

JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL

MEMORIAS
JORNADAS
SUDAMERICANAS



DE INGENIERIA
ESTRUCTURAL



VOLUMEN

MONTEVIDEO - URUGUAY

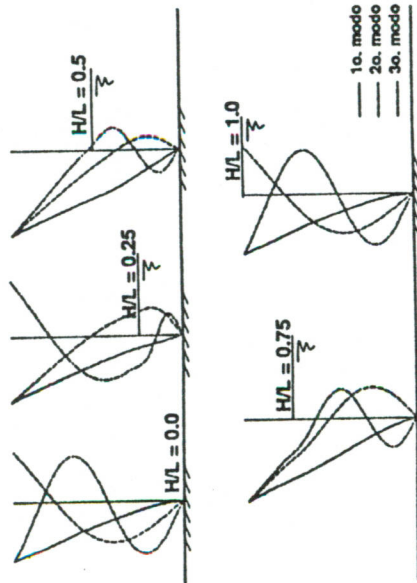


Figura 2.8 Os três primeiros modos de vibração de uma casca engastada-livre, parcialmente cheia de fluido - $k=8$.

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve por objetivo apresentar uma solução semi-analítica para a análise das vibrações livres de cascas cilíndricas parcialmente cheia de fluido considerando tanto para a casca quanto para o fluido qualquer conjunto fisicamente consistente de condições de contorno.

As comparações dos resultados obtidos usando a presente metodologia com resultados experimentais encontrados na literatura, demonstram que (a) a formulação mista aqui desenvolvida e a solução modal adotada permitem resolver, através de uma implementação computacional relativamente simples, o problema de vibrações livres de cascas cilíndricas esbeltas; (b) a forma de solução adotada permite determinar de maneira simples a matriz de massa adicionada tanto para cascas parcialmente quanto totalmente cheias de fluido e (c) pode-se conseguir com boa precisão, quando se considera o efeito das ondas de superfície, não só as frequências naturais da casca como também as frequências do fluido.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHIBA, M. e YAMAKI, N. - "Free Vibration of Clamped-Free Circular Cylindrical Shell Partially Filled With Liquid-Part III: Experimental Results.", Thin-Walled Structures, vol.3, pp. 1-14, 1985.
- RAMOS, N. R. - "Análise das Vibrações Livres de Tanques Cilíndricos.", Tese de Mestrado, Dep. Eng. Civil, PUCRJ, 1993.
- SANDERS Jr., J. L., - "Nonlinear Theories for Thin Shells.", Q. Appl. Math., vol.21, pp.21-36, 1963.



13 al 19 de Novembro de 1992
Buenos Aires - Uruguay

PROGRAMA DE ENSAYOS EN UN EDIFICIO AISLADO SISMICAMENTE

Ruben Boroschek, María Ofelia Moroni, Mauricio Sarrazin, Claudio Vergara
Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Chile

SUMARIO

A fines de 1992, se terminó de construir un edificio de cuatro pisos de albañilería confinada, apoyado sobre ocho aisladores sísmicos de goma laminada y uno gemelo de fundación convencional. En estos edificios se ha instalado una red local de acelerógrafos. En este trabajo se presentan algunos registros de sismos leves obtenidos a la fecha en esta red, además de resultados de ensayos de vibraciones libres realizados en el edificio aislado con el fin de determinar sus propiedades dinámicas, como ser, período y amortiguamiento equivalentes. Estas propiedades han servido de base para determinar un modelo analítico del edificio para predecir su comportamiento ante sismos mayores.

1. INTRODUCCION

A fines de 1992 se terminó de construir en Santiago un edificio de cuatro pisos de albañilería confinada, apoyado sobre ocho aisladores sísmicos de goma laminada. Este edificio es parte de un conjunto de estructuras similares pero con fundaciones convencionales. Teóricamente, el efecto de la aislación sísmica es aumentar el período de la estructura de un valor de 0.11 seg cuando no está aislada a valores de 1.8 a 2.0 seg cuando los aisladores están sometidos a deformaciones de corte del orden del 50%, disminuyendo así las aceleraciones provocadas por eventos sísmicos severos, y aumentar la capacidad de disipación de energía del sistema.

Es de sumo interés poder comprobar dichas variaciones en forma experimental. Por este motivo, el edificio se ha instrumentado con dos acelerógrafos ubicados en el 1° y 4° piso, conectados en red a uno ubicado en el campo libre y a un cuarto ubicado en el 4° piso de un edificio de iguales características,

pero con fundaciones convencionales. Hasta la fecha se han registrado dos eventos sísmicos leves.

Además, se realizaron algunos ensayos de microvibraciones y de vibraciones libres (pull back), con el fin de determinar las propiedades dinámicas del edificio aislado, para deformaciones pequeñas de los aisladores, y del edificio sin aislar. En este trabajo se presentan los resultados de estos ensayos junto a características de los registros sísmicos obtenidos y estudios analíticos realizados.

2. CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO

El edificio es de cuatro pisos y tiene una planta rectangular de 10 x 6 mts, Sarrazin et al (1992). Está estructurado con muros de hormigón armado en el primer piso y de albañilería confinada en los pisos superiores. En todos los niveles tiene losa de hormigón armado de 10 cm de espesor. El peso total de la estructura es de 163 ton. Está montado sobre ocho aisladores de goma laminada de alto amortiguamiento, los que se apoyan en zapatas aisladas conectadas por vigas de fundación. Los aisladores están apertados a placas de anclaje en ambos extremos.

En el diseño de la superestructura no se consideró el efecto de la aislación, debido a que interesaba comparar su comportamiento con el de una estructura idéntica con fundaciones convencionales. Además siendo un edificio de viviendas de tipo "social" de bajo costo, la estructura posee elementos y dimensiones mínimos, Moroni et al (1991).

El suelo de fundación corresponde a una grava densa. El último terremoto ocurrido en la zona fue el 3 de marzo de 1985, con una magnitud de 7.8.

3. CARACTERÍSTICAS DE LOS AISLADORES

Los aisladores son circulares, de 31.5 cm de diámetro. Se componen de 34 capas de goma de 6.7 mm y 33 láminas de acero de 2 mm, además de dos placas extremas de 16 mm, alcanzando una altura de 32.6 cm. Estos aisladores fueron fabricados en Chile y sometidos a ensayos estáticos de carga vertical y horizontal y a ensayos dinámicos de carga horizontal con cargas verticales constantes tanto en Chile como en la Universidad de California, Berkeley. En la figura 3.1 y 3.2 se presentan algunos resultados de los ensayos realizados en Berkeley como la variación de la rigidez lateral con las deformaciones de corte para distintas cargas verticales y la variación del amortiguamiento para esos mismos casos.

Las variables de diseño de los aisladores son el desplazamiento máximo

lateral (20 cm.) y la carga vertical máxima (35 ton) las cuales se determinaron en función del máximo sismo posible que puede ocurrir en el sitio en que se construyeron los edificios.

4. PROGRAMA DE ENSAYOS

Siendo la construcción de este edificio una experiencia pionera en Chile, se ha preparado un plan de experimentación y seguimiento de su respuesta ante acciones sísmicas. Las actividades programadas incluyen mediciones de las deformaciones verticales por carga permanente, registro de microvibraciones, aplicación de carga estática, ensayo tipo "pull back" y monitoreo del comportamiento sísmico, Morales (1993).

En la tabla 4.1 se presenta las alturas de los aisladores en diferentes instantes: recién fabricados (medida 1), una vez terminada la obra (medida 2) y luego de seis meses de ocupación de los departamentos (medida 3). Estas mediciones se han hecho con una precisión de ± 0.5 mm. Se puede observar que ha habido variaciones menores, las que no inducen esfuerzos importantes en la superestructura.

En cuanto a registros de microvibraciones, éstos se han obtenido para ambos edificios. En el edificio sin aislar las frecuencias predominantes son de 7.7 y 8.8 Hz en las direcciones longitudinal y transversal respectivamente, las que se reducen a 6.2 y 6.8 Hz. en el edificio aislado. Estos resultados muestran que aún para vibraciones de muy baja amplitud, el sistema de aislación tiene un efecto importante en las características dinámicas del edificio.

Para la aplicación de carga estática y para el ensayo tipo pull back se diseñó el dispositivo que se muestra en la figura 4.1. El edificio se tira desde el centro de la losa del primer piso, moviéndolo horizontalmente de modo de inducir distintos valores de deformación en los aisladores. Un muro de hormigón del edificio convencional se usó como muro de reacción. En el ensayo estático la presión del gato hidráulico indica la carga aplicada y los desplazamientos se registran con un LVDT.

Las vibraciones libres se producen al romperse la barra de acero que hace de fusible. Usando barras de diferente diámetro se consiguió variar los desplazamientos alcanzados, siendo el mayor de 4.5 cm. Para registrar la respuesta se usó dos acelerómetros (SMA-1 y STATHAM) y un LVDT, ubicados en el primer piso, y tres sísmómetros SS-1, dos de ellos ubicados en los extremos del primer piso y el tercero en el centro del 4º piso.

La deformación máxima inducida en los aisladores en el ensayo estático fue de 21%, tal como se muestra en la figura 4.2. La respuesta es no lineal y sigue

un desarrollo similar para las distintas secuencias de carga.

En la figura 4.3 y 4.4 se muestran algunos de los registros de desplazamiento y de aceleración obtenidos de las pruebas de pull-back. En los de aceleración se observa el efecto de dos modos participantes, correspondiendo el de mayor frecuencia al primer modo de la estructura sin aislar y el de frecuencia menor a un modo equivalente a la deformación instantánea a que están sometidos los aisladores. Además en ambas figuras se observa el alto amortiguamiento presente en la estructura. A partir de los registros descritos anteriormente y a través de análisis de frecuencia se han determinado el período predominante y el amortiguamiento del primer ciclo de oscilación, los que se presentan en la tabla 4.2.

En la actualidad se ha instalado una red local de acelerógrafos que consta de tres equipos SSA-2 ubicados en el 4º y 1º pisos y a nivel de fundación en el edificio aislado y un SMA-1 ubicado en el 4º piso del edificio convencional. El interés fundamental de esta red, es comparar los comportamientos de ambos edificios y verificar el efecto de la aislación sísmica.

Hasta la fecha se ha registrado un evento leve de magnitud 5.3, generado a una profundidad de 18.6 Km, y a una distancia epicentral de 140 Km de Santiago. Los "peak to peak" registrados en los distintos equipos se indican en la tabla 4.3. Los valores registrados de aceleración son muy pequeños, pero aún así se puede destacar el efecto del sistema aislante al comparar los valores a nivel de cuarto piso en ambos edificios.

En la figura 4.5 se muestran los registros obtenidos en el campo libre y en el primer y cuarto piso del edificio aislado. Se puede observar que por ser un evento pequeño, no fue suficiente para alcanzar los niveles de deformación requeridos en el sistema de aislación para que éste juegue algún rol. Los resultados obtenidos son similares a los observados por otros autores, Clark et al (1993), constatándose cierta amplificación del movimiento en el edificio. Este tipo de respuesta ante eventos moderados, se ha observado en varios edificios aislados en otros países, Huang et al (1993), y ha llevado a proponer revisiones en los procedimientos de diseño, en cuanto a que la exigencia de diseñar el sistema de aislación para condiciones extremas, lo que pareciera ser conservador, puede resultar en que la superestructura sufra daños ante sismos moderados, los que serán frecuentes durante la vida útil del edificio.

Los desplazamientos obtenidos mediante integración de los registros de aceleraciones, dan deformaciones máximas en los aisladores del orden de 0.02 cm.

Haciendo un análisis de Fourier de la zona de movimiento fuerte del

registro EW del cuarto piso se obtienen períodos de 0.4 y 0.11 seg, correspondiendo al primer modo del edificio aislado con deformaciones mínimas en los aisladores y al primer modo del edificio con base fija.

5. MODELO ANALÍTICO

Se ha desarrollado un modelo matemático de marcos equivalentes del edificio aislado, considerando que la superestructura tiene un comportamiento elástico. Se considera diafragmas rígidos a nivel de cada piso donde se concentran las masas. Los períodos de los dos primeros modos de la estructura con la base fija correspondientes a la dirección longitudinal y transversal son: 0.13 y 0.10 seg.

El programa 3D-Basis se usó en los análisis dinámicos no lineales, Nagarajaiah et al (1991). Las frecuencias y las formas modales de la superestructura se combinó con elementos bilineales que representan a los aisladores. Las propiedades de estos últimos se seleccionaron de modo de coincidir con los resultados experimentales obtenidos en U.C. Berkeley. Sólo se incluyó amortiguamiento histérico de los aisladores y un amortiguamiento modal de 3% para los modos de la superestructura.

En una primera parte del estudio analítico interesa correlacionar el modelo numérico con la respuesta registrada durante el sismo del 16/7/93. Esto se ha logrado usando un modelo lineal y elástico para los aisladores, con una rigidez igual a 20 Ton/cm e incorporando un amortiguamiento viscoso equivalente de 30% para el sistema de aislación y 5% de amortiguamiento en la superestructura. En la figura 5.1 se compara parte del registro de aceleración del cuarto piso en la dirección transversal obtenido en forma analítica y experimental.

6. CONCLUSIONES

Se ha realizado una serie de experimentos en dos edificios similares, uno con fundación convencional y otro aislado sísmicamente. Estos ensayos, que incluyen mediciones de microvibraciones y de vibraciones libres, han permitido determinar características dinámicas de los edificios y verificar el beneficio potencial que tiene el uso de un sistema de aislación.

En los edificios experimentales se ha instalado una red de acelerógrafos, la cual ha registrado dos sismos leves. Los datos están siendo procesados y serán utilizados para comparar la respuesta del sistema ante distintos niveles de sollicitación.

7. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Facultad de Ciencias Físicas y

Matemáticas de la Universidad de Chile, los proyectos FONDECYT 897/88 y 882/92-T y el Ministerio de la Vivienda y Urbanismo, apoyo que agradecemos sinceramente. Debemos mencionar en forma especial al Instituto de Investigaciones y Ensayos de Materiales, IDREM, donde se realizaron los ensayos de los aisladores y cuyo personal colaboró en el desarrollo de los ensayos tipo "pull back" de terreno.

REFERENCIAS

Clark P., Whittaker A., Alken I., Egan J., 1993, "Performance Considerations for Isolation Systems in Regions of High Seismicity", Proc. of Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation, and Active Control, ATC-17-1, pp 29-40.
Huang, M., Malhotra, P., Shakal, A., 1993, "Analysis of Records from Four Base-Isolated Buildings during Low Levels of Ground Shaking", Proc of Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation, and Active Control, ATC-17-1, pp 319-330.
Morales L. "Control de la Construcción e Instrumentación de un Edificio con Aislación Sísmica en la Base", memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, Septiembre 1993.
Moroni, M.O., Sarrazin, M., Araya, M., Cubillos, A., Herrera, C., 1991, "Diseño y Construcción de un Edificio sobre Aisladores Sísmicos", Proc. XXV JSIE, Porto Alegre, Brasil, III:439-449.
Naqarajalah, S., Rainhorn, A.M. and Constantinou, M.C., 1991. "3D-BASIS, Nonlinear Dynamic Analysis of Three-Dimensional Base Isolated Structures: Part II," Report N° NCEER-91-0005, NCEER, State University of New York at Buffalo, February.
Sarrazin, M., Moroni M.O., 1992, "Design of a Base Isolated Confined Masonry Building", Proc. XWCER, Madrid, España, 4:2505-2508.

Tabla 4.1: Altura de los aisladores (cm).

aislador	medida 1	medida 2	medida 3
1	32.15	32.03	32.05
2	32.15	32.01	31.86
3	32.05	31.95	31.80
4	32.02	32.0	31.85
5	32.1	32.0	31.83
6	32.1	31.96	31.9
7	31.5	32.18	31.94
8	31.2	32.08	31.95

Tabla 4.2: Variación de las características dinámicas con las deformaciones de corte de los aisladores (dirección transversal).

tipo de ensayo	Desplazamiento máximo (mm) (def corte %)	Período (seg)	Amortiguamiento %
microvibraciones pull-back	14. (6.1)	0.15	37.4
Id	29.9 (13.1)	0.93	35.8
Id	30.4 (13.3)	1.13	34.8
Id	37. (16.2)	1.17	35.2
Id	44.5 (19.5)	1.2	32.9

Tabla 4.3: Registros de Aceleración Obtenidos.

Evento	Fecha	Hora	Comp	Fund.	1s	4s	4s MA
93-01	16/7	17:22:20	EW	0.013	0.022	0.039	0.1
			SN	0.0098	0.012	0.0176	0.04

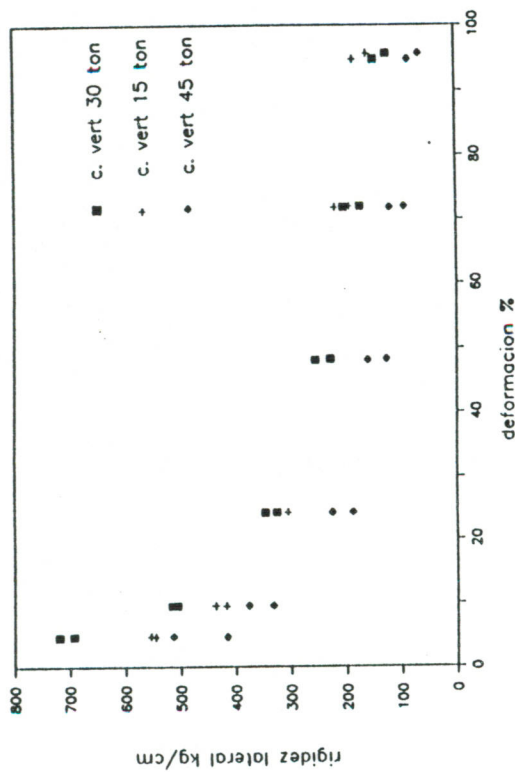


Figura 3.1 : Rigidez Lateral vs Deformacion

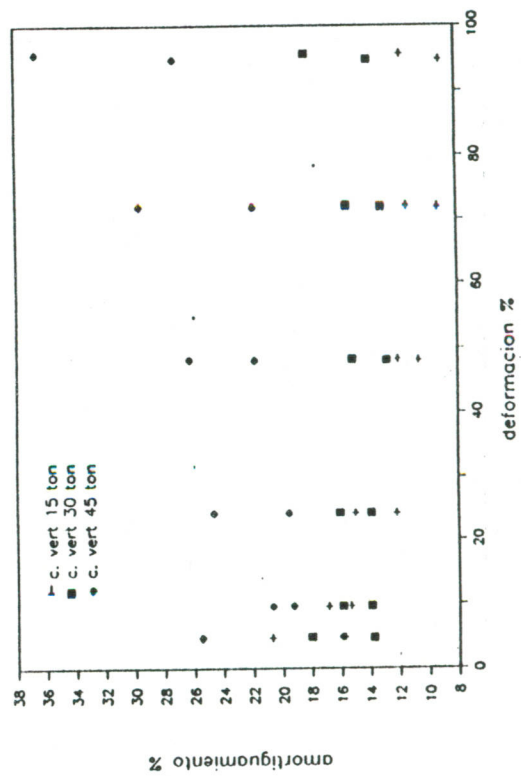
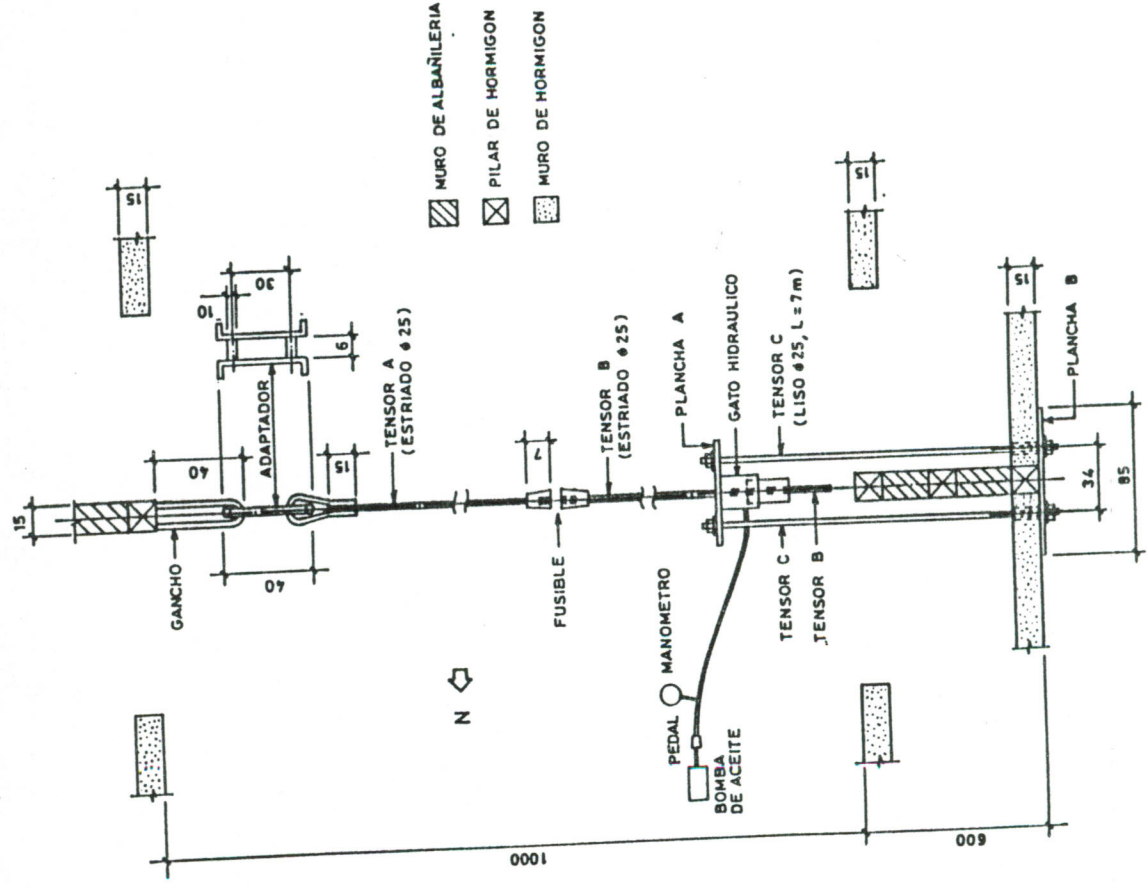


Figura 3.2 : Amortiguamiento vs Deformacion



PLANTA ESQUEMATICA SISTEMA DE TIRO 3er ENSAYO

Fig. 4.1. Dispositivo de ensayo.

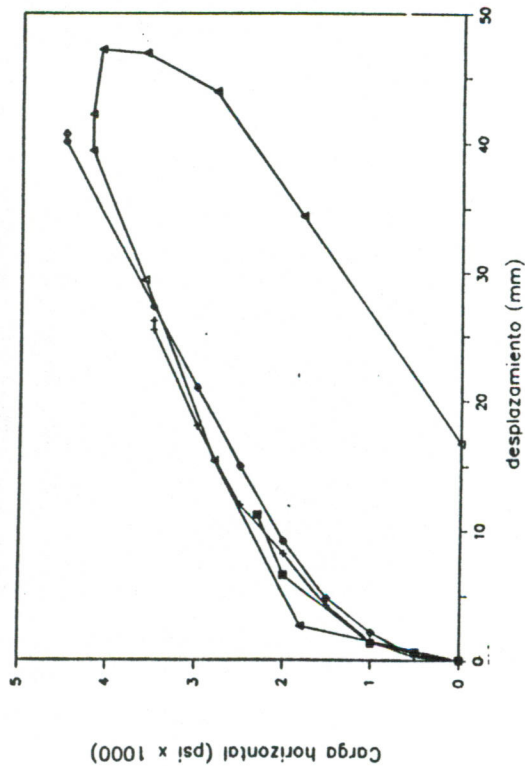


Figura 4.2. Ensayo Estático.

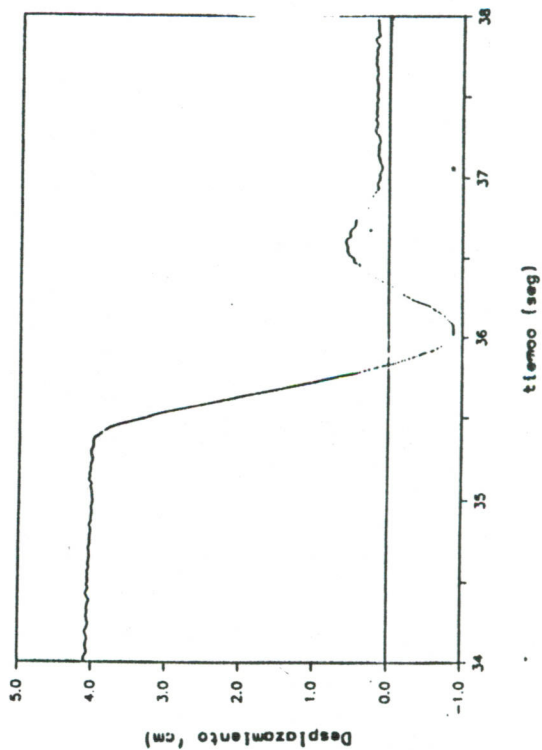


Figura 4.3. Registro de Desplazamientos.

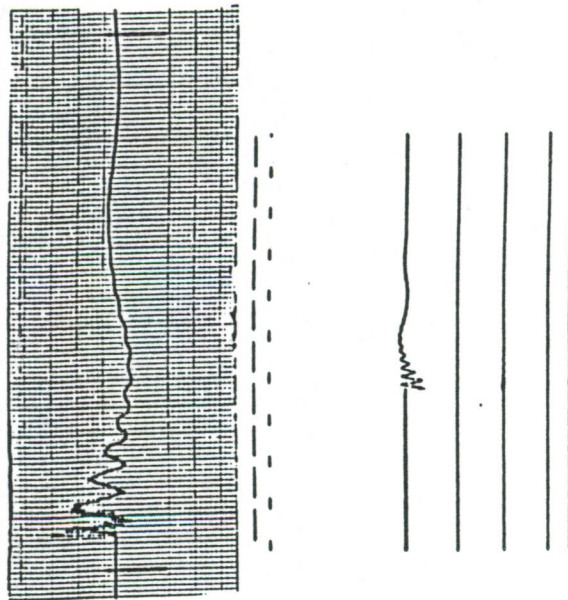


Figura 4.4. Registro de aceleración, ensayo pull back.

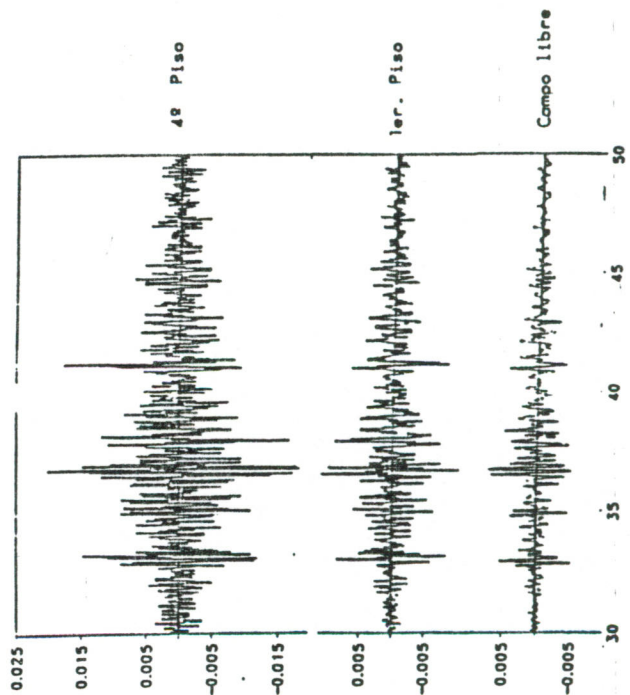


Figura 4.5. Registro de aceleraciones, sismo 16/07/93.

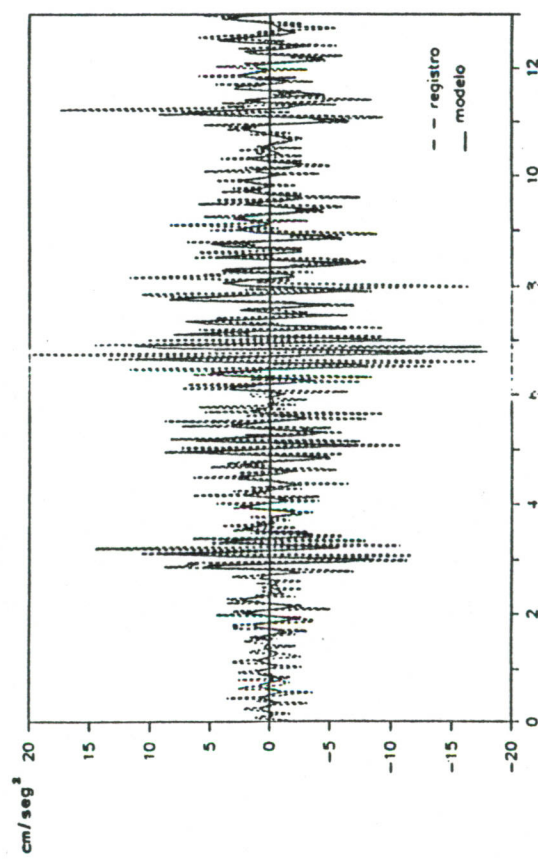


Figura 5.1 : Modelo analítico vs Registro