

01179
(655)

84

COMPORTAMIENTO DINAMICO DE MODELOS DE PRESAS
CONSTRUIDOS CON MATERIAL GELATINOSO

T E S I S

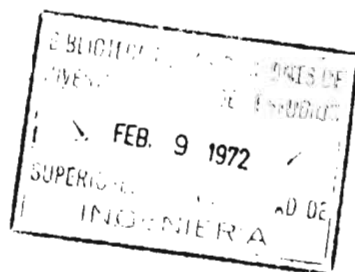
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERIA

(E S T R U C T U R A S)

P R E S E N T A E L I N G .

BELZAY MARTINEZ ROMERO



México, D. F., enero 1972

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

1.	INTRODUCCION	1
2.	OBJETIVOS	2
3.	CARACTERISTICAS DEL MATERIAL GELATINOSO	2
3.1	<u>Componentes y dosificación</u>	2
3.2	<u>Preparación</u>	3
3.3	<u>Pruebas de vibración torsional</u>	3
3.4	<u>Proporcionamiento</u>	6
4.	CONSTRUCCION DE LOS MODELOS	7
4.1	<u>Características geométricas</u>	7
4.2	<u>Procedimiento de construcción</u>	7
5.	ENSAYES DINAMICOS EN LOS MODELOS	8
5.1	<u>Medición de la respuesta</u>	8
6.	OBTENCION DE RESULTADOS	9
6.1	<u>Curvas y configuraciones de resonancia</u>	9

6.2	<u>Amortiguamiento</u>	10
7.	DISCUSION DE RESULTADOS	10
7.1	<u>Frecuencias de resonancia del modelo rectangular</u>	10
7.1.2	<u>Comparación de los resultados teóricos y experimentales</u>	13
7.2	<u>Frecuencias determinadas en los otros modelos</u>	13
7.3	<u>Comparación del amortiguamiento</u>	14
8.	CONCLUSIONES	14
9.	RECONOCIMIENTO	15
10.	REFERENCIAS	16
	TABLAS Y FIGURAS	

1. INTRODUCCION

En general, la respuesta sísmica de una presa de tierra no solo depende de las características del temblor y de la naturaleza del terreno donde se desplanta la presa, sino también de las propiedades dinámicas de esta última. En consecuencia, interesa conocer las frecuencias y configuraciones de resonancia del prototipo, asociadas al movimiento transversal respecto al eje de la corona, así como el amortiguamiento respectivo. Estas propiedades se pueden estudiar efectuando pruebas de vibración forzada en prototipos, o bien en modelos físicos.

En este trabajo se describen las pruebas dinámicas realizadas en cuatro modelos con boquillas de diferente geometría, los cuales se construyeron con una mezcla homogénea de gredina, glicerina y agua que en adelante se denominará material gelatinoso. También se describen las principales características de este material, y el procedimiento de construcción de los modelos. Aún cuando estos últimos son estructuras tridimensionales, solo se estudió su respuesta en dirección transversal respecto al eje de la corona, que fue la dirección en que se aplicó la excitación. Cada modelo se identificó por la forma de su boquilla: circular, rectangular, trapecial y triangular.

2. OBJETIVOS

Los principales objetivos de este trabajo fueron los siguientes:

1. Encontrar la mezcla de grenetina, glicerina y agua que permitiera obtener un material con la deformabilidad que los modelos requirieron.
2. Determinar las propiedades dinámicas más importantes del material gelatinoso, como el módulo de rigidez dinámico y el amortiguamiento respectivo, mediante pruebas de vibración torsional.
3. Desarrollar un procedimiento que permitiera construir modelos libres de imperfecciones, evitando así posibles errores en la interpretación de los resultados.
4. Someter estos modelos a pruebas de vibración forzada, excitándolos armónicamente, para obtener algunas de sus propiedades dinámicas más importantes, ya mencionadas en el capítulo 1.
5. Comparar los resultados teóricos y experimentales, en lo que respecta a frecuencias naturales, obtenidos en el modelo rectangular.
6. Relacionar entre sí los resultados experimentales obtenidos en los cuatro modelos.

3. CARACTERISTICAS DEL MATERIAL GELATINOSO

3.1 Componentes y dosificación

Como ya se estableció, los componentes del material gelatinoso son grenetina, glicerina y agua, los cuales, al mezclarse en determinadas proporciones, fijan las características mecánicas de dicho material.

La proporción de glicerina se escogió de acuerdo con las recomendaciones contenidas en la ref 1.

Para determinar la cantidad de grenetina se ensayaron dinámicamente varios especímenes con diferentes contenidos de esta sustancia, y se obtuvo en cada caso

el módulo de rigidez G . La variación de G con el contenido de gretina se indica en la fig 1 para una proporción de glicerina del 60 por ciento; se observa que dicha variación puede aproximarse mediante una curva exponencial.

3.2 Preparación

El agua y la glicerina se mezclaron a temperatura ambiente (aproximadamente 20°C); después de elevar la temperatura de esta mezcla hasta 80°C se añadió la gretina agitando continuamente la mezcla para conseguir un material homogéneo.

Esta última operación se efectuó manteniendo dicha mezcla a una temperatura de 80°C , usando un recipiente con capacidad suficiente para preparar en una sola operación el volumen de material requerido por los cuatro modelos. Para reducir la cantidad de aire ocluido en la mezcla se practicó el vacío, usando el conjunto de dispositivos que se indican esquemáticamente en la fig 2, los cuales constituyeron el equipo desareador. Una serie de válvulas permitió controlar el vacío y el contenido de agua de la mezcla originalmente previsto.

3.3 Pruebas de vibración torsional

Los ensayos de vibración torsional libre producen en un espécimen cilíndrico un estado de esfuerzo cortante puro (ref 2). A partir de los registros de aceleraciones (acelerogramas) obtenidos en este tipo de ensayos, se calcularon el módulo de rigidez dinámico y el amortiguamiento del material gelatinoso, empleando los métodos que se describen en las secciones 3.3.3 y 3.3.4, respectivamente.

3.3.1 Especímenes de prueba

Los especímenes de prueba se construyeron vertiendo el material gelatinoso a una temperatura de 80°C sobre tramos de tubo de plástico de sección circular.

Todos los especímenes tuvieron 3.42 cm de diámetro y longitudes que va

riaron entre 8 y 12 cm.

Se ensayaron 30 especímenes cilíndricos, 18 de los cuales pertenecieron a mezclas en las que la proporción de grenetina, en peso, fluctuó entre 10 y 20 por ciento; el resto provino del material con que se construyeron los modelos.

3.3.2 Dispositivo de ensaye

Los especímenes de torsión se fijaron por sus extremos al dispositivo de ensaye mediante dos mordazas circulares estriadas (fig 3). La mordaza superior se unió firmemente al resto del aparato, en tanto que la mordaza inferior pudo girar libremente en un plano horizontal y desplazarse verticalmente por medio de una guía. Las señales de vibración de los especímenes se captaron con un acelerómetro que se instaló en el extremo de uno de los brazos de la mordaza inferior (fig 3).

3.3.3 Obtención del módulo de rigidez

Como su nombre lo indica, un ensaye de vibración torsional libre consiste en apartar al espécimen de su posición de equilibrio mediante un giro inicial, dejándolo oscilar libremente.

De cada espécimen se obtuvieron tres registros de vibración semejantes al que se muestra en la fig 4, con objeto de promediar el periodo natural de vibración del espécimen, y el amortiguamiento respectivo. Como longitud libre de oscilación se consideró la distancia entre los planos interiores de las mordazas.

En general, cuando un espécimen se somete a una prueba de vibración torsional, y se considera el equilibrio dinámico de un elemento diferencial de espécimen, sobre este último actúan los elementos mecánicos que se indican en la fig 5. Si se plantea la ecuación de movimiento usando el principio de D'Alambert, y se despeja G , se obtiene la siguiente expresión (ref 3).

$$G = \frac{128 \pi L}{d^4 T^2} \left(J_2 + \frac{J_m}{3} \right) \quad (1)$$

donde L es la longitud libre del espécimen, en cm; d es el diámetro promedio del espécimen, en cm; T es el período natural de vibración torsional, en seg; J_2 es el momento polar de inercia de masa de la parte móvil del dispositivo de ensaye, en $\text{kg}\cdot\text{seg}^2\cdot\text{cm}$; y J_m es el momento polar de inercia de masa del espécimen, en $\text{kg}\cdot\text{seg}^2\cdot\text{cm}$.

Los valores del módulo de rigidez dinámico de diferentes mezclas, calculados con la ec 1, se indican en la tabla 1.

3.3.4 Obtención del amortiguamiento

El amortiguamiento, expresado como una fracción del crítico, se calculó a partir de la siguiente expresión simplificada, válida para valores pequeños del amortiguamiento (ref 4).

$$\beta = \frac{\delta}{2\pi} \quad (2)$$

donde δ es el decremento logarítmico, el cual se define como

$$\delta = \frac{1}{k} \log_e \frac{x_i}{x_{i+k}} \quad (3)$$

En esta expresión, k es el número de ciclos consecutivos que se considera, y x_i , x_{i+k} son las amplitudes de vibración correspondientes a los ciclos i , $i + k$, respectivamente (fig 4).

3.3.5 Determinación del peso específico

Después de ensayar dinámicamente los especímenes de torsión, se obtuvo el volumen de cada uno de ellos promediando sus dimensiones, y el peso respectivo

en una balanza cuya resolución es de ± 0.01 gr. Con estos datos se calculó el peso específico γ de un espécimen; el de una mezcla con determinada proporción se obtuvo promediando los resultados de los especímenes correspondientes. En la tabla 1 se presentan los valores de γ para tres mezclas diferentes.

3.3.6 Comentarios sobre los resultados obtenidos

Los resultados obtenidos en las pruebas de vibración torsional permiten establecer lo siguiente:

1. El módulo de rigidez dinámico aumenta con el contenido de gnetina, y varía cuando ocurren cambios notables en la temperatura ambiente.
2. Los especímenes de torsión se ensayaron a temperaturas aproximadas de 20°C . Las fluctuaciones de temperatura (del orden de $\pm 2^{\circ}\text{C}$) durante las pruebas de torsión no produjeron cambios apreciables en los valores del módulo de rigidez.
3. Por lo que respecta al efecto de la edad de los especímenes sobre el módulo de rigidez dinámico, las pruebas de torsión efectuadas 240 días después de haberse fabricado los especímenes indicaron valores de G muy semejantes a los obtenidos en especímenes de corta edad.
4. El amortiguamiento del material también aumenta con la proporción de gnetina y es prácticamente constante para variaciones de la temperatura del orden de $\pm 2^{\circ}\text{C}$.
5. La glicerina es la sustancia que estabiliza las propiedades mencionadas, debido a su naturaleza higroscópica. La proporción en que entró a formar parte del material gelatinoso resultó ser la más adecuada, al menos para los modelos que se estudiaron en este trabajo.

3.4 Proporcionamiento

Con base en los resultados de las pruebas de vibración torsional obtenidos

con diferentes mezclas, y tomando en cuenta las observaciones de la sección 3.3.5, se consideró que el material gelatinoso a usarse en la construcción de los modelos debía proporcionarse (en peso) así:

Grenetina	0.10
Glicerina	0.60
Agua	<u>0.30</u>
Total	1.00

4. CONSTRUCCION DE LOS MODELOS

4.1 Características geométricas

Las principales características geométricas de los modelos fueron

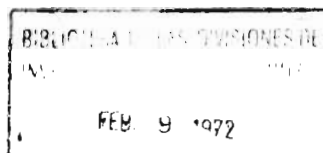
Altura	10.0 cm
Longitud de la corona*	26.5 cm
Ancho de la base	35.2 cm
Ancho de la corona	0.7 cm
Taludes	1.75:1

Estos datos corresponden a una escala de longitudes $\lambda = 1400$, y se fijaron de acuerdo con las dimensiones del sistema de prueba empleado y con las características geométricas simplificadas de la presa El Infiernillo.

4.2 Procedimiento de construcción

El procedimiento que se adoptó en la construcción de los modelos se explica a continuación.

* En los modelos triangular y circular la longitud de la corona fue de 20.0 cm



A temperaturas superiores a 70°C , la presión de los vapores de la mezcla gelatinosa aumenta considerablemente; si en estas condiciones se llena el molde en una sola operación, al descimbrarlo aparecen discontinuidades (burbujas de aire) sobre la corona, las cuales inutilizan el modelo.

Para evitar lo anterior se invirtió la posición de los moldes y se colocó el material por capas de igual espesor, a una temperatura aproximada de 70°C , avanzando de la corona hacia la base. El material necesario para construir los cuatro modelos se almacenó en seis recipientes, con objeto de separar los volúmenes de material correspondientes a cada una de estas capas. Antes de continuar la colocación del material se dejaban reposar los modelos durante cuatro horas, hasta obtener un material gelatinoso con propiedades estables. Para facilitar la detección de los desplazamientos del eje de la corona se marcaron puntos a lo largo de éste, espaciados aproximadamente 1 cm; sobre las paredes del molde también se dejaron algunos puntos como referencia (fig 6).

5. ENSAYES DINAMICOS EN LOS MODELOS

Los ensayos dinámicos consistieron en someter los modelos a un estado estacionario de vibraciones armónicas. La excitación se aplicó en dirección perpendicular al eje de la corona, y a partir de las mediciones de los desplazamientos en la cortina en la dirección de la excitación se estudió la variación de la respuesta de los modelos con la frecuencia de excitación. La fuente de excitación fue un vibrador programable Ling, el cual transmitió el movimiento mediante un vástago unido rígidamente a una placa de aluminio sobre la cual se fijaron los modelos.

5.1 Medición de la respuesta

Cada vez que se variaba la frecuencia de excitación se tomaba una fotografía del modelo en movimiento, con lo cual se obtuvieron configuraciones de despla-

plazamientos relativos, en dirección transversal únicamente, como las que se indican en las figs 6-a y 6-b. Los incrementos de frecuencia fueron de 0.2 Hz, y permitieron definir en forma satisfactoria los máximos locales (picos) de las curvas de resonancia.

Los desplazamientos máximos de la corona se determinaron amplificando convenientemente los negativos de las fotografías, y tomando como referencia una escala graduada en cm; la aproximación de las lecturas fue de ± 0.1 mm.

6. OBTENCION DE RESULTADOS

6.1 Curvas y configuraciones de resonancia

Las curvas de resonancia o curvas de respuesta a la frecuencia relacionan la respuesta máxima de la cortina con la frecuencia de excitación, en estado estacionario.

Como se mencionó en el capítulo 1, solo se estudió la respuesta en dirección transversal al eje de la corona, que es la dirección de mayor interés, a pesar de que cada modelo es una estructura tridimensional. Con base en los datos de respuesta así obtenidos se determinaron las principales propiedades dinámicas de los modelos, tal como se indica a continuación.

Los desplazamientos que se relacionaron con la frecuencia de excitación fueron los de un punto localizado en el centro de la corona, sobre su eje longitudinal; la magnitud de estos desplazamientos se determinó como se mencionó en la sección 5.1.

Las configuraciones de resonancia se obtuvieron considerando las mediciones de la respuesta correspondientes a las frecuencias de resonancia respectivas. Para ilustrar estos resultados, en las figs 6-a y 6-b se presentan, en planta, las configuraciones del modelo rectangular asociadas a los modos 1 y 3 de vibración transversal. Las configuraciones de los demás modelos se muestran en las figs 7 a 9.

A partir de las curvas de resonancia (figs 10 a 13), se determinaron las frecuencias de resonancia midiendo directamente en estas curvas la frecuencia correspondiente a un máximo local (pico) de la respuesta; también se determinaron las frecuencias correspondientes al tercer modo de vibración transversal. En la tabla 2 se presentan las frecuencias naturales, determinadas experimentalmente en los cuatro modelos, para los modos 1 y 3 de vibración transversal.

6.2 Amortiguamiento

A partir de las curvas de resonancia se determinó el amortiguamiento viscoso equivalente considerando el ancho de banda correspondiente a una ordenada de 0.707 de su valor máximo, y usando la expresión simplificada (ref 4)

$$\zeta = \frac{f_2 - f_1}{2f_n} \quad (4)$$

donde f_n es la frecuencia fundamental, en Hz; f_2, f_1 son las frecuencias que definen el ancho de la banda, consideradas a ambos lados de f_n , y ζ es la fracción del amortiguamiento con respecto al crítico.

Los valores del amortiguamiento obtenidos por este procedimiento se muestran en la tabla 3.

7. DISCUSION DE RESULTADOS

7.1 Frecuencias de resonancia del modelo rectangular

7.1.1 Resultados analíticos de Ambroseys (ref 5)

Es posible estimar la respuesta al cortante de una cuña elástica de longitud finita sometida a una perturbación horizontal (fig 14), si se cumplen las siguientes hipótesis (ref 5).

1. La estructura es simétrica respecto a un plano longitudinal, y está cortada en su

extremo superior por un plano paralelo al de su base (fig 14).

2. La estructura está formada por un material perfectamente elástico; su base y sus paredes verticales están limitadas por planos rígidos.
3. Se considera que la perturbación es horizontal, y que únicamente actúa en dirección perpendicular al plano longitudinal de simetría de la cuña; además, está caracterizada por la aceleración $g_0(t)$.
4. Los taludes de la estructura son de pequeña pendiente, y la rigidez del material es constante.
5. Las vibraciones producidas por la perturbación $g_0(t)$ se deben exclusivamente a fuerza cortante.
6. El efecto de la flexión es muy pequeño, lo cual ocurre cuando los taludes satisfacen la hipótesis 4, y la sección transversal es simétrica y homogénea.

Sean x, y, z las coordenadas de un punto de la cuña de cortante, y supóngase que el movimiento de la base y de las paredes verticales producido por $g_0(t)$ se transmite a cualquier elemento diferencial del modelo por medio de fuerzas cortantes.

Al plantear el equilibrio dinámico del sistema se obtiene la siguiente ecuación de movimiento (ref 5).

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + C \frac{\partial u}{\partial t} - g_0(t) = s^2 \left(\nabla^2 u + \frac{1}{y} \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (5)$$

donde $u(x, y, t)$ es el desplazamiento relativo de un punto (x, y) en la dirección z , debido a fuerza cortante; C es el coeficiente de amortiguamiento, y s es la velocidad de propagación de las ondas de cortante en la cuña (propiedad del material que la constituye).

Además, $s = \sqrt{G/\rho}$, donde G es el módulo de rigidez dinámico: $G = E/2(1 + \nu)$ y ν es la relación de Poisson.

Para obtener la solución de la ecuación (5) es necesario considerar como condiciones de frontera: $u(0, y, t) = 0$ $u(L, Y, T) = 0$ $u(x, H, t) = 0$; las condiciones iniciales son: $u(x, y, 0) = 0$ $\left. \frac{\partial u}{\partial t} \right|_{t=0} = 0$

Las frecuencias circulares no amortiguadas, ω_{nr} , se calculan con la ecuación (ref 5)

$$\omega_{nr} = \frac{s}{H} \left[\alpha_n^2 + \left(\frac{r\pi}{\mu} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

donde $n = 1, 2, 3, \dots$ se refieren a las configuraciones de vibración transversal, en plan; $r = 1, 3, 5, \dots$ indican las configuraciones de vibración transversal, en elevación; H es la altura de la sección transversal completa; α_n son las raíces de la función de Bessel de orden cero, de primera clase; μ es la relación entre la longitud de la corona y la altura de la sección transversal completa: $\mu = \frac{L}{H}$, y L es la longitud de la corona (fig 14).

Con base en los valores de G y ρ obtenidos para el material gelatinoso usado en los modelos (ver tabla 1, mezcla No. 3), a partir de la expresión $s = \sqrt{G/\rho}$ se llega a un valor de la velocidad de propagación de las ondas de cortante igual a 248.6 cm/seg. De las características geométricas del modelo rectangular se obtienen $H = 10.22$ cm, $\mu = 2.521$, $\alpha_1 = 2.411$.

Por lo tanto, al sustituir estos valores en la ecuación (6) se obtiene, para $n = 1$, $r = 1$, el siguiente valor de la frecuencia circular natural

$$\omega_{11} = 65.08 \text{ rad/seg}$$

Puesto que $\omega = 2\pi f$, se sigue que $f_{11} = 10.35$ Hz. Las frecuencias f_{3r} se calcularon considerando $\alpha_3 = 8.793$ y $r = 1, 2, 3, 4, 5$; los resultados así obtenidos se presentan en la tabla 2.

7.1.2 Comparación de los resultados teóricos y experimentales

Si se observan los resultados que aparecen en la tabla 2, puede concluirse que prácticamente coinciden las frecuencias fundamentales f_{11} obtenidas en forma analítica y experimental. Sin embargo, las frecuencias f_{31} difieren notablemente. Esto se debe, de acuerdo con los estudios efectuados por algunos autores (refs 6 y 7), a que la componente horizontal de excitación produce vibraciones verticales de importancia, así como vibraciones por flexión.

Además, se ha encontrado que únicamente la configuración del primer modo y la frecuencia asociada a este se originan por un estado de cortante puro (ref 8); en los modos superiores esta hipótesis no se cumple, y los resultados obtenidos por la teoría de la cuña de cortante pueden ser inaceptables.

Se concluye que la teoría de la cuña de cortante solo permite obtener la frecuencia correspondiente al modo fundamental, y que para los modos superiores las frecuencias obtenidas difieren notablemente de los valores determinados por otros métodos analíticos, como el que se usó en la ref 8. Esta diferencia se debe a la considerable sencillez de las hipótesis que implica la teoría mencionada.

7.2 Frecuencias determinadas en los otros modelos

Las frecuencias naturales determinadas experimentalmente en los cuatro modelos se presentan en la tabla 4. Se observa que los valores de las frecuencias fundamentales de los modelos trapecial y circular son semejantes entre sí. Esto no sucede con las frecuencias de los modos superiores, a pesar de que la amplitud de la respuesta

del tercer modo es del mismo orden en ambos modelos.

La frecuencia más alta asociada al modo fundamental correspondió al modelo triangular, y la más baja, al modelo rectangular. En cambio, la amplitud de la respuesta a la frecuencia alcanzó su valor máximo en el modelo rectangular, que fue aproximadamente tres veces mayor que la respuesta del modelo triangular, para la misma amplitud de excitación.

7.3 Comparación del amortiguamiento

El amortiguamiento, ζ , determinado a partir de las curvas de resonancia (tabla 3), resultó menor que el obtenido de pruebas de vibración torsional.

Los modelos que presentaron valores de ζ muy parecidos entre sí fueron los de secciones trapecial y triangular; el máximo valor de ζ se registró en el modelo rectangular.

8. CONCLUSIONES

1. Una mezcla de grenetina, glicerina y agua, en la proporción que se utilizó en este trabajo, constituye un material apropiado para la construcción y ensaye de algunos modelos de tipo masivo como presas de tierra, sometidos a cargas dinámicas.
2. La glicerina es el elemento estabilizador de las propiedades físico-químicas del material gelatinoso, con lo cual dichas propiedades prácticamente son independientes del tiempo.
3. La fácil recuperación del material y su bajo costo hacen que los modelos físicos contruidos con material gelatinoso constituyan un medio económico para estimar la eficiencia de algunos modelos analíticos.
4. Se considera que la deflexión vertical observada inicialmente en la corona de los modelos, no afecta los resultados de los ensayos en ellos realizados.

5. Las limitaciones de los equipos de excitación y de registro solo permitieron estudiar los modelos físicos a través de las configuraciones, en planta, correspondientes a los modos 1 y 3 de vibración transversal.
6. La detección de los modos superiores de vibración puede mejorarse si se ensayan modelos de mayor altura y se desarrollan captadores de aceleraciones y desplazamientos que puedan colocarse directamente sobre la superficie y en el interior de dichos modelos.

9. RECONOCIMIENTO

Este trabajo se llevó a cabo por iniciativa de Jorge Prince, quien aportó valiosas recomendaciones durante la etapa experimental, e hizo la revisión crítica del manuscrito. Ramón Cervantes y Octavio Rascón también revisaron el original e hicieron sugerencias al autor. Bernardo Frontana e Ignacio Mora participaron en los ensayos de los modelos. Fernando Berdichevsky colaboró en la interpretación de los resultados. Las recomendaciones de Alejandro Pastrana para la fabricación de material, permitieron que este alcanzara las características que requirieron los modelos.

10. REFERENCIAS

1. A.J. Carmichael y A.G. Douglas, "Gelatin solution as a model and photoelastic material", s.p.i.
2. R.A. Anderson, "Fundamentals of vibrations", The Macmillan Company, Nueva York (1967).
3. O.A. Rascón, " Espectros de temblores en el Valle de México considerando la viscosidad del suelo", Tesis de maestría, México, D.F. (1964).
4. W.T. Thompson, "Vibration theory and applications", George Allen and Unwin Ltd., Londres (1966).
5. N.N. Ambraseys, " On the shear response of a two-dimensional truncated wedge subjected to an arbitrary disturbance", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 50, No. 1, pp. 45-56 (ene 1960).
6. H. Ishisaki y N. Hatakeyama, " Considerations on the vibrational behavior of earth dams", Disaster Prevention Research Institute, Universidad de Kyoto, Boletín No. 52 (feb 1962).
7. R.W. Clough y A.K. Chopra, " Earthquake stress analysis in earth dams", Journal Engineering Mechanics Division, Proc. ASCE, Vol. 92, EM2 (abr 1966).

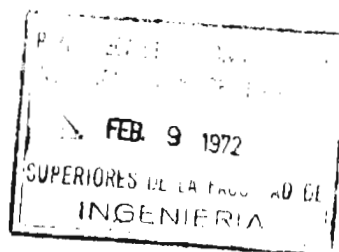


TABLA 1. PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL MATERIAL
GELATINOSO, OBTENIDAS CON DIFERENTES MEZCLAS

Mezcla No.	Proporcionamiento			Peso específico, en gr/ cm ³	G, en gr / cm ²	β
	Grenetina	Glicerina	Agua			
1	0.10	0.60	0.30	1.22	76.8	0.062
2	0.15	0.60	0.25	1.26	182.0	0.071
3	0.20	0.60	0.20	1.27	448.0	0.078

TABLA 2 . FRECUENCIAS NATURALES DEL MODELO RECTANGULAR

Frecuencias, en Hz				Frecuencias, en Hz			
Primer modo				Tercer modo			
Teóricas		Experimentales		Teóricas		Experimentales	
f_{11}	10.4	f_{11}	10.6	f_{31}	34.70	f_{31}	21.4
f_{12}	11.7	—	—	f_{32}	35.00	—	—
f_{13}	12.7	—	—	f_{33}	35.20	—	—
f_{14}	13.5	—	—	f_{34}	35.80	—	—
f_{15}	14.4	—	—	f_{35}	36.00	—	—

TABLA 3. AMORTIGUAMIENTO DE LOS MODELOS, CALCULADO A PARTIR DE LAS CURVAS DE RESONANCIA.

Modelo	ζ
Circular	0.064
Rectangular	0.076
Trapezial	0.056
Triangular	0.054

TABLA 4. FRECUENCIAS NATURALES DE LOS MODELOS, DETERMINADAS EXPERIMENTALMENTE.

Modelo	Frecuencias, en Hz		$\frac{f_{31}}{f_{11}}$
	Primer modo	Tercer modo	
Circular	14.9	21.4	1.44
Rectangular	10.6	16.7	1.58
Trapezial	15.2	19.2	1.26
Triangular	17.6	21.2	1.21

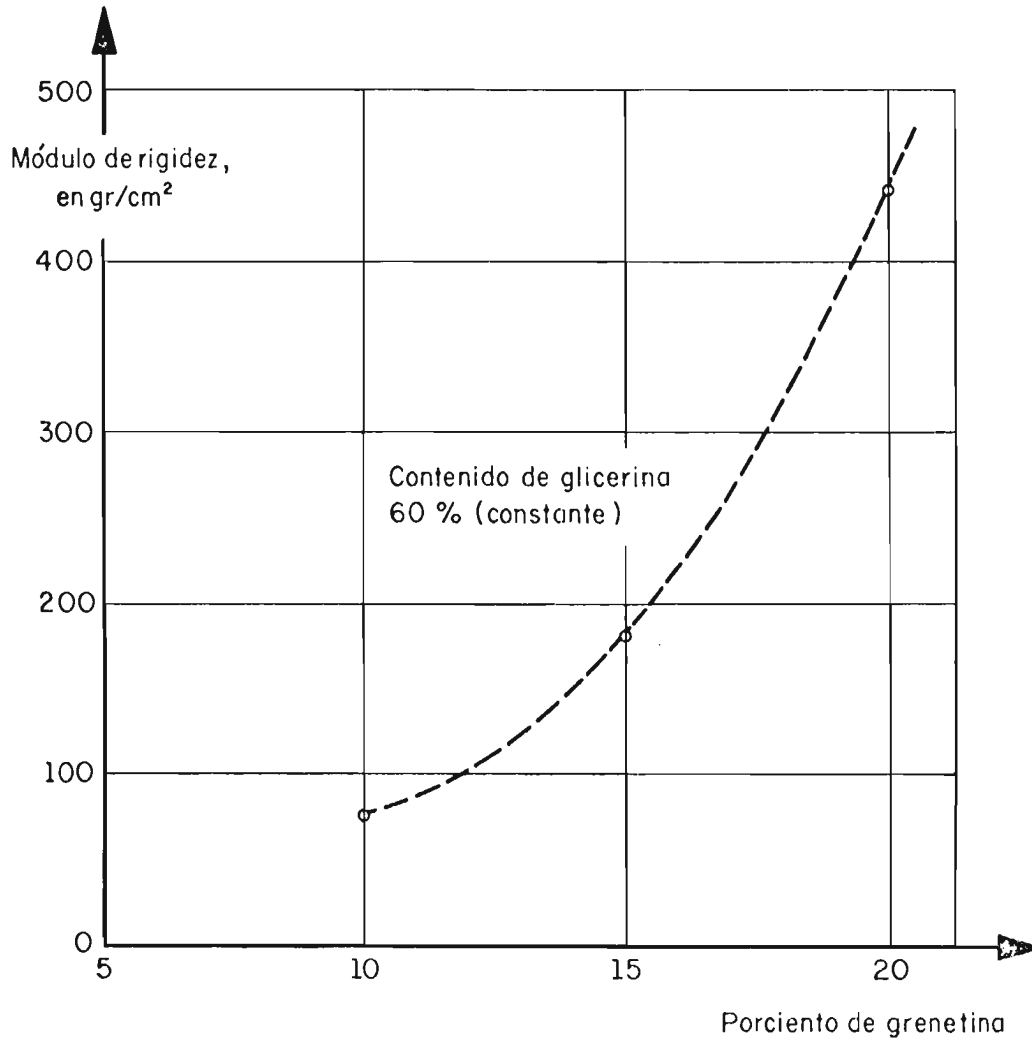


Fig 1 Variación del módulo de rigidez dinámico con el contenido de gretina

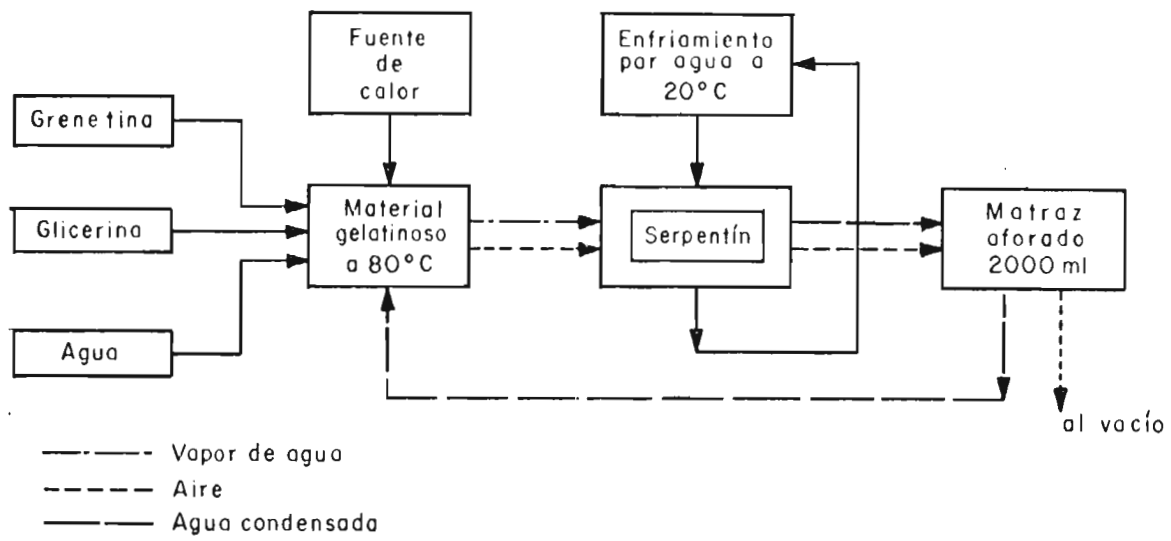


Fig 2 Diagrama funcional del equipo empleado en la fabricación del material gelatinoso

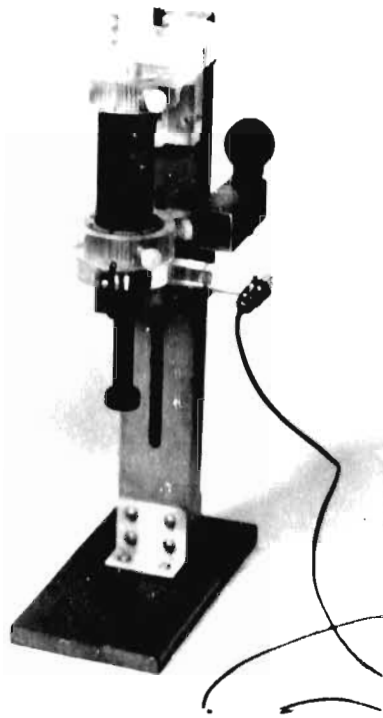


Fig 3 Dispositivo empleado en las pruebas de vibración torsional

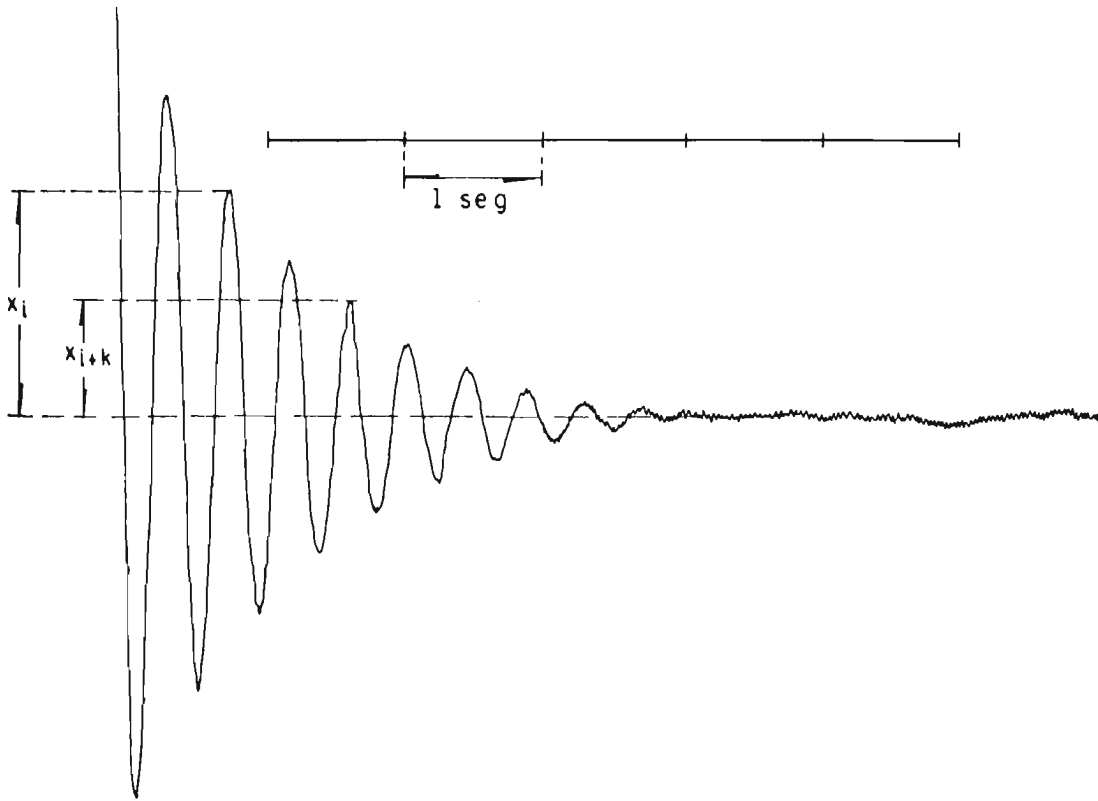


Fig 4 Registro típico de una prueba de vibración torsional

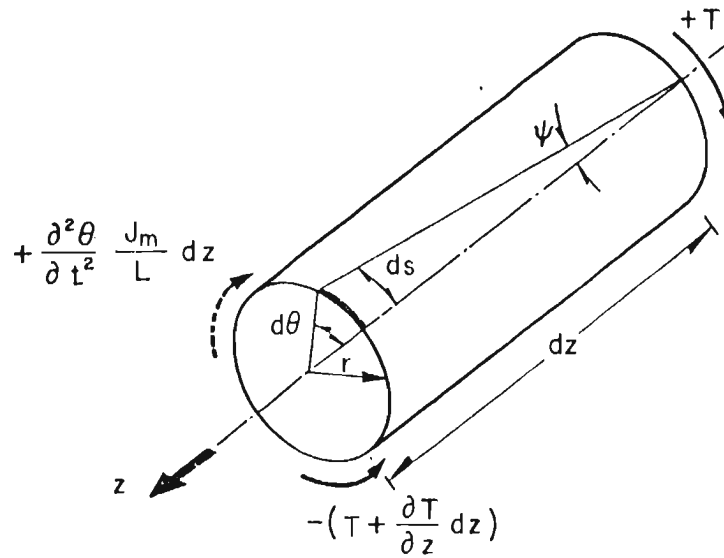
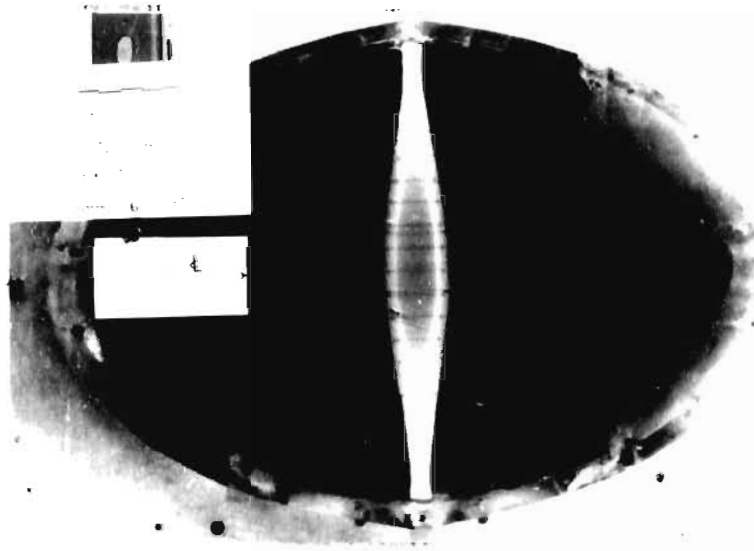
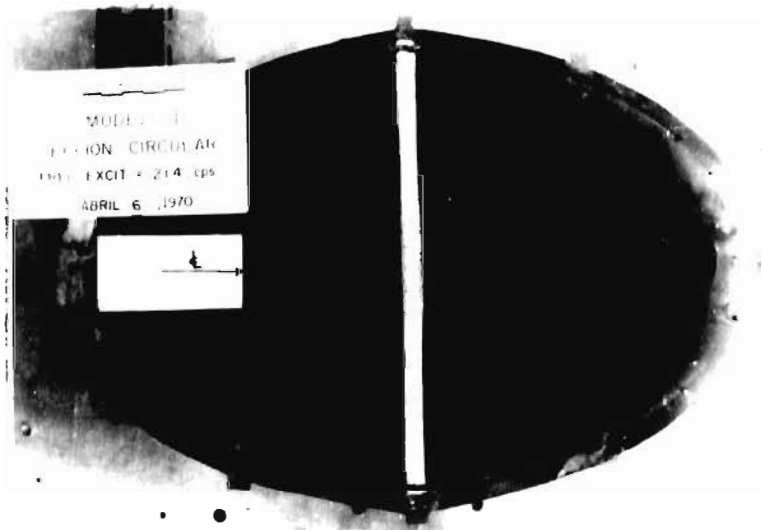


Fig 5 Equilibrio dinámico de un elemento diferencial de espécimen sometido a una prueba de vibración torsional



a) Primer modo

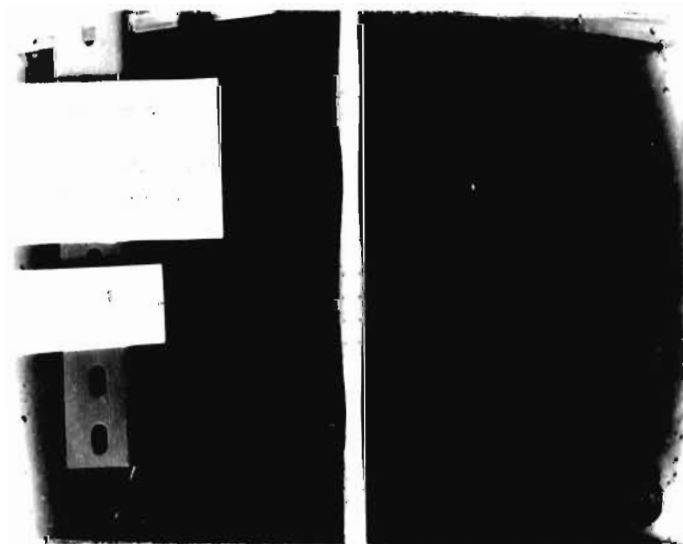


b) Tercer modo

Fig 6 Configuraciones de resonancia, en planta, obtenidas en el modelo circular

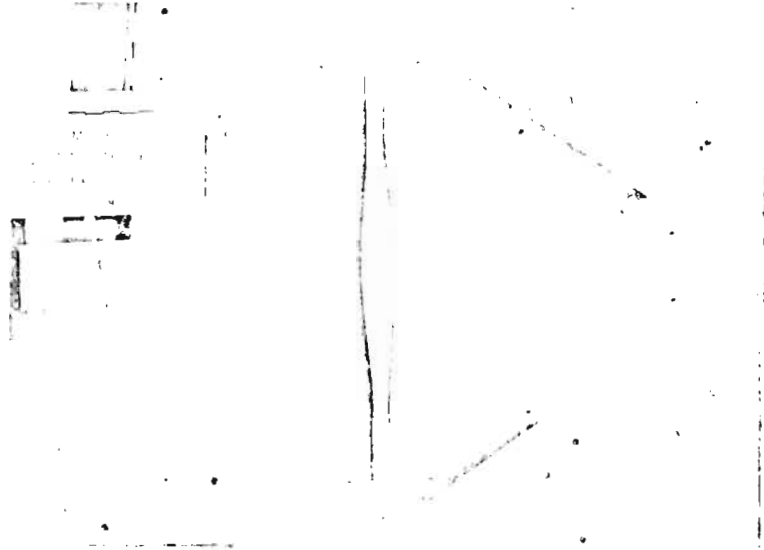


a) Primer modo

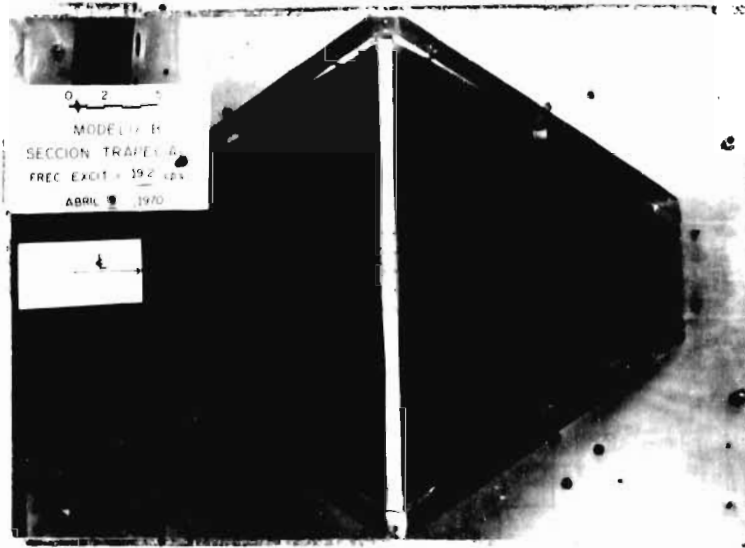


b) Tercer modo

Fig 7 Configuraciones de resonancia, en planta, obtenidas en el modelo rectangular

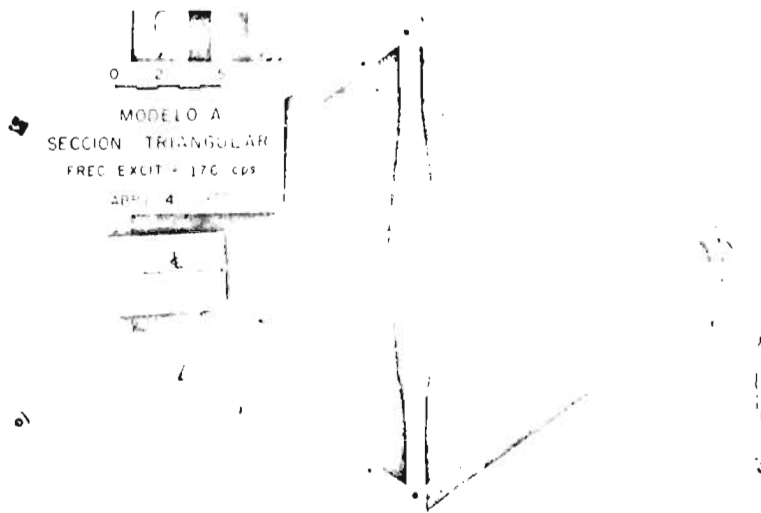


a) Primer modo

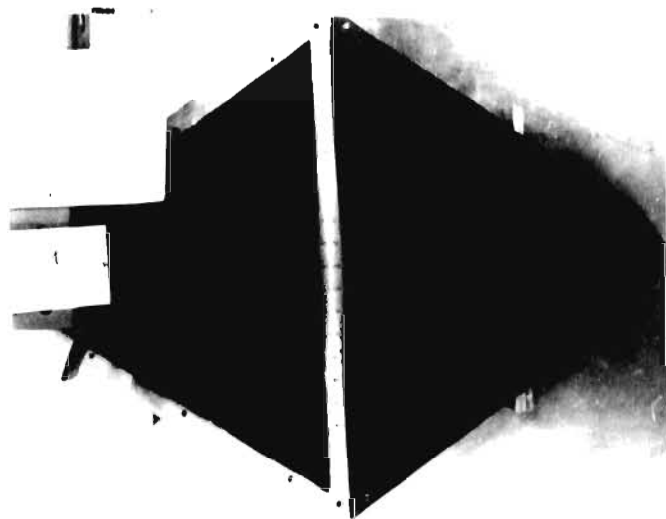


b) Tercer modo

Fig 8 Configuraciones de resonancia ,en planta ,
obtenidas en el modelo trapecial



a) Primer modo



b) Tercer modo

Fig 9 Configuraciones de resonancia, en planta, obtenidas en el modelo triangular

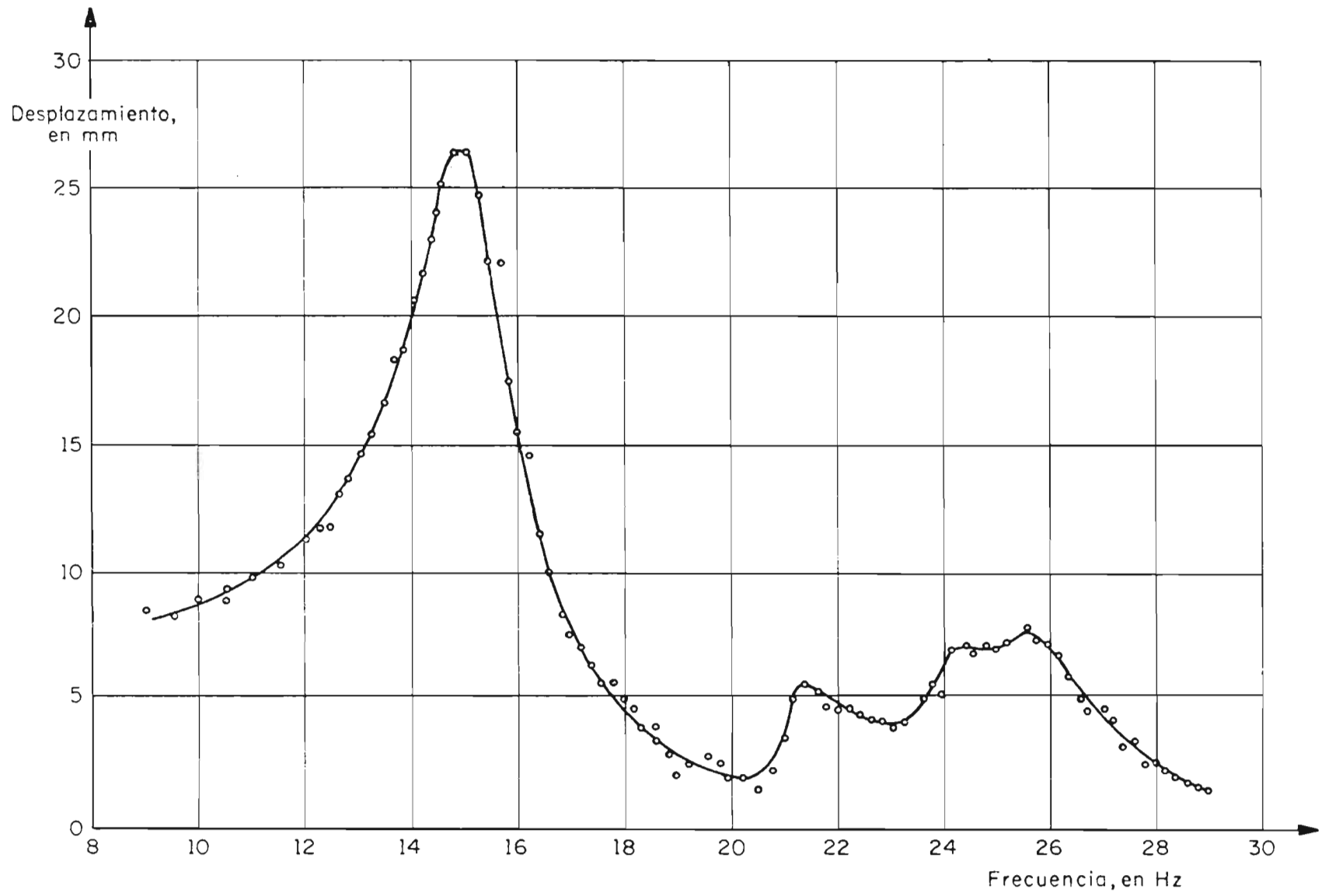


Fig 10 Curva de respuesta a la frecuencia del modelo circular

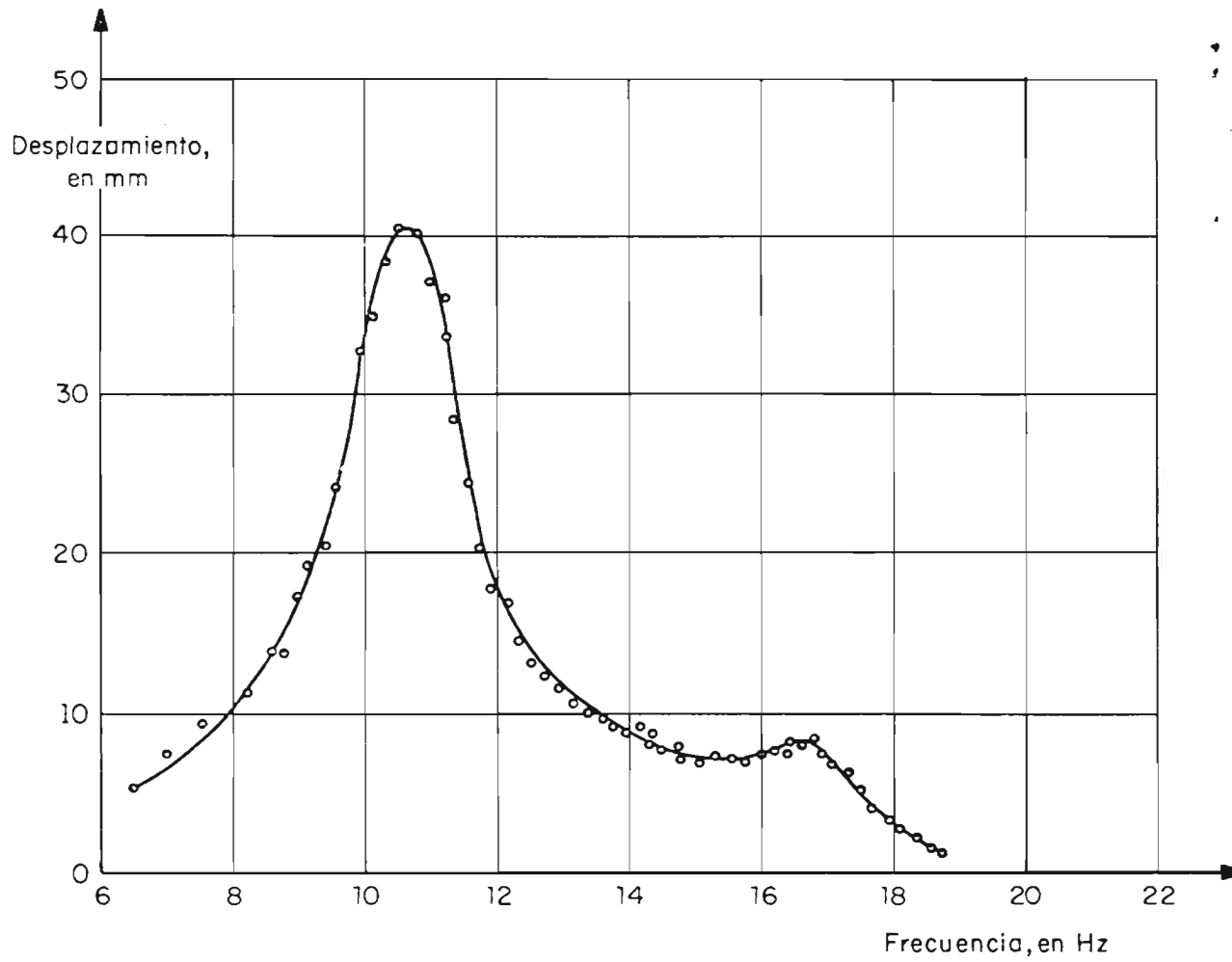


Fig 11 Curva de respuesta a la frecuencia del modelo rectangular

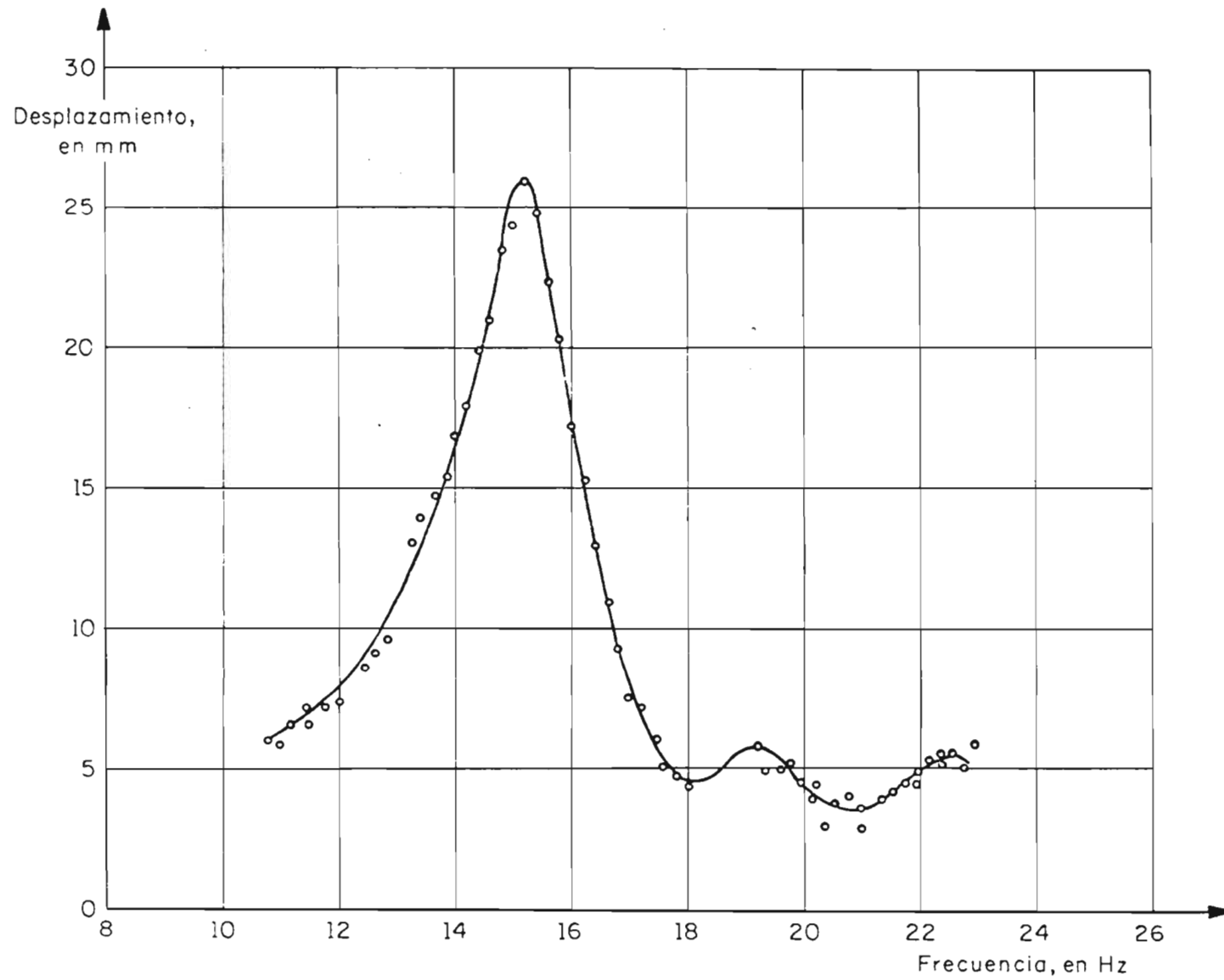


Fig 12 Curva de respuesta a la frecuencia del modelo trapecial

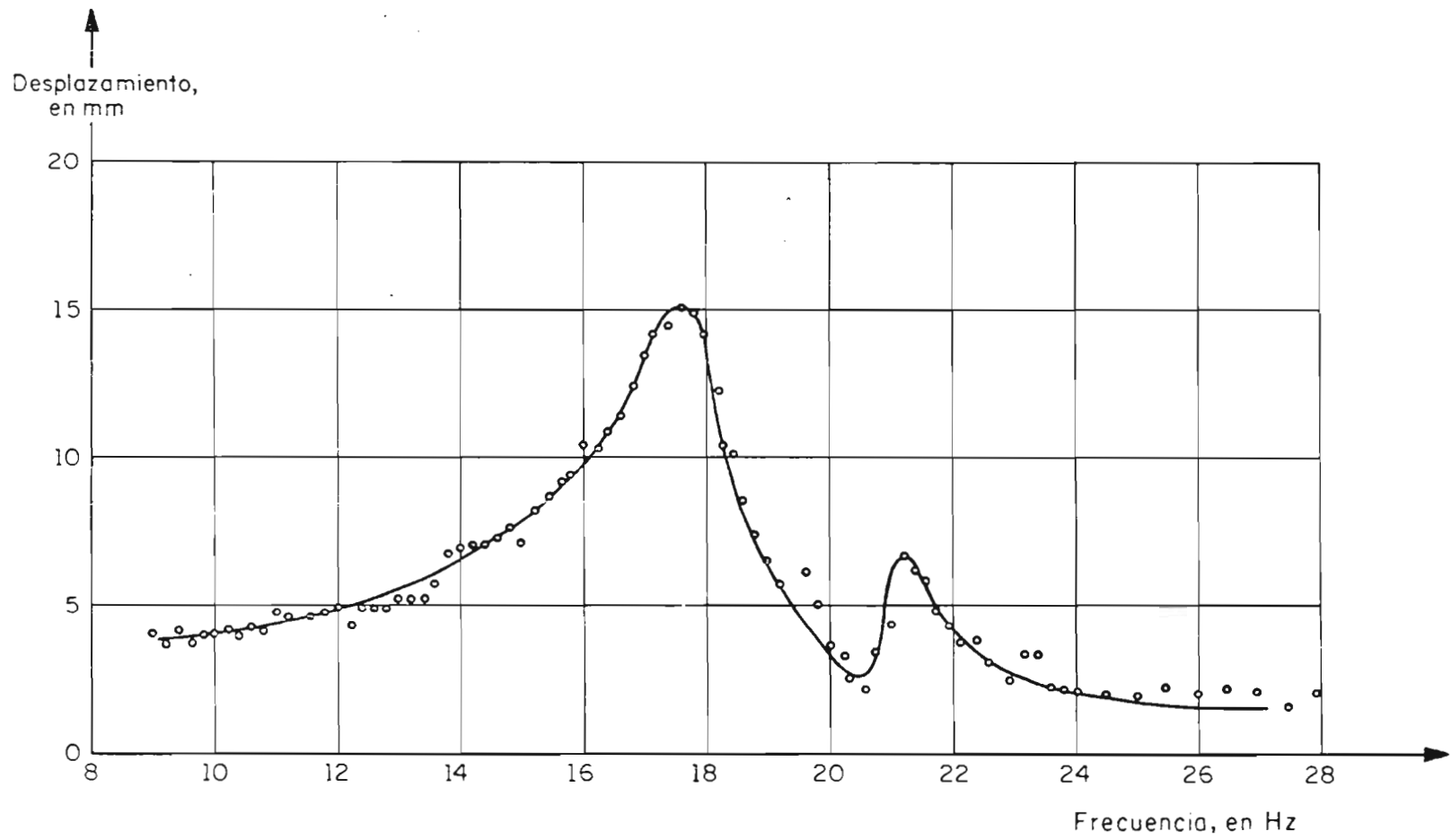


Fig 13 Curva de respuesta a la frecuencia del modelo triangular

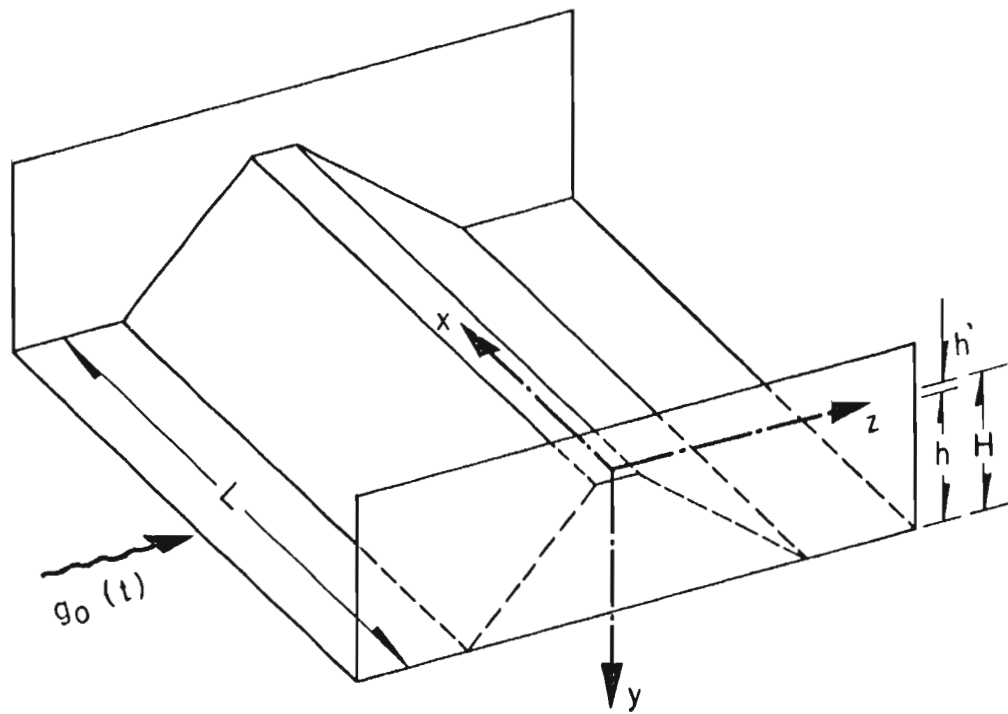


Fig 14 Características geométricas de la cuña de cortante
(según ref 6)