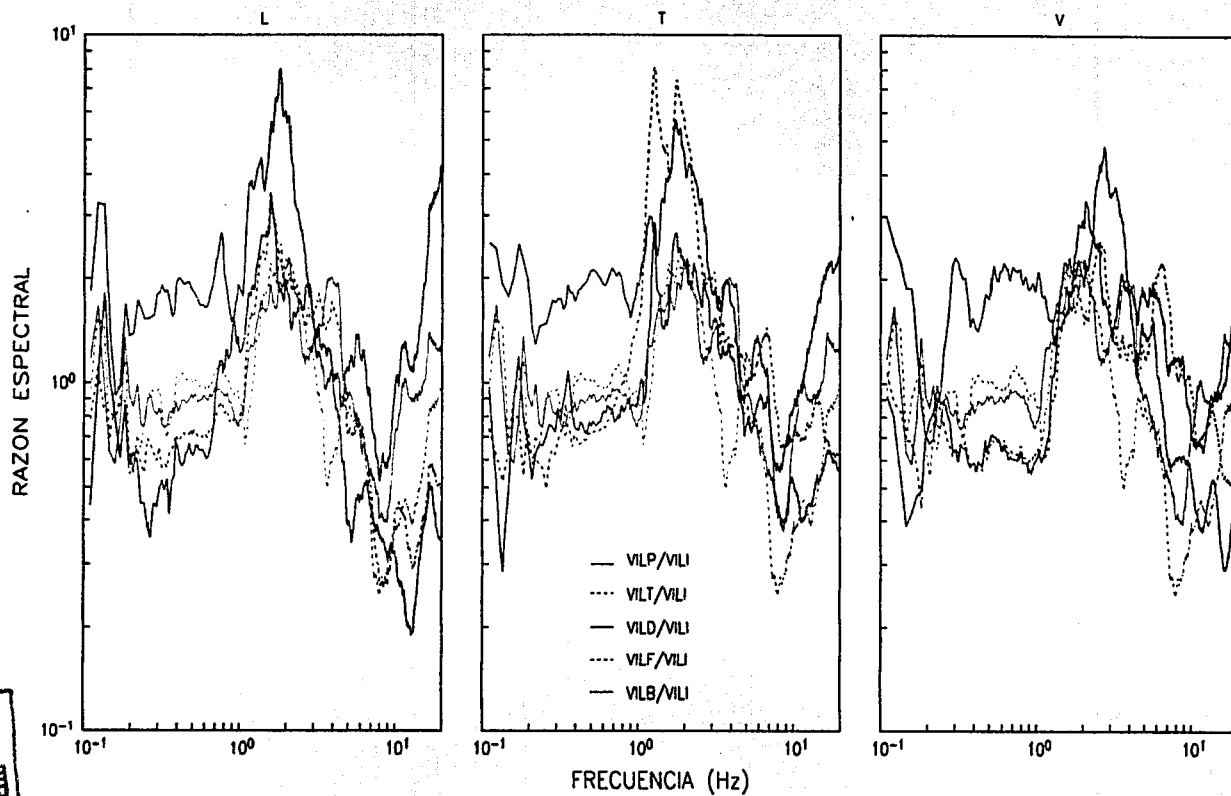


Fig. 49

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA VILLITA 150699

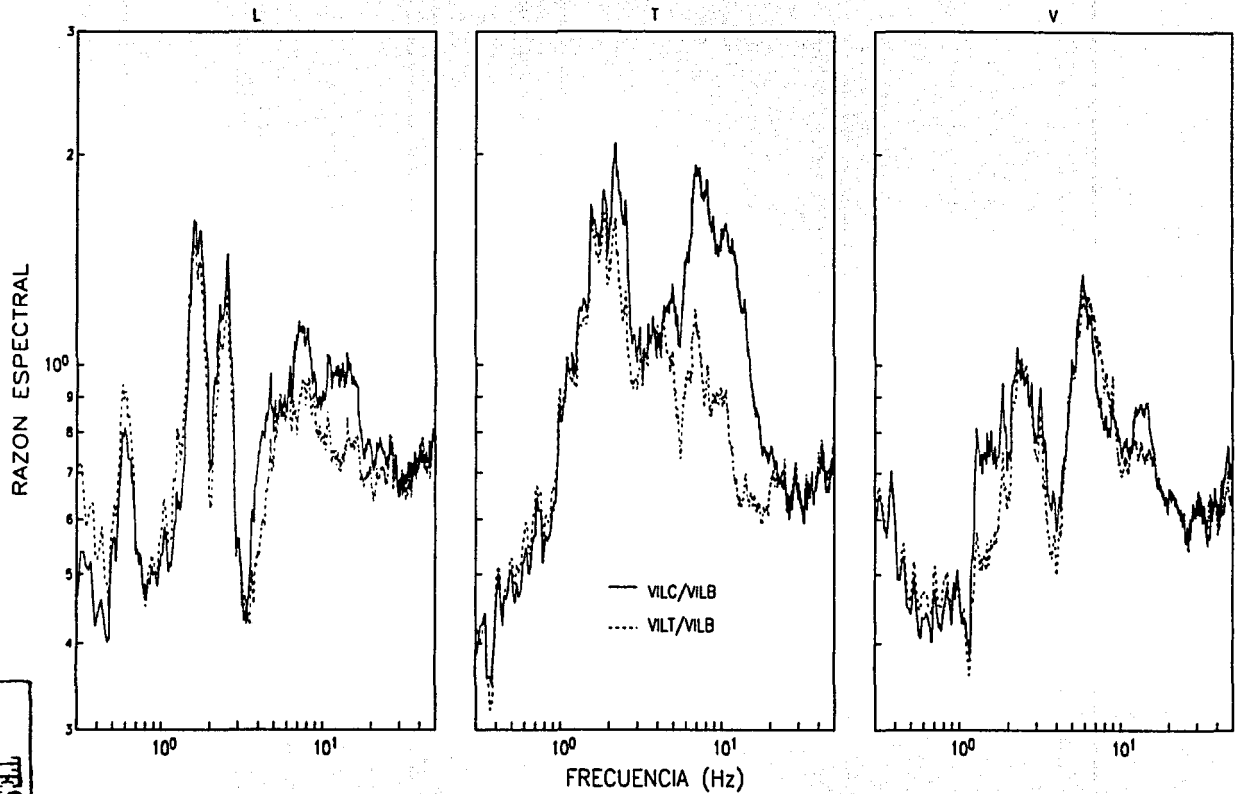


Fig. 50

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

REFERENCIAS

1. Comisión Federal de Electricidad, Instituto de Ingeniería UNAM, Secretaría de Recursos Hidráulicos, "Comportamiento de Presas Construidas en México", Ed. Dimensión, México, 1976, p 126.
2. E R Guinto, "Estudio de la Respuesta Sísmica Local para la Ciudad de Guerrero", Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Guerrero, México, 1997.
3. S P Nishenko and S K Singh, "Conditional Probabilities for the Recurrence of Large and Great Interplate Earthquakes Along The Mexican Subduction Zone". Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 77, No. 6, pp 2095-2114, December 1987.
4. E Tamez, "Efectos del sismo del 19 de septiembre de 1985 en Lázaro Cárdenas, Much. Simposio SMMS, 1986, p 19.
5. P Colina, "Introducción a la Dinámica de Suelos", Facultad de Ingeniería, UNAM, México, D.F
6. W Elgamal, "Three Dimensional Seismic Analysis of La Villita Dam", Journal of Geotechnical Engineering, N.Y, 1992.
7. H B Seed, "Influencia de las Condiciones Locales del Suelo en Movimientos del Terreno y en Daños a Estructuras Durante Sismos", Octava Conferencia Nabor Carrillo, SMMS, Mazatlán Sin. 1986.
8. González V, "Effects of the September 1985 Earthquakes on Dams Built on the Balsas River", México, 1987, p 7.
9. Comisión Federal de Electricidad, "Comportamiento de Presas Construidas en México (1974-1984)", C. Ed. CFE, México, 1985, p 4.1.
10. Comisión del Río Balsas, "Visita del C. Presidente de la República Lic. Gustavo Díaz Ordaz a las Obras de La Villita", México, 1966.
11. R J Marsal, y D Reséndiz, "Presas de Tierra y Enrocamiento", Ed. Limusa, México, 1975, p 40.

-
12. E Andrade y J A Roldán, "Estudio del Comportamiento de la Presa La Villita, ante Eventos Sísmicos", Memorias del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Veracruz, Ver., México, 1997, p 1039.
 13. Alcántara L, "Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes en CD-ROM", Séptimas Jornadas de Sismología e Ingeniería Antisísmica. 1er Congreso Iberoamericano de Ingeniería Sísmica, Vol. 1, Chile, 1997.
 14. Comisión Federal de Electricidad, "Manual de Operación SMA-1" México, 1985.
 15. J M Velasco, "Especificaciones Técnicas de los Equipos de Registro", Instituto de Ingeniería UNAM, México.
 16. Terra Technology Corp, "Digital Accelerograph Operations and Maintenance Manual", Redmond, Washington, USA, 1982.
 17. Mena E y Carmona C, "TERRE: Sistema para proceso de acelerogramas", Instituto de Ingeniería UNAM, México, 1986.
 18. J Zúñiga, "Informe de Comportamiento", Comisión Federal de Electricidad, México, 1999.
 19. J Prince, "Algunas Aplicaciones Presentes y Futuras de los Acelerógrafos", Instituto de Ingeniería UNAM, México.
 20. F W Housner, "Fundamentos de Ingeniería Sísmica", Ed. Mc Graw-Hill, Facultad de Ingeniería, UNAM, México 1960.
 21. Brigham E, "The Fast Fourier Transform", Prentice-Hall, USA, 1974. p 11.
 22. Alberro J y Moreno E, "José Ma. Morelos (La Villita), Michoacán, Comportamiento de Presas Construidas en México", Comisión Federal de Electricidad Vol. II, 9. 1-9.17.
 23. Prince J y Chávez G, "Estudio de los Pulsos de Calibración en los Acelerogramas Registrados en la Corona de la Villita", Informe elaborado para Comisión Federal de Electricidad, proyecto 4706, Instituto de Ingeniería, UNAM.
 24. Javier C y Alcántara L, "Análisis de los Registros obtenidos en las Estaciones Acelerográficas Villita Corona y Villita Testigo", Memoria del X Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Puerto Vallarta, Jal., México, 1993.