

0755

F

No de Adg. 18033

✓ a
40

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DEL DOCTORADO



BIBLIOTECA DEL
INSTITUTO DE INGENIERIA

Espectros de Temblores en el
Valle de México Despreciando
el Amortiguamiento del Suelo



TESIS

QUE PARA OBTENER EL
GRADO DE MAESTRO EN
INGENIERIA "ESTRUCTURAS"
PRESENTA
JORGE R. ELORDUY CANDIANI

MEXICO, D. F.
1964

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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.

c

Desee expresar mi profunda gratitud a todas las personas que me proporcionaron su ayuda para la elaboración del presente trabajo, muy especialmente a los doctores Emilio Rosenbluth e Ismael Herrera.

2 ✓

INDICE

Introducción..... 1

Capítulo I. Teoría general..... 2

Capítulo II. Ensayes de campo y de laboratorio..... 14

Capítulo III. Resultados numéricos..... 22

Capítulo IV. Aplicación numérica y conclusiones..... 33

- INTRODUCCION -

El estudio de la reflexión múltiple de las ondas al cruzar formaciones de terreno de diferentes características es necesario con el fin de establecer una relación que ligue los fenómenos que ocurren a una cierta profundidad y sobre mantos más firmes con los fenómenos que se detectan en la superficie en el mismo lugar.

En años recientes este problema ha merecido la atención de diversos investigadores debido principalmente a que casi todos los estudios anteriores relacionados con ingeniería sísmica se habían llevado a cabo bajo la hipótesis de que las estructuras sujetas a movimiento de su base descansan sobre terreno firme. Como no es éste el caso para todas ellas, se han hecho necesarios estudios que permitan adaptar los resultados anteriores al caso de estructuras cimentadas sobre terreno blando, a partir de los que se han propuesto fórmulas experimentales que en función del período de la estructura analizada y de las características del terreno en el lugar, proporcionan el factor por el que hay que afectar a los espectros supuestos para mantos firmes. (1,2,3,4)⁽¹⁾

El propósito de este estudio es obtener la relación que existe, para el Valle de México en la zona del lago, entre los fenómenos sísmicos que suceden sobre los mantos firmes y los que afectan a las estructuras en la superficie.

(1) Los superíndices significan referencias bibliográficas proporcionadas al final del trabajo.

CAPITULO I. - TEORIA GENERAL

En este estudio se supondrán las siguientes hipótesis.

- a).- El suelo está constituido por un material elástico, homogéneo e isótropo.
- b).- Las fronteras que separan zonas de diferentes propiedades elásticas son horizontales y de extensión infinita.
- c).- La frontera del manto firme sobre la que descansan las restantes, sufre sólo desplazamientos según un eje horizontal que llamamos X, pero no de -
formaciones.

Respecto a la primera hipótesis, aun cuando depende en cada caso particular del suelo en estudio, se puede aceptar puesto que los materiales cohesivos manifiestan dichas propiedades en rangos más o menos amplios.

La segunda depende también de cada caso, pero si se considera que en general la estratificación tiende a ser horizontal, su aceptación no constituirá un problema. Además, como se verá posteriormente, en ciertos casos no tiene importancia el que esta hipótesis no se verifique con exactitud. El suponer también que las fronteras se extienden indefinidamente nos coloca ampliamente dentro de toda aproximación práctica.

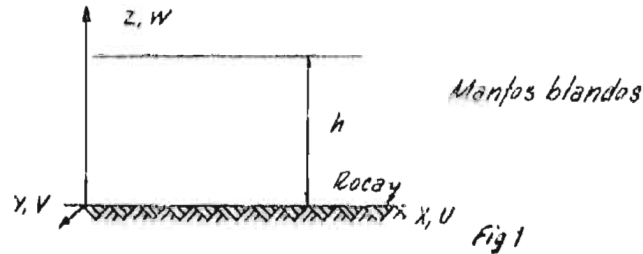
La tercera hipótesis no exige discusión pues en ella solamente se limita el campo de aplicación de este estudio, además de que en general las componentes de los mismos que originan mayor cuantía en sus daños, son precisamente las correspondientes a este desplazamiento.

Bajo estas condiciones es fácil ver que al iniciarse el movimiento en el manto firme se generará, por condición de isotropía, un estado de esfuerzo cortante puro excluyéndose por lo tanto cualquier movimiento vertical. Además, dicho estado de esfuerzo es plano.

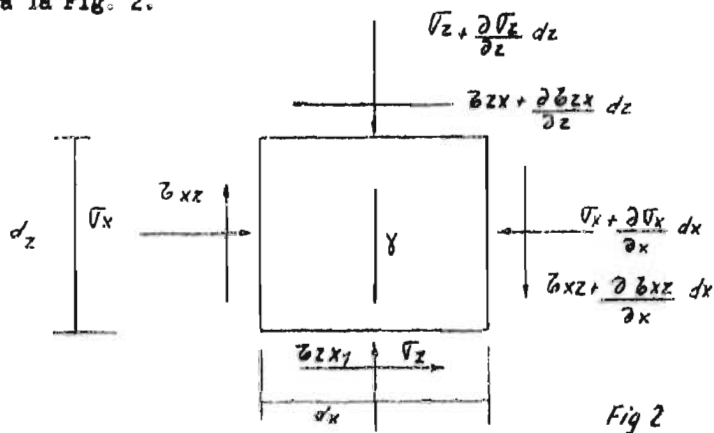
Por todo lo anterior se puede concluir que

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \tau_{yz} = \tau_{zy} = \tau_{xz} = \tau_{zx} = 0 \tag{1.1}$$

donde \bar{V}_y , $\bar{\tau}_{xy}$, $\bar{\tau}_{yx}$, $\bar{\tau}_{yz}$ y $\bar{\tau}_{zy}$ de acuerdo con la anotación usual de elasticidad son cinco de las nueve componentes que definen al tensor del estado de esfuerzo y V y W son las componentes del vector desplazamiento según los ejes Y y Z como se observa en la Fig. 1.



Si de acuerdo con lo anterior se aísla un elemento diferencial en una zona de los mantos blandos, ésta estará sujeta al estado de esfuerzos que muestra la Fig. 2.



Por simetría se puede suponer

$$\frac{\partial \bar{V}_x}{\partial x} = \frac{\partial \bar{\tau}_{xz}}{\partial x} = 0 \quad (1.2)$$

Teniendo en cuenta la Ec. 1.2 el equilibrio estático según el eje Z exige:

$$\left(\bar{V}_z + \frac{\partial \bar{V}_z}{\partial z} dz \right) dx + \gamma dx dz - \bar{V}_z dx = 0 \quad (1.3)$$

donde γ representa el peso volumétrico del elemento considerado.

Condición a partir de la cual se puede obtener

$$\frac{\partial \bar{V}_z}{\partial z} = -\gamma \quad (1.4)$$

También por simetría se puede escribir

$$\frac{dV_z}{dz} = -\gamma \quad (1.5)$$

Integrando esta expresión y tomando en cuenta la condición de frontera

$$V_z \Big|_{z=h} = 0 \quad (1.6)$$

Se puede escribir si se supone que γ permanezca constante

$$V_z = -\gamma (h-z) \quad (1.7)$$

Por otra parte, de acuerdo con el principio de D'Alembert, el equilibrio dinámico según el eje X conduce a

$$\left(\zeta_{zx} + \frac{\partial \zeta_{zx}}{\partial z} dz \right) dx - \zeta_{xz} dx + \left(\overline{V}_x + \frac{\partial \overline{V}_x}{\partial x} dx \right) dz - \overline{V}_x dz - \frac{\gamma}{g} dz dx \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0 \quad (1.8)$$

Reduciendo términos y teniendo presente la Ec. 1.2, se puede escribir

$$\frac{\partial \zeta_{zx}}{\partial x} = \frac{\gamma}{g} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0 \quad (1.9)$$

Si

$$\frac{\gamma}{g} = c \quad (1.10)$$

y puesto que

$$\zeta_{zx} = G \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \quad (1.11)$$

la Ec. 1.9 se transforma en

$$\frac{\partial}{\partial x} G \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) - c \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0 \quad (1.12)$$

Pero de acuerdo con la Ec. 1.1

$$G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - c \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0 \quad (1.13)$$

Llamando a

$$\frac{G}{c} = v^2 \quad (1.14)$$

se obtiene:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - v^2 \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0 \quad (1.15)$$

Si se considera que tanto G como C permanecen constantes en la zona de suelo considerada, v^2 será constante por lo que la Ec. 1.15 será de variables separadas.

Proponiendo como solución de la Ec. 1.15 a la función

$$u_n = Z_n(z) \theta_n(t) \quad (1.16)$$

donde $Z_n(z)$ es función exclusiva de z y θ_n función solo del tiempo, se obtiene, al sustituir en la ecuación diferencial

$$Z_n \ddot{\theta}_n - v^2 Z_n'' \theta_n = 0 \quad (1.17)$$

donde los puntos denotan derivada con respecto al tiempo y las primas derivadas con respecto a z .

Ordenando términos en la Ec. 1.17

$$\frac{\ddot{\theta}_n}{\theta_n} = \frac{v^2 Z_n''}{Z_n} \quad (1.18)$$

Pero esta igualdad sólo se satisface si ambos miembros son iguales a una constante, por lo que

$$\frac{\ddot{\theta}_n}{\theta_n} = \frac{v^2 Z_n''}{Z_n} = -\omega_n^2 = \text{constante} \quad (1.19)$$

por lo que la ecuación diferencial parcial 1.15 se ha transformado en un sistema de dos ecuaciones diferenciales ordinarias

$$\left. \begin{aligned} \ddot{\theta}_n + \omega_n^2 \theta_n &= 0 \\ Z_n'' + \frac{\omega_n^2}{v^2} Z_n &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.20)$$

cuya integración conduce a

$$\left. \begin{aligned} \theta_n &= C_1 \sin \omega_n (t - t_0) \\ Z_n &= C_2 \sin \frac{\omega_n}{v} (z - z_0) \end{aligned} \right\} \quad (1.21)$$

donde C , t_n y Z_n son constantes obtenidas en la integración

Sustitúyase la Ec. 12 en la 1.14

$$U_n = C_n \operatorname{sen} \omega_n (t - t_n) \operatorname{sen} \frac{\omega_n}{v} (Z - Z_n) \quad (1.22)$$

Agrúpanse C y t_n en una sola constante

$$U_n = B \operatorname{sen} \omega_n (t - t_n) \operatorname{sen} \frac{\omega_n}{v} (Z - Z_n) \quad (1.23)$$

Suponiendo por ejemplo el caso de un solo manto blando sobre el firme con las siguientes condiciones de frontera

$$\left. \begin{aligned} U(0, t) &= 0 \\ Z_{ZY}(h, t) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.24)$$

al sustituir en la Ec. 1.23 se encuentra, de la primera condición

$$t_n = 0 \quad (1.25)$$

y de la segunda

$$\cos \frac{\omega_n}{v} h = 0 \quad (1.26)$$

Pero para que la Ec. 1.26 se satisfaga, es condición necesaria que

$$\omega_n = \frac{(2n-1)\pi v}{2h} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (1.27)$$

De lo anterior se concluye que el problema hasta ahora tratado es de valores característicos, en el que Z_n suministra los modos de vibración y los valores característicos los de las frecuencias proporcionadas por la Ec. 1.27, de la que es fácil obtener

$$\left. \begin{aligned} T_n &= \frac{4h}{v} \\ T_n &= \frac{T_n}{(2n-1)} = \frac{4h}{(2n-1)v} \end{aligned} \right\} \quad (1.28)$$

Por tanto si un manto blando estuviere sujeto a un movimiento -

definido por la ley arbitraria $U_0(z)$ se puede escribir

$$U(z, t) = -\sum_n \frac{a_n}{\omega_n} \sin \frac{\omega_n z}{v} \int_0^t U_0(\xi) \sin \omega_n (t - \xi) d\xi \quad (1.29)$$

donde

$$a_n = \frac{\int_0^h m \sin\left(\frac{\omega_n}{v} z\right) dz}{\int_0^h m \sin^2\left(\frac{\omega_n}{v} z\right) dz} \quad (1.30)$$

Para un caso cualquiera, los valores de ω_n y v se podrán determinar respectivamente, de las condiciones de frontera y de la Ec. 1.14.

Sin embargo, puesto que lo que interesa conocer es el movimiento de la superficie del terreno cuando el seno de un manto firme experimenta desplazamientos, se debe atacar el problema desde otro punto de vista.

En efecto, a partir de la ecuación diferencial original 1.15 es fácil observar que la solución de la misma está dada por

$$\left. \begin{aligned} U &= F_1\left(\frac{z}{v} - t\right) \quad (a) \\ U &= F_2\left(\frac{z}{v} + t\right) \quad (b) \end{aligned} \right\} \quad (1.31)$$

o por la combinación lineal de ambas. Esto es sencillo comprobarlo sustituyéndolas en dicha ecuación diferencial.

Considérense por ejemplo en la Ec. 1.31 a dos parejas de valores Z_1, t_1 y Z_2, t_2 para las que U adopta el mismo valor y tales que $Z_1 <$

$$Z_2, t_1 < t_2$$

Se tiene por condición de igualdad

$$Z_2 - Z_1 = v (t_2 - t_1) \quad (1.32)$$

ecuación que permite observar que v representa la velocidad de translación de las ondas transversales cuando éstas se desplazan de una ordenada menor a una mayor. Análogamente se puede demostrar que cuando la Ec. 1.31 resuelve el problema la onda se desplaza de ordenadas mayores a menores.

Tomando en consideración la zona de contacto de dos mantos con diferentes propiedades elásticas se tendrá que una onda U_1 ascendente en el manto inferior origina otras dos, que serán U_2 (reflejada) y U_3 (refractada). En estas condiciones se puede demostrar que si

$$U_1 = F_1 \left(\frac{z}{V_0} - t \right) \quad (1.33)$$

$$\left. \begin{aligned} U_2 &= \alpha F_1 \left(-\frac{z}{V_0} - t \right) \\ U_3 &= (1 + \alpha) F_1 \left(\frac{z}{V_0} - t \right) \end{aligned} \right\} \quad (1.34)$$

donde

$$\alpha = \frac{\rho_0 V_0 - \rho V}{\rho_0 V_0 + \rho V} \quad (1.35)$$

Siendo ρ_0, V_0 las propiedades ya definidas correspondientes al manto inferior y ρ, V las del superior.

En efecto, por condición de equilibrio se tiene

$$G_0 \left(\frac{\partial u_1}{\partial z} + \frac{\partial u_2}{\partial z} \right) = G \left(\frac{\partial u_3}{\partial z} \right) \quad (1.36)$$

En esta ecuación G_0 y G representan respectivamente los módulos de rigidez a la torsión de los mantos inferior y superior.

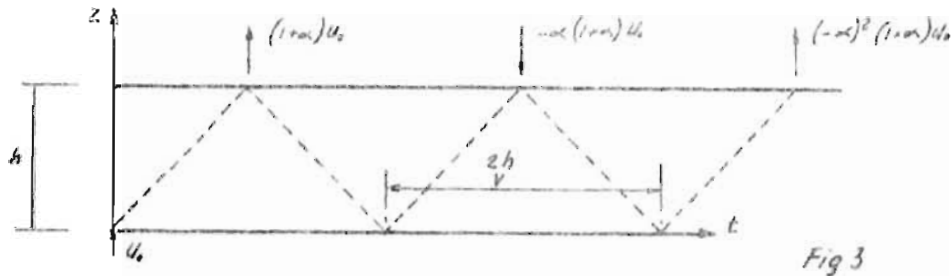
Por ejemplo, para el caso de la superficie

$$\left. \begin{aligned} \rho &= 0 \\ \rho V &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.37)$$

Si se sustituyen estos valores en las Ecs. 1.34 y 1.36 se observa que ambas se satisfacen. Análogamente se puede hacer la demostración para una onda descendente solo que, si se conserva la notación ya definida, α cambiará por $-\alpha$ en las Ecs. 1.34.

Por tanto para el caso de un solo manto blando sobre roca firme, si esta última se supone de profundidad infinita, una onda de desplazamiento que viaje hacia arriba se refleja en la frontera en proporción de α y se trasmite al manto blando en proporción $(1 + \alpha)$. Al llegar a la su-

porficie se refleja sin cambio en signo, al descender hacia la frontera, se refleja en proporción $-\alpha$ y se transmite a la roca en proporción $(1-\alpha)$ y así sucesivamente, como se indica gráficamente en la Fig 3



Se observa que lo anterior equivale a resolver el problema mediante el método de características pues se trata de un caso de propagación.

De acuerdo con lo anterior se puede escribir que para la superficie

$$U(t) = (1+\alpha) \sum_{n=0}^{\infty} (-\alpha)^n u_0 \left(t - (2n+1) \frac{h}{v} \right) \quad (1.38)$$

Aun cuando este estudio es aparentemente muy restringido debido a que se supone que los mantos son horizontales y que las constantes elásticas permanecen constantes a lo largo de un manto, como se dijo anteriormente se puede demostrar que lo anterior no influye mayormente en los resultados que se obtengan. En efecto, respecto a lo primero se puede demostrar que

$$\frac{\sin \theta}{\sin \theta_0} = \frac{v}{v_0} \quad (1.39)$$

donde $\sin \theta$ y $\sin \theta_0$ se definen de acuerdo con la Fig. 4.

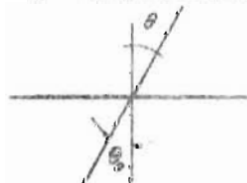


Fig 4

Por lo que si $v \ll v_0$, θ prácticamente independiente de θ_0 , será muy pequeña pudiendo aceptarse una incidencia normal en la superficie.

Respecto a lo segundo Amkrayseys demostró que aun para relaciones -

de los valores extremos de C en el manto del orden de 20 los períodos fundamentales se alteran sólo en un 10% .

Finalmente se tratará a continuación el concepto de mayor interés, o sea el factor de liga entre los desplazamientos en la superficie de la roca y la superficie del terreno, para lo que será necesario definir primeramente algunos conceptos auxiliares, aclarando que se tratará por lo pronto el caso de un solo manto blando.

Es sabido que los espectros de desplazamientos proporcionan

$$D = \max \left\{ y(t) \right\}, t \geq 0 \quad (1.40)$$

donde $Y(t)$ proporciona el desplazamiento relativo entre el objeto vibrante y su base.

Se define como espectro residual

$$D_r = \max \left\{ Y(t) \right\} \quad t \geq S \quad (1.41)$$

En la expresión anterior, S denota la duración del movimiento de la base.

De las Ec. 1.40 y 1.41 se observa que D contiene a D_r , y que por lo mismo

$$D \geq D_r \quad (1.42)$$

verificándose la igualdad sólo cuando el máximo ocurra para $t \geq S$

Puesto que en el presente estudio no se ha considerado el efecto de amortiguamiento ya que éste será objeto de otro en desarrollo, el movimiento para $t \geq S$ queda definido por

$$Y(t) = D_r \sin(\omega \cdot t - t_1) \quad (1.43)$$

Si se emplea el índice $\underline{0}$ para designar las propiedades en la frontera de la roca y sin índice para la superficie del terreno, D_0 es el espectro en caso de no existir manto blando y D el espectro en presencia del

manto. Por lo que

$$\begin{aligned} D_0 &\geq D_{0r} \\ D &\geq D_r \end{aligned} \quad (1.44)$$

Si

$$\beta = \frac{D_r}{D_{0r}} \quad (1.45)$$

Teniendo presente la Ec. 1.44 se tendrá

$$\beta D_0 \geq 0 \geq D_r = \beta D_{0r} \quad (1.46)$$

satisfaciéndose las igualdades sólo si

$$\left. \begin{aligned} D_0 &= D_{0r} \\ D &= D_r \end{aligned} \right\} \quad (1.47)$$

Si se supone

$$\beta D_0 = D \quad (1.48)$$

de acuerdo con la Ec. 1.46 esta expresión, para el caso general, proporciona resultados dentro de la seguridad salvo cuando se verifica 1.47

Si se define

$$Y_0 = D_{0r} \quad (1.49)$$

De acuerdo con las Ec. 1.38, 1.41 y 1.43 en la superficie del manto blando se tendrá para la estructura

$$y = (1 + \infty) Y_0 \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} (-\infty)^n \operatorname{sen} n\omega(t - \tilde{\tau}) \right\} \quad (1.50)$$

Para Y máx. se tendrá el caso de D_r . Tomando en cuenta la Ec. 1.45 el valor máximo de β se obtendrá cuando la Ec. 1.50 adquiera un máximo *maximorum* el que sólo sucederá cuando la estructura colocada sobre el manto blando entre en resonancia con él. Para este caso será necesario que sus períodos estén también proporcionados por la Ec. 1.28, que la suma en la Ec. 1.50 sea desde $0 \leq n \leq \infty$ y que $\operatorname{sen} n(t - \tilde{\tau}) = 1$ si

$(-\infty)^n$ es positivo e igual a -1 si $(-\infty)^n$ es negativo.

Sustituyendo en las Ec. 1.50, 1.49 y 1.45

$$\beta_{\text{máx}} = (1 + \alpha) \sum_{n=0}^{\infty} \alpha^n \quad (1.51)$$

o lo que es lo mismo

$$\beta_{\text{máx}} = \frac{(1 + \alpha)}{(1 - \alpha)} \quad (1.52)$$

de acuerdo con la Ec. 1.35

$$\beta_{\text{máx}} = \frac{v_0 p_0}{v c} \quad (1.53)$$

Se ha demostrado⁽⁵⁾ que para períodos de estructuras diferentes o los de resonancia, β está proporcionado por

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{v c}{v_0 c_0}\right)^2 \text{sen}^2 \frac{\pi}{2} \frac{T_1}{T} + \text{cos}^2 \frac{\pi}{2} \frac{T_1}{T}}} \quad (1.54)$$

donde T representa el valor del período de la estructura analizada y

$$T_1 = \frac{4h}{v}$$

Se puede observar que esta fórmula coincide en sus valores máximos con la Ec. 1.53 cuando $T = \frac{4h}{(2n-1)v}$ sin embargo esta indeterminada para el caso en que $T = 0$, ésto es, cuando la estructura analizada sea infinitamente rígida. Para este caso de acuerdo con el cálculo de probabilidades

$$y \leq \sqrt{\sum_n y^2} \quad (1.55)$$

o de acuerdo con la Ec. 1.51

$$y \leq \left((1 + \alpha) \sqrt{\sum_{n=0}^{\infty} \alpha^n} \right) y_0 \quad (1.56)$$

Por lo que si se sustituye la Ec. 1.56 en la Ec. 1.45

$$\beta \leq \sqrt{\frac{1 + \alpha}{1 - \alpha}} = \sqrt{\frac{v_0 p_0}{v c}} \quad (1.57)$$

Considerando la igualdad, se estará dentro de la seguridad.

Del análisis de la Ec. 1.53 se puede ver que ésta fluctúa entre un mínimo de $\beta = 1$ a un máximo de $\beta = \frac{V_0 e_0}{V e}$

teniéndose que para el origen $\beta = \sqrt{\frac{V_0 e_0}{V e}}$ Los valores de β así obtenidos están exagerados principalmente en el origen y en los máximos.

Para el caso de mantos múltiples, el problema analítico se complica, sin embargo, se ha propuesto (5) una solución gráfica que consiste en lo siguiente:

A partir de un origen arbitrariamente seleccionado se traza un vector unitario. Del extremo de éste se lleva un arco que circunscribe un ángulo igual a $\frac{h_i}{2} \frac{T_i}{T}$ donde T representa el período de la estructura analizada y T_i el período fundamental del manto inmediato a la superficie. A la ordenada del extremo del arco se lo divide por la relación $\frac{V_0 e_0}{V_2 e_2}$ entendiéndose la numeración de índices de arriba hacia abajo. Para pasar al siguiente manto, se repite este mismo procedimiento el que se llevará a cabo tantas veces como mantos blandos existan sobre la roca.

El valor final de β se obtiene calculando el recíproco del vector de posición correspondiente al final del trazo.

Los valores de β que por medio de este estudio se obtengan, estarán exagerados más aún si se observa que no se ha considerado el efecto de amortiguamiento el que por sí solo lo disminuye grandemente, sobre todo tratándose de períodos cortos de la estructura.

CAPITULO 2.- ENSAYES DE CAMPO Y DE LABORATORIO.

Para el cálculo de β en el capítulo anterior, es necesario conocer las características del subsuelo. Se detallarán a continuación, los métodos experimentales y analíticos que con tal fin se siguieron.

En el transcurso de los quince primeros días del mes de enero del presente año, se encomendó a Servicios Geofísicos S. A. de C. V., la obtención de las velocidades de propagación de ondas en la Alameda Central de México, D. F., así como las profundidades a las que se detectan discontinuidades en dichas velocidades.- En esa ocasión el trabajo se hizo mediante el método sísmico de refracción perforando tres pozos de tiro y colocando 24 detectores. Con el empleo de cartuchos de dinamita de 108 gr en los pozos de tiro se obtuvieron los sismogramas en los 24 detectores para cada uno de los pozos. Se llegó a los siguientes resultados.

Se determinaron tres velocidades de propagación de ondas longitudinales provocadas por esfuerzos de compresión correspondientes a las profundidades que marca la siguiente tabla

h (m)	v_p (m/seg)
0 - 5	380
5 -20	1100
20 -60	1575

Se trató de obtener de los mismos sismogramas la velocidad de propagación de las ondas transversales o de cortante (v_s), sin embargo no fue posible, puesto que el arribo de las mismas a los detectores coincidió con un conjunto de reflexiones y refracciones de las ondas P y a pesar de que se puede demostrar que

$$v_s = v_p \sqrt{\frac{1-2\nu}{2(1-\nu)}} \quad (2.1)$$

donde ν es el coeficiente de Poisson, el desconocimiento de este coeficiente a lo largo de los mantos impide la aplicación de la Ec. 2.1, por lo anterior y an-

to la necesidad de conocer otras propiedades como el peso volumétrico y el módulo de rigidez a torsión, fue necesario encomendarle a la misma Compañía otra exploración la que se efectuó durante el mes de febrero del presente año habiendo consistido en lo siguiente:

Se perforó un pozo de 60.00 m de profundidad con tubo Shelby del que se obtuvieron muestras que, por el procedimiento de perforación seguido, se suponen inalteradas. Estas muestras se sacaron de diferentes profundidades tal y como se indica en los resultados del capítulo III. A continuación, mediante la explosión de pequeñas cargas de dinamita en 11 puntos del pozo, se registraron los sismogramas correspondientes que fueron lo suficientemente claros para poder registrar lo que se creyó podían ser las ondas S. Debido a que se observó el arribo de varios trenes de ondas, se hizo necesaria una comprobación de los resultados obtenidos por Servicios Geofísicos, por lo que a las muestras inalteradas obtenidas se les pesó y midió obteniendo su peso volumétrico (γ) y su densidad relativa (ρ), a continuación se les sujetó en el aparato del Instituto de Ingeniería a una prueba de vibraciones torsionales inducidas mediante la aplicación de una deformación angular inicial en su extremo móvil, con lo que se pudo obtener para cada probeta un sismograma mostrando el comportamiento del suelo en vibraciones libres. Con los datos anteriores es posible determinar el módulo de rigidez torsional y a partir de éste, por la aplicación de la Ec. 1.14, la velocidad de propagación de las ondas de cortante.

En efecto, por el proceso seguido al someter a las probetas a vibraciones libres, éstas se encuentran como se muestra esquemáticamente en la Fig. 5.

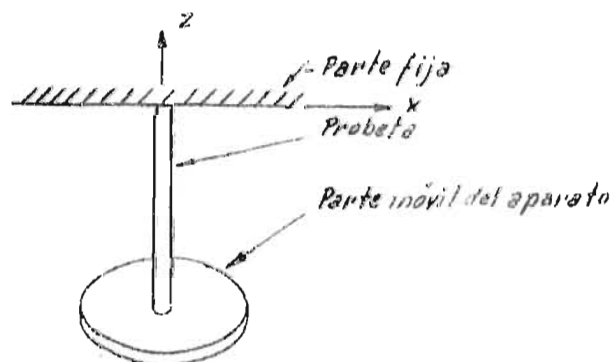


Fig. 5

Si se define

L = longitud de la probeta

J_M = momento de inercia de masa de la probeta respecto a su eje de rotación
(en este caso el Z)

ϕ = ángulo de rotación de una sección cualquiera.

I_p = momento polar de área de la sección transversal de la probeta.

J_2 = momento de inercia de masa de la parte móvil del aparato respecto al -
eje Z

r = radio de la probeta

Haciendo uso de estos conceptos y de los definidos con anterioridad, aislando un elemento diferencial de la probeta cuando ésta ha sufrido una rotación respecto al eje Z , el equilibrio dinámico de acuerdo con el principio de D'Alembert conduce a

$$\left(M + \frac{\partial M}{\partial z} dz\right) - M = \frac{\int m}{L} dz \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} \quad (2.2)$$

donde M es el momento torsionante en la sección considerada.

Reduciendo términos, la Ecuación 2.2 se transforma en

$$\frac{\partial M}{\partial z} = \frac{\int m}{L} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} \quad (2.3)$$

Sin embargo, como la sección transversal de las probetas es circular

$$M = G I_p \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (2.4)$$

por lo que

$$\frac{\partial M}{\partial z} = G I_p \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} \quad (2.5)$$

Si se sustituye la Ec. 2.5 en la Ec. 2.3

$$G I_p \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = \frac{\int m}{L} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} \quad (2.6)$$

o lo que es lo mismo

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} - \frac{G I_p L}{\int m} \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (2.7)$$

Por definición de conceptos, puesto que la probeta es cilíndrica

$$\left. \begin{aligned} I_p &= \frac{\pi r^4}{2} \\ J_m &= \frac{\pi r^4}{2} L \rho \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

En estas condiciones la Ec. 2.7 se transforma en

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} - \frac{G}{\rho} \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (2.9)$$

De acuerdo con la Ec. 1.14

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} - v^2 \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (2.10)$$

Por comparación con la Ec. 1.15, se observa que el comportamiento de la probeta en estas condiciones está regido por la misma ecuación diferencial que proporciona al desplazamiento U del terreno.

Por separación de variables al igual que en el capítulo anterior, se obtiene

$$\phi = \Theta_n(t) Z_n(z) \quad (2.11)$$

donde

$$\left. \begin{aligned} \Theta_n(t) &= A \cos(\omega_n t + \theta) \\ Z_n(z) &= C \operatorname{sen}\left(\frac{\omega_n z}{v}\right) + D \operatorname{cos}\left(\frac{\omega_n z}{v}\right) \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

Con el objeto de obtener la ecuación característica del problema, se sustituyen las condiciones particulares de frontera que para este caso son

$$\left. \begin{aligned} \phi|_{z=0} &= 0 \\ G I_p \frac{\partial \phi}{\partial z} \Big|_{z=L} &= - \int_0^L \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} \end{aligned} \right\} \quad (2.13)$$

obteniéndose, de la primera

$$D_n = 0 \quad (2.14)$$

y de la segunda

$$G = \frac{w_n v_s \int_2}{I_p} \tan \frac{w_n L}{v_s} \quad (2.15)$$

la que escrita en función de términos conocidos, se transforma en

$$G = \frac{G^2}{T_n} \sqrt{c/e} \frac{\int_2}{d^2} \tan \frac{2\pi}{T_n} L \sqrt{c/g} \quad ; d = 2r \quad (2.16)$$

ecuación a partir de la cual se pueden obtener los períodos naturales de vibración.

Sin embargo, de los sismogramas obtenidos para las probetas se puede obtener un período natural medio de los que se presentan, por lo que la Ec. 2.16 proporciona el valor de G a partir del que es inmediata la obtención de v_s

Debido a que la Ec. 2.16 es trascendente, su resolución se obtiene por tanteos, lo que representa un problema para aplicarla a un número relativamente grande de muestras como era este el caso, por lo que más aconsejable es recurrir a un método aproximado y acotar después los errores por comparación de casos extremos con la Ec. 2.16.

En efecto, si se considera a la Fig. 5, de acuerdo con los conceptos ya definidos, al girar la parte móvil del aparato de prueba un ángulo igual a un radian en la probeta se engendra un momento torsionante proporcionado por

$$M = \frac{G I_p}{L} \quad (2.17)$$

Puesto que la energía interna de deformación (w_i) originada por un elemento mecánico de este tipo está dada por

$$w_i = \frac{1}{2} \int_0^L \frac{M^2}{G I_p} dx \quad (2.18)$$

De la sustitución de la Ec. 217 en la 218 se obtiene

$$w_i = \frac{1}{2} \frac{G I \rho}{L} \quad (2.19)$$

Si en las condiciones anteriores se suelta a la probeta y se le permite vibrar libremente, en un instante cualquiera de tiempo la energía cinética del sistema está formada por dos sumandos, uno debido a la parte móvil del aparato y el otro a la probeta misma

Suponiendo una variación lineal con la longitud del ángulo de giro en todo el sistema, se tiene

$$\frac{\beta}{z} = \frac{\theta}{L} \quad (2.20)$$

donde θ es el ángulo de rotación en el extremo móvil de la probeta y β el ángulo a una distancia Z del empotramiento. De acuerdo con esto, la energía cinética (w_{K0}) del disco móvil del aparato está dada por

$$w_{K0} = \frac{1}{2} \int_0^L \theta^2 \quad (2.21)$$

o por definición de frecuencia

$$w_{K0} = \frac{1}{2} \int_0^L w^2 \quad (2.22)$$

Si ahora se aísla un elemento diferencial de la probeta a una distancia Z del empotramiento, la energía cinética de este elemento vale

$$d w_{Kp} = \frac{1}{2} \frac{\int_m}{L} \beta^2 dz \quad (2.23)$$

o de acuerdo con la Ec. 2.20

$$d w_{Kp} = \frac{1}{2} \frac{\int_m}{L} \frac{w^2}{L^2} z^2 dz \quad (2.24)$$

Por lo que la energía cinética total de la probeta valdrá

$$w_{Kp} = \frac{1}{2} \int_0^L \frac{\int_m}{L^3} w^2 z^2 dz \quad (2.25)$$

de la que se obtiene

$$W_{Kp} = \frac{1}{6} \int_m w^2 \quad (2.26)$$

De la suma de las Ec. 2.22 y 2.26 se obtendrá la energía cinética total del sistema

$$W_K = \frac{1}{2} \int_2 w^2 + \frac{1}{6} \int_m w^2 \quad (2.27)$$

la que por factorización proporciona

$$W_K = \frac{1}{2} w^2 \left(\int_2 + \frac{1}{3} \int_m \right) \quad (2.28)$$

Aplicando el método de Rayleigh ⁽⁶⁾ se puede igualar la Ec. 2.19 con la Ec. 2.28, por lo que

$$\frac{1}{2} \frac{G J_p}{L} = \frac{1}{2} w^2 \left(\int_2 + \frac{1}{3} \int_m \right) \quad (2.29)$$

después de ordenar términos y simplificar

$$G = \frac{128 \pi \left(\int_2 + \frac{1}{3} \int_m \right) L}{d^4 r^2} \quad (2.30)$$

o aproximadamente

$$G = \frac{0.41 \times 10^3 \left(\int_2 + \frac{1}{3} \int_m \right) L}{d^4 r^2} \quad (2.31)$$

La Ec. 2.31 ha sido propuesta en otras publicaciones ^(4,7) y se puede demostrar que, si $J_m = 0$, conduce al mismo resultado que el caso del péndulo cuando éste está sujeto por un cable de masa despreciable y sometido a rotaciones, por lo que el error que se tenga de la aplicación de la Ec. 2.31 se incrementa para relaciones crecientes de J_m/J_2 . Sin embargo por tener las propias valores de J_m muy pequeños con respecto a J_2 , es de esperarse un error pequeño, por otra parte en el capítulo III se darán los errores que con respecto a la Ec. 2.16 tenga la Ec. 2.31 tanto para la relación menor que se

presenta de J_m/J_2 como para la mayor.

La aplicación de la Ec. 2.31 es inmediata, de ella se obtiene fácilmente el valor de G el que conocido, por la aplicación de la Ec. 1.14, conduce a la obtención de v_B . Como se puede suponer, la variación de v_B con la profundidad no sigue una ley sencilla, por lo que con el objeto de simplificar el procedimiento para obtener β debe idealizarse el material como constituido por un número reducido de mantos de velocidad constante.

CAPITULO 3.- RESULTADOS NUMERICOS.

Se mostrarán a continuación los resultados obtenidos de las probetas tales como longitud, peso volumétrico, período medio y, por la aplicación de las Ec. 2.31 y 1.14, los de G y v_s .

Para la aplicación de la Ec. 2.31 fue necesario valuar J_m para cada probeta, en las que por ser cilíndricas se obtiene

$$J_m = \frac{1}{2} m r^2 \quad (3.1)$$

pero puesto que

$$m = \frac{\delta}{g} V \quad (3.2)$$

donde V representa el volumen de la probeta

$$J_m = \frac{1}{2g} \delta V r^2 \quad (3.3)$$

También fue necesario obtener J_2 que para el aparato empleado vale

$$J_2 = 4539.18 \times 10^{-6} \text{ kg cm seg}^2 \quad (3.4)$$

A partir de lo anterior se obtiene

Probeta	Prof. (m)	L (cm)	T (seg)	δ (kg/m ³)	Vol. (m ³)	J_m kg cm seg ²	G kg/cm ²	v_s (m/seg)
9-5	6.57 a 6.78	15.74	0.17	1 136	10^{-6} 71	10^{-6} 302.45	6.1683	23.04
9-5-A	6.57 a 6.78	6.67	0.098	1 201	10^{-6} 67.89	10^{-6} 135.04	7.7716	25.16
9 ^o -5	6.57 a 6.78	15.86	0.153	1 127	10^{-6} 161.43	10^{-6} 301.34	7.6733	25.81
9 ^o -5-A	6.57 a 6.78	6.80	0.097	1 166	10^{-6} 69.21	10^{-6} 133.66	8.0864	26.05
9 ^o -5-B	6.57 a 6.78	6.73	0.118	1 135	10^{-6} 68.50	10^{-6} 128.77	5.4062	21.59
9-6	6.78 a 6.99	15.38	0.2	1 124	10^{-6} 156.55	10^{-6} 291.43	4.3515	19.46
9-6-A	6.78 a 6.99	4.33	0.079	1 124	10^{-6} 44.07	10^{-6} 88.61	7.7375	25.95

Probeta	Prof. (m)	L (cm)	T (seg)	γ (kg/m ³)	Vol. (m ³)	J_m kg cm seg ²	G kg/cm ²	v_s (m/seg)
9-7	6.99 a 7.20	15.72	0.13	1 133	10 ⁻⁶ 160.01	10 ⁻⁶ 300.27	10.5339	30.16
9-7-A	6.99 a 7.20	6.65	0.118	1 128	10 ⁻⁶ 67.69	10 ⁻⁶ 126.46	5.3410	21.52
9-7-B	6.99 a 7.20	6.74	0.09	1 124	10 ⁻⁶ 68.60	10 ⁻⁶ 127.70	9.3063	28.43
14-1	11.20 a 11.41	12.93	0.21	1 124	10 ⁻⁶ 131.61	10 ⁻⁶ 245.00	3.3071	16.96
14-1-B	11.20 a 11.41	5.90	0.128	1 169	10 ⁻⁶ 60.05	10 ⁻⁶ 116.27	4.0242	18.35
14'-1	11.20 a 11.41	6.14	0.117	1 126	10 ⁻⁶ 62.50	10 ⁻⁶ 116.56	5.0124	20.86
14-2	11.41 a 11.62	15.89	0.217	1 184	10 ⁻⁶ 161.74	10 ⁻⁶ 317.20	3.8291	17.78
14-2-A	11.41 a 11.62	6.63	0.1	1 210	10 ⁻⁶ 67.48	10 ⁻⁶ 135.24	7.4192	24.49
14-2-B	11.41 a 11.62	6.88	0.09	1 163	10 ⁻⁶ 70.03	10 ⁻⁶ 134.89	9.5047	28.27
14'-2	11.41 a 11.62	15.74	0.15	1 189	10 ⁻⁶ 160.21	10 ⁻⁶ 315.51	7.9308	25.54
14'-2-A	11.41 a 11.62	6.47	0.09	1 229	10 ⁻⁶ 58.56	10 ⁻⁶ 119.20	8.9280	26.64
14'-2-B	11.41 a 11.62	6.74	0.10	1 162	10 ⁻⁶ 68.60	10 ⁻⁶ 132.03	7.54	25.22
14-3	11.62 a 11.83	8.17	0.11	1 153	10 ⁻⁶ 83.16	10 ⁻⁶ 158.81	7.5687	25.33
14'-3	11.62 a 11.83	6.03	0.096	1 177	10 ⁻⁶ 61.38	10 ⁻⁶ 119.65	7.3114	24.65
15-2	12.21 a 12.40	11.24	0.169	1 131	10 ⁻⁶ 114.41	10 ⁻⁶ 214.32	4.4292	19.57
15-3	12.40 a 12.60	16.08	0.152	1 164	10 ⁻⁶ 163.67	10 ⁻⁶ 315.54	7.8904	25.74
15-3-A	12.40 a 12.60	6.62	0.089	1 154	10 ⁻⁶ 67.38	10 ⁻⁶ 128.79	9.3479	28.15
15-3-B	12.40 a 12.60	6.60	0.089	1 154	10 ⁻⁶ 67.20	10 ⁻⁶ 128.43	9.3195	28.12
15'-3	12.40 a 12.60	15.76	0.156	1 166	10 ⁻⁶ 160.41	10 ⁻⁶ 309.81	7.3388	24.81
15'-3-A	12.40 a 12.60	6.87	0.09	1 162	10 ⁻⁶ 69.93	10 ⁻⁶ 135.06	4.4960	28.27
15'-3-B	12.40 a 12.60	6.79	0.089	1 152	10 ⁻⁶ 69.11	10 ⁻⁶ 131.87	9.5902	28.54
15-4	12.60 a 12.80	15.95	0.14	1 176	10 ⁻⁶ 162.35	10 ⁻⁶ 316.24	9.2262	27.71
15-4-A	12.60 a 12.80	6.67	0.09	1 163	10 ⁻⁶ 69.93	10 ⁻⁶ 134.70	9.4907	28.25
15-4-B	12.60 a 12.80	6.51	0.08	1 193	10 ⁻⁶ 66.26	10 ⁻⁶ 130.93	11.3490	30.54
15'-4	12.60 a 12.80	14.59	0.143	1 172	10 ⁻⁶ 148.51	10 ⁻⁶ 288.30	8.0735	25.96

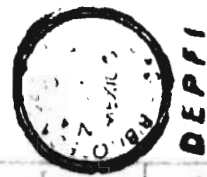
Probeta	Prof. (m)	L (cm)	T (seg)	ρ (kg/m ³)	Vol. (m ³)	J_m kg cm seg ²	G kg cm ²	v_B (m/seg)
15'-4-B	12.60 a 12.80	6.53	0.087	1 164	10 ⁻⁶ 66.46	10 ⁻⁶ 128.01	9.6491	28.47
15'-4-A	12.60 a 12.80	5.72	0.072	1 188	10 ⁻⁶ 58.22	10 ⁻⁶ 114.56	12.3208	31.86
18-2	13.74 a 13.96	16.06	0.139	1 274	10 ⁻⁶ 163.47	10 ⁻⁶ 344.95	9.4435	26.95
18-2-A	13.74 a 13.96	6.89	0.095	1 260	10 ⁻⁶ 70.13	10 ⁻⁶ 146.25	8.5499	25.76
18-2-B	13.74 a 13.96	6.60	0.072	1 273	10 ⁻⁶ 67.18	10 ⁻⁶ 141.65	14.2536	33.08
18'-2-A	13.74 a 13.96	6.72	0.1	1 262	10 ⁻⁶ 68.40	10 ⁻⁶ 142.97	7.5241	24.17
18'-2-B	13.74 a 13.96	3.99	0.06	1 240	10 ⁻⁶ 40.61	10 ⁻⁶ 83.40	12.3829	31.26
18-3	13.96 a 14.18	15.59	0.098	1 287	10 ⁻⁶ 158.68	10 ⁻⁶ 338.26	18.4332	37.43
18-3-A	13.96 a 14.18	6.72	0.057	1 254	10 ⁻⁶ 68.40	10 ⁻⁶ 142.07	23.1568	42.52
18-3-B	13.96 a 14.18	6.68	0.072	1 267	10 ⁻⁶ 67.99	10 ⁻⁶ 142.69	14.4274	33.37
18'-3	13.96 a 14.18	12.50	0.102	1 224	10 ⁻⁶ 127.23	10 ⁻⁶ 257.84	13.5646	32.92
18'-3-A	13.96 a 14.18	6.52	0.074	1 229	10 ⁻⁶ 66.36	10 ⁻⁶ 135.07	13.3235	32.56
18-4	14.18 a 14.40	15.90	0.109	1 171	10 ⁻⁶ 161.84	10 ⁻⁶ 313.91	15.1703	35.58
18-4-B	14.18 a 14.40	6.66	0.078	1 177	10 ⁻⁶ 67.79	10 ⁻⁶ 132.16	12.2470	31.89
18'-4-A	14.18 a 14.40	6.63	0.0523	1 163	10 ⁻⁶ 67.48	10 ⁻⁶ 130.00	27.1136	47.47
19-2	14.54 a 14.76	5.94	0.161	1 291	10 ⁻⁶ 60.46	10 ⁻⁶ 129.28	2.9989	15.07
19-2	14.54 a 14.76	15.59	0.186	1 124	10 ⁻⁶ 158.58	10 ⁻⁶ 295.23	5.1013	21.07
19-3-B	14.76 a 14.98	5.8	0.106	1 124	10 ⁻⁶ 59.14	10 ⁻⁶ 126.46	5.7727	22.42
20-2	15.37 a 15.58	14.21	0.206	1 118	10 ⁻⁶ 144.64	10 ⁻⁶ 267.83	3.7798	18.18
20-2-A	15.37 a 15.58	5.01	0.133	1 109	10 ⁻⁶ 50.99	10 ⁻⁶ 93.65	3.1598	16.69
20-2-B	15.37 a 15.58	6.46	0.137	1 127	10 ⁻⁶ 65.75	10 ⁻⁶ 127.47	3.8494	18.26
20-3	15.58 a 15.79	14.04	0.149	1 181	10 ⁻⁶ 142.91	10 ⁻⁶ 279.54	7.1511	24.34
20-3-A	15.58 a 15.79	5.22	0.091	1 207	10 ⁻⁶ 53.13	10 ⁻⁶ 106.21	7.0390	23.88
20-3-B	15.58 a 15.79	6.33	0.09	1 160	10 ⁻⁶ 64.43	10 ⁻⁶ 123.78	8.7377	27.14
20'-3	15.58 a 15.79	15.33	0.148	1 162	10 ⁻⁶ 156.04	10 ⁻⁶ 300.33	7.9258	25.83

Probeta	Prof. (m)	L (cm)	T (seg)	γ (kg/m ³)	Vcl. (m ³)	J_m kg cm seg ²	G kg/cm ²	v_B (m/seg)
20 ¹ -3-A	15.58 a 15.79	6.35	0.08	1 136	10 ⁻⁶ 64.63	10 ⁻⁶ 121.60	11.0969	30.91
20-4	15.79 a 16.00	15.33	0.13	1 125	10 ⁻⁶ 156.04	10 ⁻⁶ 291.03	10.2657	29.87
20-4-A	15.79 a 16.00	16.34	0.0715	1 127	10 ⁻⁶ 64.33	10 ⁻⁶ 120.07	13.8187	34.63
20-4-B	15.79 a 16.00	6.53	0.076	1 136	10 ⁻⁶ 64.43	10 ⁻⁶ 121.22	12.6382	32.97
21-2	16.17 a 16.38	13.07	0.11	1 134	10 ⁻⁶ 133.03	10 ⁻⁶ 250.30	12.1885	32.42
21-2-A	16.17 a 16.38	4.83	0.06	1 139	10 ⁻⁶ 49.16	10 ⁻⁶ 92.52	14.9671	35.85
21-2-B	16.17 a 16.38	6.52	0.068	1 130	10 ⁻⁶ 56.36	10 ⁻⁶ 124.82	15.7668	36.94
21 ¹ -2	16.17 a 16.38	15.26	0.146	1 132	10 ⁻⁶ 155.33	10 ⁻⁶ 292.25	8.1026	26.45
21 ¹ -2-A	16.17 a 16.38	6.17	0.081	1 218	10 ⁻⁶ 62.80	10 ⁻⁶ 126.68	10.5169	29.06
21 ¹ -2-B	16.17 a 16.38	6.51	0.079	1 137	10 ⁻⁶ 66.26	10 ⁻⁶ 124.67	11.6637	31.65
21-3	16.38 a 16.59	15.39	0.13	1 124	10 ⁻⁶ 156.65	10 ⁻⁶ 291.63	10.3064	29.95
21-3-A	16.38 a 16.59	6.76	0.0705	1 115	10 ⁻⁶ 68.81	10 ⁻⁶ 127.07	15.2109	36.53
21-3-B	16.38 a 16.59	6.54	0.08	1 120	10 ⁻⁶ 66.56	10 ⁻⁶ 123.48	11.9253	31.59
21 ¹ -3-	16.38 a 16.59	15.53	0.108	1 125	10 ⁻⁶ 158.07	10 ⁻⁶ 292.17	15.0530	36.15
21 ¹ -3-A	16.38 a 16.59	6.59	0.063	1 122	10 ⁻⁶ 67.07	10 ⁻⁶ 125.09	18.5664	40.23
21 ¹ -3-B	16.38 a 16.59	6.46	0.073	1 133	10 ⁻⁶ 65.75	10 ⁻⁶ 123.72	13.5540	34.20
21-4	16.59 a 16.80	15.32	0.108	1 106	10 ⁻⁶ 155.94	10 ⁻⁶ 285.67	14.8587	36.25
21-4-A	16.59 a 16.80	6.59	0.076	1 110	10 ⁻⁶ 67.08	10 ⁻⁶ 122.33	12.7554	33.66
21-4-B	16.59 a 16.80	6.53	0.069	1 131	10 ⁻⁶ 66.47	10 ⁻⁶ 124.40	15.3358	36.42
22-2	16.94 a 17.16	14.51	0.082	1 132	10 ⁻⁶ 147.69	10 ⁻⁶ 276.94	24.3969	45.91
22-2-B	16.94 a 17.16	6.66	0.086	1 127	10 ⁻⁶ 67.79	10 ⁻⁶ 126.55	10.0704	29.76
22-3	17.16 a 17.38	16.01	0.104	1 177	10 ⁻⁶ 162.96	10 ⁻⁶ 317.71	16.7839	37.35
22-3-A	17.16 a 17.38	6.37	0.06	1 174	10 ⁻⁶ 64.84	10 ⁻⁶ 126.08	19.7875	40.60
22-3-B	17.16 a 17.38	6.46	0.068	1 175	10 ⁻⁶ 65.75	10 ⁻⁶ 127.96	15.6253	36.06
22 ¹ -3	17.16 a 17.38	15.62	0.100	1 180	10 ⁻⁶ 158.99	10 ⁻⁶ 310.75	17.7024	38.31
22 ¹ -3-B	17.16 a 17.38	6.53	0.068	1 185	10 ⁻⁶ 66.46	10 ⁻⁶ 130.46	15.7975	36.11

Probeta	Prof. (m)	L (cm)	T (seg)	γ (kg/m ³)	Vol. (m ³)	J_B kg cm seg ⁻²	G kg/cm ²	v_B (m/seg)
22-4-A	17.38 a 17.60	6.54	0.0725	1 171	10 ⁻⁶ 66.57	10 ⁻⁶ 129.11	13.9172	34.09
22-4-B	17.38 a 17.60	6.66	0.07	1 192	10 ⁻⁶ 67.79	10 ⁻⁶ 131.84	15.2082	35.32
22'-4	17.38 a 17.60	15.48	0.100	1 185	10 ⁻⁶ 157.56	10 ⁻⁶ 309.27	17.5418	38.05
22'-4-A	17.38 a 17.60	6.37	0.067	1 194	10 ⁻⁶ 64.84	10 ⁻⁶ 128.24	15.8713	36.06
22'-4-B	17.38 a 17.60	6.60	0.07	1 168	10 ⁻⁶ 67.18	10 ⁻⁶ 129.97	15.0669	35.52
23-2	17.74 a 17.96	10.45	0.11	1 214	10 ⁻⁶ 106.37	10 ⁻⁶ 213.90	9.7197	27.98
23-2-A	17.74 a 17.96	5.49	0.065	1 221	10 ⁻⁶ 55.88	10 ⁻⁶ 113.01	14.5173	34.10
23-2-B	17.74 a 17.96	4.36	0.0714	1 204	10 ⁻⁶ 44.38	10 ⁻⁶ 88.52	9.5380	27.84
23-3	17.96 a 18.18	15.59	0.11	1 210	10 ⁻⁶ 158.68	10 ⁻⁶ 318.00	14.6096	34.36
23-3-A	17.96 a 18.18	6.58	0.082	1 230	10 ⁻⁶ 66.97	10 ⁻⁶ 136.44	10.9516	29.51
23'-3-A	17.96 a 18.18	6.64	0.095	1 223	10 ⁻⁶ 67.58	10 ⁻⁶ 136.95	8.2341	25.66
23'-3-B	17.96 a 18.18	6.66	0.089	1 195	10 ⁻⁶ 67.79	10 ⁻⁶ 134.25	9.9081	27.74
23-4	18.18 a 18.40	15.54	0.115	1 239	10 ⁻⁶ 158.18	10 ⁻⁶ 324.70	13.3502	32.43
23-4-A	18.18 a 18.40	6.79	0.0705	1 212	10 ⁻⁶ 69.11	10 ⁻⁶ 138.80	15.2914	35.12
23-4-B	18.18 a 18.40	6.80	0.07	1 228	10 ⁻⁶ 69.21	10 ⁻⁶ 145.93	15.5415	35.18
23'-4	18.18 a 18.40	15.59	0.13	1 228	10 ⁻⁶ 158.68	10 ⁻⁶ 322.78	10.4637	28.86
23'-4-A	18.18 a 18.40	6.58	0.073	1 210	10 ⁻⁶ 66.97	10 ⁻⁶ 134.28	13.8163	33.41
23'-4-B	18.18 a 18.40	6.61	0.065	1 256	10 ⁻⁶ 67.28	10 ⁻⁶ 140.01	17.5133	36.92
24-2	18.54 a 18.76	15.57	0.123	1 196	10 ⁻⁶ 158.48	10 ⁻⁶ 313.94	11.6662	30.88
24-2-A	18.54 a 18.76	6.48	0.088	1 254	10 ⁻⁶ 65.96	10 ⁻⁶ 137.02	9.3650	27.02
24-2-B	18.54 a 18.76	6.61	0.068	1 207	10 ⁻⁶ 67.28	10 ⁻⁶ 134.59	15.9958	36.00
24'-2	18.54 a 18.76	15.57	0.137	1 186	10 ⁻⁶ 158.48	10 ⁻⁶ 311.53	9.4020	27.64
24'-2-A	18.54 a 18.76	6.51	0.0875	1 197	10 ⁻⁶ 66.26	10 ⁻⁶ 131.40	9.5123	27.87
24'-2-B	18.54 a 18.76	6.60	0.075	1 260	10 ⁻⁶ 67.18	10 ⁻⁶ 140.24	13.1368	33.45
24-3	18.76 a 18.98	15.71	0.101	1 188	10 ⁻⁶ 159.91	10 ⁻⁶ 314.67	17.4585	37.51
24-3-A	18.76 a 18.98	6.66	0.062	1 195	10 ⁻⁶ 67.79	10 ⁻⁶ 134.18	19.3851	39.83

Probeta	Prof. (m)	L (cm)	T (seg)	γ (kg/m ³)	Vol. (m ³)	J_{II} kg cm seg ²	G kg/cm ²	v_s (m/seg)
24-3-B	18.76 a 18.98	6.74	0.061	1 207	10 ⁻⁶ 68.60	10 ⁻⁶ 137.15	20.2723	40.52
24 ¹ -3	18.76 a 18.98	15.68	0.1075	1 192	10 ⁻⁶ 159.60	10 ⁻⁶ 315.12	15.4476	35.60
24 ¹ -3-	18.76 a 18.98	6.68	0.064	1 196	10 ⁻⁶ 67.99	10 ⁻⁶ 134.69	18.2491	38.62
24 ¹ -3-	18.76 a 18.98	6.46	0.068	1 180	10 ⁻⁶ 65.75	10 ⁻⁶ 128.51	15.6259	35.98
24-4	18.98 a 19.20	16.02	0.106	1 189	10 ⁻⁶ 163.06	10 ⁻⁶ 321.13	16.1705	36.47
24-4-A	18.98 a 19.20	6.88	0.0625	1 200	10 ⁻⁶ 70.03	10 ⁻⁶ 139.19	19.7149	40.08
24-4-B	18.98 a 19.20	6.66	0.0665	1 185	10 ⁻⁶ 67.79	10 ⁻⁶ 133.07	16.8502	37.29
24 ¹ -4	18.98 a 19.20	15.67	0.111	1 188	10 ⁻⁶ 159.50	10 ⁻⁶ 313.86	14.4416	34.48
24 ¹ -4-A	18.98 a 19.20	6.66	0.065	1 191	10 ⁻⁶ 67.79	10 ⁻⁶ 133.73	17.6378	38.05
24 ¹ -4-B	18.98 a 19.20	6.80	0.0695	1 179	10 ⁻⁶ 69.21	10 ⁻⁶ 135.16	15.7536	36.14
25-4	19.78 a 20.00	10.09	0.08	1 350	10 ⁻⁶ 102.70	10 ⁻⁶ 229.65	17.7634	35.87
25-4-A	19.78 a 20.00	6.66	0.059	1 340	10 ⁻⁶ 67.79	10 ⁻⁶ 150.47	21.4336	39.55
25 ¹ -4	19.78 a 20.00	15.49	0.10	1 335	10 ⁻⁶ 157.67	10 ⁻⁶ 348.66	17.6028	35.91
25 ¹ -4-A	19.78 a 20.00	6.35	0.057	1 344	10 ⁻⁶ 64.63	10 ⁻⁶ 143.87	21.8847	39.90
25 ¹ -4-B	19.78 a 20.00	6.66	0.062	1 343	10 ⁻⁶ 67.79	10 ⁻⁶ 150.92	19.4102	37.59
26-2	20.14 a 20.36	15.69	0.106	1 175	10 ⁻⁶ 159.70	10 ⁻⁶ 310.81	15.8257	36.29
26-2-A	20.14 a 20.36	6.35	0.062	1 178	10 ⁻⁶ 64.63	10 ⁻⁶ 125.79	18.4729	39.16
26-2-B	20.14 a 20.36	6.60	0.054	1 157	10 ⁻⁶ 67.18	10 ⁻⁶ 134.36	25.3159	46.25
26 ¹ -2-B	20.14 a 20.36	9.02	0.061	1 168	10 ⁻⁶ 91.81	10 ⁻⁶ 177.49	27.2096	47.73
26-3	20.36 a 20.58	15.52	0.086	1 183	10 ⁻⁶ 157.97	10 ⁻⁶ 310.08	23.7807	44.33
26-3-A	20.36 a 20.58	6.51	0.0512	1 177	10 ⁻⁶ 66.26	10 ⁻⁶ 129.38	27.7775	48.04
26-3-B	20.36 a 20.58	6.67	0.057	1 200	10 ⁻⁶ 67.89	10 ⁻⁶ 134.95	22.9726	43.26
26 ¹ -3	20.36 a 20.58	15.59	0.088	1 190	10 ⁻⁶ 158.68	10 ⁻⁶ 312.79	22.8189	43.30
26 ¹ -3-A	20.36 a 20.58	6.70	0.052	1 176	10 ⁻⁶ 68.19	10 ⁻⁶ 132.84	27.7227	48.01
26 ¹ -3-B	20.36 a 20.58	6.54	0.052	1 195	10 ⁻⁶ 66.56	10 ⁻⁶ 131.75	27.0585	47.05
28-4	22.18 a 22.40	15.08	0.104	1 162	10 ⁻⁶ 153.49	10 ⁻⁶ 295.42	16.3100	37.05

Probeta	Prof. (n.)	L (mm)	T (seg)	γ (kg/m ³)	Vol. (m ³)	J_m kg cm seg ²	G kg/cm ²	v_B (m/seg)
28-4-A	22.18 a 22.40	5.88	0.056	1 149	10 ⁻⁶ 59.85	10 ⁻⁶ 113.90	20.9492	42.22
28-4-B	22.18 a 22.40	6.59	0.065	1 198	10 ⁻⁶ 67.07	10 ⁻⁶ 133.66	17.4522	37.16
28'-4-B	22.18 a 22.40	7.01	0.06	1 184	10 ⁻⁶ 71.35	10 ⁻⁶ 140.05	21.7977	42.43
29-2	23.18 a 23.40	11.86	0.103	1 161	10 ⁻⁶ 120.72	10 ⁻⁶ 232.15	12.5980	32.57
29-2-A	23.18 a 23.40	4.45	0.058	1 146	10 ⁻⁶ 45.29	10 ⁻⁶ 85.98	14.7499	35.47
29-2-B	23.18 a 23.40	5.28	0.075	1 160	10 ⁻⁶ 53.74	10 ⁻⁶ 103.26	11.0617	30.53
29'-2	23.18 a 23.40	12.28	0.118	1 152	10 ⁻⁶ 124.99	10 ⁻⁶ 238.50	9.9432	29.05
29'-2-A	23.18 a 23.40	4.62	0.08	1 157	10 ⁻⁶ 47.02	10 ⁻⁶ 90.10	8.0515	26.08
29'-2-B	23.18 a 23.40	5.19	0.075	1 160	10 ⁻⁶ 52.82	10 ⁻⁶ 101.48	10.2996	29.46
31-2	25.96 a 26.18	6.09	0.0425	1 233	10 ⁻⁶ 62.00	10 ⁻⁶ 126.62	37.7060	54.68
31-3	26.18 a 26.40	16.13	0.05	1 273	10 ⁻⁶ 164.18	10 ⁻⁶ 346.19	73.3074	75.04
31-3-A	26.18 a 26.40	6.56	0.03	1 267	10 ⁻⁶ 66.77	10 ⁻⁶ 140.13	81.5943	79.36
31-3-B	26.18 a 26.40	6.60	0.03	1 261	10 ⁻⁶ 67.17	10 ⁻⁶ 140.29	82.0925	79.79
31'-3	26.18 a 26.40	16.20	0.049	1 270	10 ⁻⁶ 164.89	10 ⁻⁶ 346.86	76.6684	76.83
31'-3-A	26.18 a 26.40	6.62	0.033	1 271	10 ⁻⁶ 67.38	10 ⁻⁶ 141.73	68.6578	72.36
31'-3-B	26.18 a 26.40	6.60	0.031	1 275	10 ⁻⁶ 67.17	10 ⁻⁶ 141.33	76.8875	76.79
32-7	27.68 a 27.90	15.97	0.164	1 296	10 ⁻⁶ 162.55	10 ⁻⁶ 348.95	6.7477	22.56
32-7-A	27.68 a 27.90	6.60	0.086	1 362	10 ⁻⁶ 67.17	10 ⁻⁶ 151.53	9.9978	26.79
32'-7	27.68 a 27.90	15.45	0.15	1 357	10 ⁻⁶ 157.26	10 ⁻⁶ 353.00	7.8060	23.71
32'-7-A	27.68 a 27.90	6.41	0.082	1 359	10 ⁻⁶ 65.24	10 ⁻⁶ 144.70	10.6751	27.92
32'-7-B	27.68 a 27.90	6.70	0.088	1 354	10 ⁻⁶ 68.19	10 ⁻⁶ 157.45	9.6973	26.08
34-2	27.90 a 28.06	15.53	0.096	1 184	10 ⁻⁶ 158.07	10 ⁻⁶ 310.23	19.0969	39.71
34-2-B	27.90 a 28.06	6.53	0.06	1 174	10 ⁻⁶ 66.47	10 ⁻⁶ 129.26	20.2892	41.12
34'-2	27.90 a 28.06	15.72	0.10	1 176	10 ⁻⁶ 160.01	10 ⁻⁶ 311.22	17.8163	38.49
34'-2-B	27.90 a 28.06	6.54	0.063	1 173	10 ⁻⁶ 66.57	10 ⁻⁶ 129.34	18.4312	39.20
34-3	28.06 a 28.28	15.45	0.105	1 157	10 ⁻⁶ 157.26	10 ⁻⁶ 301.38	15.8711	36.62



Probeta	Prof. (m)	L (cm)	T (seg)	γ (kg/m ³)	Vol (m ³)	ρ_m (kg/cm ³ seg ²)	G (kg/cm ²)	v_B (m/seg)
34-3-A	28.06 a 28.28	6.65	0.0562	1.174	10 ⁻⁶ 67.69	10 ⁻⁶ 131.64	23.5134	44.25
34-3-B	28.06 a 28.28	6.66	0.065	1.193	10 ⁻⁶ 67.79	10 ⁻⁶ 133.73	17.6378	38.05
34 ¹ -3	28.06 a 28.28	15.52	0.102	1.186	10 ⁻⁶ 157.97	10 ⁻⁶ 310.31	16.9055	37.33
34 ¹ -3-A	28.06 a 28.28	6.79	0.085	1.183	10 ⁻⁶ 69.11	10 ⁻⁶ 135.74	17.9847	38.55
34 ¹ -3-B	28.06 a 28.28	6.81	0.067	1.254	10 ⁻⁶ 69.32	10 ⁻⁶ 143.99	16.9870	36.72
34-4	28.28 a 28.50	15.51	0.098	1.237	10 ⁻⁶ 157.87	10 ⁻⁶ 323.46	18.3192	38.05
34-4-A	28.28 a 28.50	6.82	0.058	1.208	10 ⁻⁶ 69.42	10 ⁻⁶ 138.90	22.6927	42.86
34-4-B	28.28 a 28.50	6.60	0.0623	1.239	10 ⁻⁶ 67.18	10 ⁻⁶ 137.86	18.7345	38.45
34 ¹ -4	28.28 a 28.50	15.58	0.095	1.214	10 ⁻⁶ 158.58	10 ⁻⁶ 318.90	19.5760	39.71
34 ¹ -4-A	28.28 a 28.50	6.48	0.056	1.208	10 ⁻⁶ 65.96	10 ⁻⁶ 132.61	23.1184	43.26
34 ¹ -4-B	28.28 a 28.50	6.73	0.06	1.215	10 ⁻⁶ 68.50	10 ⁻⁶ 137.76	20.9235	41.03
36-7	29.98 a 30.20	15.89	0.098	1.147	10 ⁻⁶ 161.74	10 ⁻⁶ 321.47	18.7654	40.00
36-7-A	29.98 a 30.20	6.73	0.06	1.151	10 ⁻⁶ 68.50	10 ⁻⁶ 130.59	20.9126	42.17
36-7-B	29.98 a 30.20	6.73	0.051	1.143	10 ⁻⁶ 68.50	10 ⁻⁶ 129.96	28.9435	49.76
36 ¹ -7	29.98 a 30.20	15.39	0.097	1.150	10 ⁻⁶ 156.65	10 ⁻⁶ 298.65	18.5211	39.68
36 ¹ -7-A	29.98 a 30.20	6.67	0.066	1.151	10 ⁻⁶ 67.89	10 ⁻⁶ 129.42	17.1276	38.14
36 ¹ -7-B	29.98 a 30.20	6.66	0.058	1.158	10 ⁻⁶ 67.79	10 ⁻⁶ 129.28	22.1449	43.24
37-2	30.20 a 30.38	5.19	0.044	1.152	10 ⁻⁶ 52.83	10 ⁻⁶ 100.73	29.9236	50.40
37 ¹ -2	30.20 a 30.38	6.11	0.051	1.147	10 ⁻⁶ 62.19	10 ⁻⁶ 118.52	26.2552	47.31
37-3	30.38 a 30.60	6.17	0.03	1.260	10 ⁻⁶ 62.80	10 ⁻⁶ 131.07	10.7849	28.95
37-4	30.60 a 30.82	6.05	0.043	1.245	10 ⁻⁶ 61.30	10 ⁻⁶ 126.59	36.4712	53.52
37 ¹ -4	30.60 a 30.82	6.30	0.037	1.210	10 ⁻⁶ 64.30	10 ⁻⁶ 135.42	53.6610	63.04
39-2	32.06 a 32.20	6.19	0.050	1.191	10 ⁻⁶ 63.00	10 ⁻⁶ 122.72	71.2314	65.61
45-7	36.58 a 36.79	6.26	0.0425	1.264	10 ⁻⁶ 63.72	10 ⁻⁶ 133.39	38.7776	54.77
45 ¹ -7	36.58 a 36.79	6.03	0.042	1.255	10 ⁻⁶ 61.38	10 ⁻⁶ 127.59	38.2314	54.85

Probeta	Prof. (m)	L (cm)	T (seg)	γ (Kg/m ³)	Vol. (m ³)	J_m kg cm seg ²	G kg/cm ²	v_a (m/seg)
47-6	38.18 a 38.39	15.68	0.084	1 240	10^{-6} 159.60	10^{-6} 327.79	20.2156	39.93
47-6-A	38.18 a 38.39	6.60	0.055	1 244	10^{-6} 68.17	10^{-6} 138.01	24.4202	43.81
47-6-B	38.18 a 38.39	6.46	0.051	1 255	10^{-6} 65.75	10^{-6} 136.68	27.7959	46.54
47'-6	38.18 a 38.39	15.62	0.092	1 238	10^{-6} 158.99	10^{-6} 326.02	20.9378	40.67
47'-6-A	38.18 a 38.39	6.62	0.05	1 215	10^{-6} 67.38	10^{-6} 135.61	29.6328	48.83
47'-6-B	38.18 a 38.39	6.53	0.055	1 263	10^{-6} 66.47	10^{-6} 139.06	24.1630	43.25
50-3	42.24 a 42.60	15.41	0.055	1 247	10^{-6} 151.86	10^{-6} 324.00	57.7884	67.32
50-3-A	42.24 a 42.60	6.49	0.037	1 245	10^{-6} 66.06	10^{-6} 136.45	53.0545	64.55
50-3-B	42.24 a 42.60	6.66	0.04	1 247	10^{-6} 67.79	10^{-6} 140.01	46.5959	60.45
50'-3	42.24 a 42.60	15.58	0.06	1 250	10^{-6} 158.58	10^{-6} 327.65	49.1069	61.98
50'-3-A	42.24 a 42.60	6.26	0.039	1 260	10^{-6} 63.72	10^{-6} 132.99	46.0487	59.78
50'-3-B	42.24 a 42.60	6.66	0.036	1 248	10^{-6} 67.79	10^{-6} 140.13	57.5263	67.14
52-4	42.24 a 42.60	6.25	0.046	1 285	10^{-6} 63.62	10^{-6} 135.41	33.0532	50.15
52'-4	42.24 a 42.60	6.13	0.0433	1 288	10^{-6} 62.40	10^{-6} 132.84	36.5807	52.70
56-4	45.80 a 46.00	5.93	0.024	1 846	10^{-6} 60.36	10^{-6} 184.57	15.6192	78.26
56'-4	45.80 a 46.00	6.06	0.024	1 828	10^{-6} 61.68	10^{-6} 186.77	18.1729	79.51
57-6	47.76 a 47.98	15.38	0.108	1 773	10^{-6} 156.55	10^{-6} 459.74	14.9148	28.69
57-6-A	47.76 a 47.98	6.60	0.04	1 769	10^{-6} 67.11	10^{-6} 197.04	43.3695	48.96

Con el objeto de acotar el error que la aplicación de la Ec. 2.31 proporciona respecto a la Ec. 2.16, se calculó mediante esta última el valor de G para las muestras 9-6-A y 57-6 que constituyen los casos extremos que se presentaron respecto a la relación J_m/J_2 , habiéndose obtenido

$$G(9-6-A) = 7.705$$

$$G(57-6) = 14.821$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Kg/cm}^2 \\ \text{Kg/cm}^2 \end{array} \right\}$$

(3.5)

valores que discrepan respecto a los mostrados en la tabla, por solo 0.324% y 0.630% respectivamente, lo que comprueba la suposición de que a valores crecientes de la relación citada el error crece y es despreciable.

En la Fig. 6 se muestran tanto los valores de las velocidades transversales obtenidos por Servicios Geofísicos, como los reportados en la tabla anterior.

En ella se puede observar que la curva proporcionada por Servicios Geofísicos es ligeramente mayor que la envolvente de los valores obtenidos de las pruebas, lo que es de esperarse, ya que se puede pensar en alteraciones en ellas que originen pequeñas fisuras lo que redundaría en valores menores de G con respecto a los reales, aproximándose a ellos sólo en pruebas de muestras inalteradas.

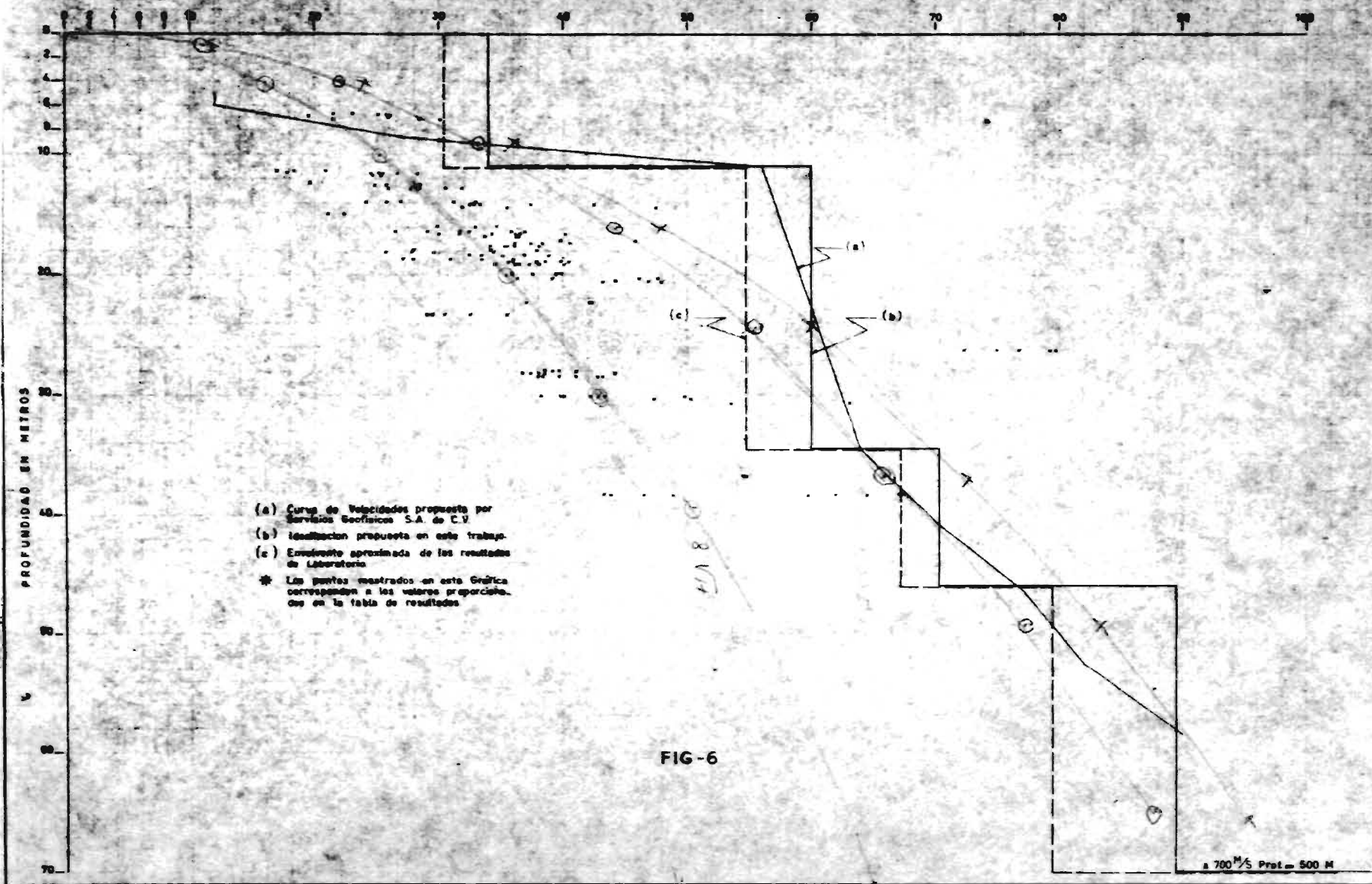
Por lo anterior se puede concluir que los resultados obtenidos por Servicios Geofísicos son aceptables pudiendo idealizarse en la forma que se muestra en la misma figura.

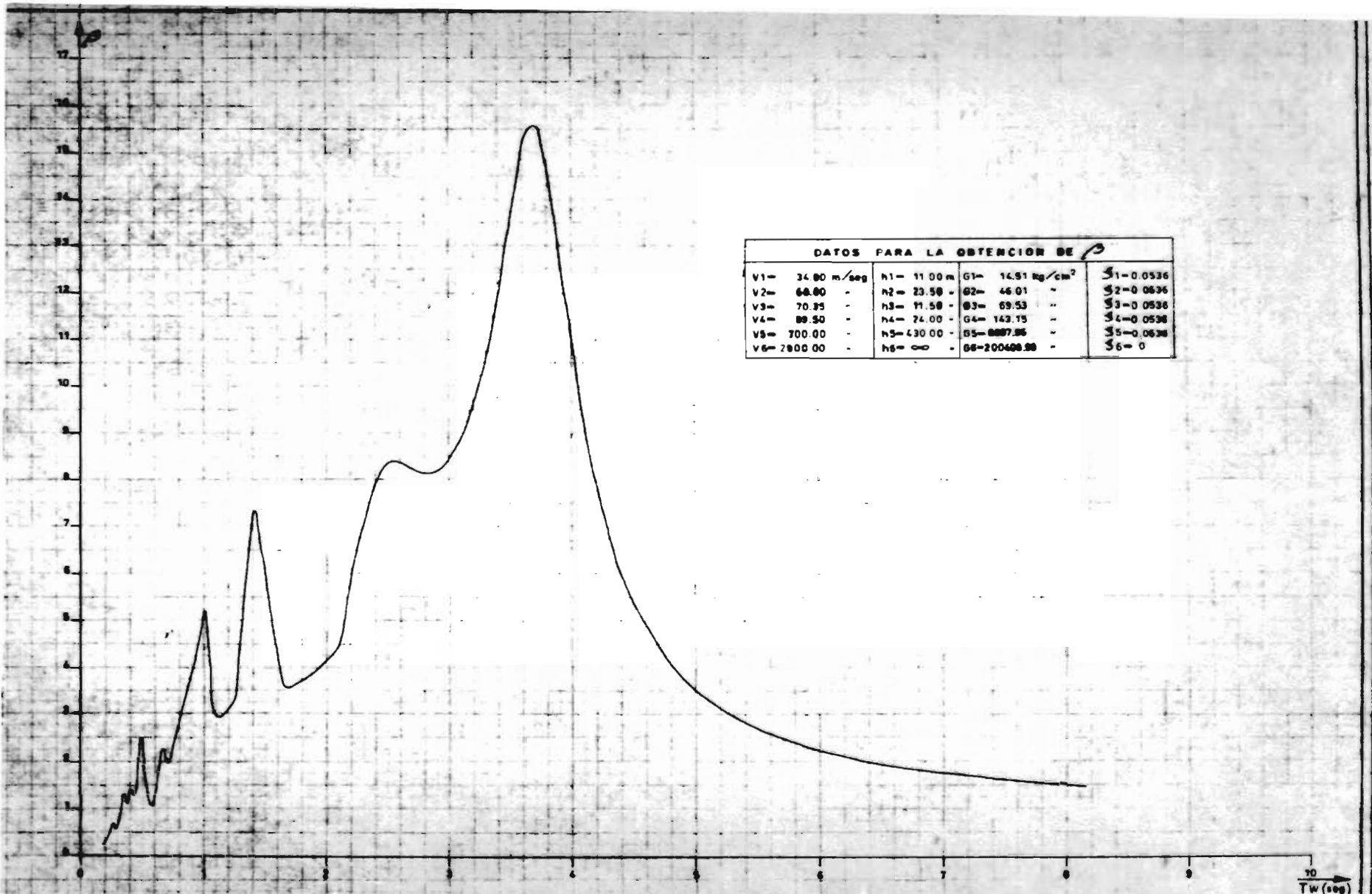
La velocidad de 700 m/s propuesta para el manto situado entre 70 y 500 m de profundidad se obtuvo después de varios tanteos en los que se buscó que la forma de la curva que proporciona al factor de amplificación fuera semejante a otras obtenidas experimentalmente.

Para calcular β a partir de los datos anteriores y haciendo uso de la teoría descrita en el capítulo I se elaboró un programa que mediante el uso de una computadora electrónica proporcionó los resultados mostrados en la Fig. 7, los que corresponden a valores de amortiguamiento de los mantos blandos respecto al crítico de 5.36%; este porcentaje ha sido calculado en otro trabajo ⁽⁸⁾ realizado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM. La razón por la que se consideró el amortiguamiento en el suelo a pesar de que anteriormente no se había tomado en cuenta se debe al hecho de que como este trabajo forma parte de una investigación más extensa aún en desarrollo, y en esta se obtuvieron los valores de β con amortiguamiento del terreno, no se creyó necesario obtener a dicho factor

sin amortiguamiento debido a que solo tiene interés académico, además de que la forma de la curva no se altera, reduciéndose solo sus valores, sobre todo en los máximos.

VELOCIDADES MEDIAS EN %





DATOS PARA LA OBTENCION DE β

V1= 34.80 m/seg	h1= 11.00 m	G1= 14.91 kg/cm ²	$\beta_1=0.0536$
V2= 68.00 -	h2= 23.50 -	G2= 46.01 -	$\beta_2=0.0636$
V3= 70.35 -	h3= 11.50 -	G3= 69.53 -	$\beta_3=0.0536$
V4= 89.50 -	h4= 24.00 -	G4= 143.15 -	$\beta_4=0.0536$
V5= 700.00 -	h5= 430.00 -	G5= 8887.86 -	$\beta_5=0.0636$
V6= 2800.00 -	h6= ∞ -	G6= 200488.88 -	$\beta_6= 0$

FIG-7

10
T w (seg)

CAPITULO IV.- APLICACION NUMERICA Y CONCLUSIONES

Al temblor del 11 de mayo de 1962 sentido en la Ciudad de México se le asignó de acuerdo con Berkley, California, una magnitud de 7.25 y de acuerdo con Tacubaya, México, otra de 6.70, así como una distancia focal de 330 Km. Considerando los valores propuestos por Berkley y tomando en cuenta las relaciones propuestas en otro trabajo, ⁽⁹⁾ se puede escribir

$$\begin{aligned} a &= 2000 e^{0.8 M} R^{-2} \\ v &= 16 e^M R^{-1.7} \\ x &= e^{1.2 M} (R^{-1.4} + R^{-2}) \end{aligned} \quad (4.1)$$

en donde a , v y x proporcionan respectivamente los valores máximos de la aceleración, velocidad y desplazamiento del terreno debidos a un temblor de magnitud M a una distancia focal R .

Para el caso en estudio, de la aplicación de las Ecs. 4.1 se obtiene

$$\left. \begin{aligned} a &= 6.0661 \quad \text{cm/seg}^2 \\ v &= 1.17838 \quad \text{cm/seg} \\ x &= 1.84329 \quad \text{cm} \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

De acuerdo con el trabajo citado, conocidos a , v y x se pueden trazar los espectros de desplazamiento, velocidad y aceleración en una sola gráfica si se hace uso de las escalas logarítmicas, hecho lo cual se llega a los resultados mostrados en la Fig. 8.

El espectro obtenido es aplicable sólo a estructuras que descansan sobre mantos firmes, por lo que para que sea válido en la Ciudad de México será necesario multiplicarlo por β , obteniéndose con lo anterior la curva mostrada en la Fig. 9. En esta figura también se muestra el espectro registrado durante el mismo temblor en la Alameda Central, en México, D. F. De la comparación de ambas curvas se puede notar que a pesar de que difieren en

valores, su forma es semejante, estando la curva calculada corrida hacia la derecha respecto a la registrada por una diferencia de abscisas de aproximadamente 1 seg. Esta situación concuerda con el hecho de que mientras el máximo de β de acuerdo con la Fig. 7 ocurre para $T \approx 3.5$ seg., en los espectros observados se han registrado los máximos para $T \approx 2.5$ seg. Lo anterior se debe a que los valores de v_g calculados del sondeo efectuado, han sido afectados sin duda alguna por condiciones locales, por lo que no se pueden considerar como representativos de los valores medios los que de acuerdo con experiencias anteriores se suponen mayores. Además, la escasez de datos de que se dispone para la zona de suelo comprendida entre 70.00 y 500.00 m de profundidad ciertamente influye en el resultado.

La diferencia en las ordenadas no es muy significativa debido a que estas son muy sensibles a cambios en la magnitud y al hecho de que las Ecs. 4.1 proporcionan valores medios y son aplicables en rigor únicamente en condiciones normales, no siendo este el caso para los temblores que afectan a la Ciudad de México sobre todo cuando provienen de la costa de Guerrero. Sin embargo la semejanza en las curvas permite concluir que el problema ha sido resuelto cualitativamente aún cuando no cuantitativamente, para lo que sería necesario una mayor cantidad de datos de campo y laboratorio.

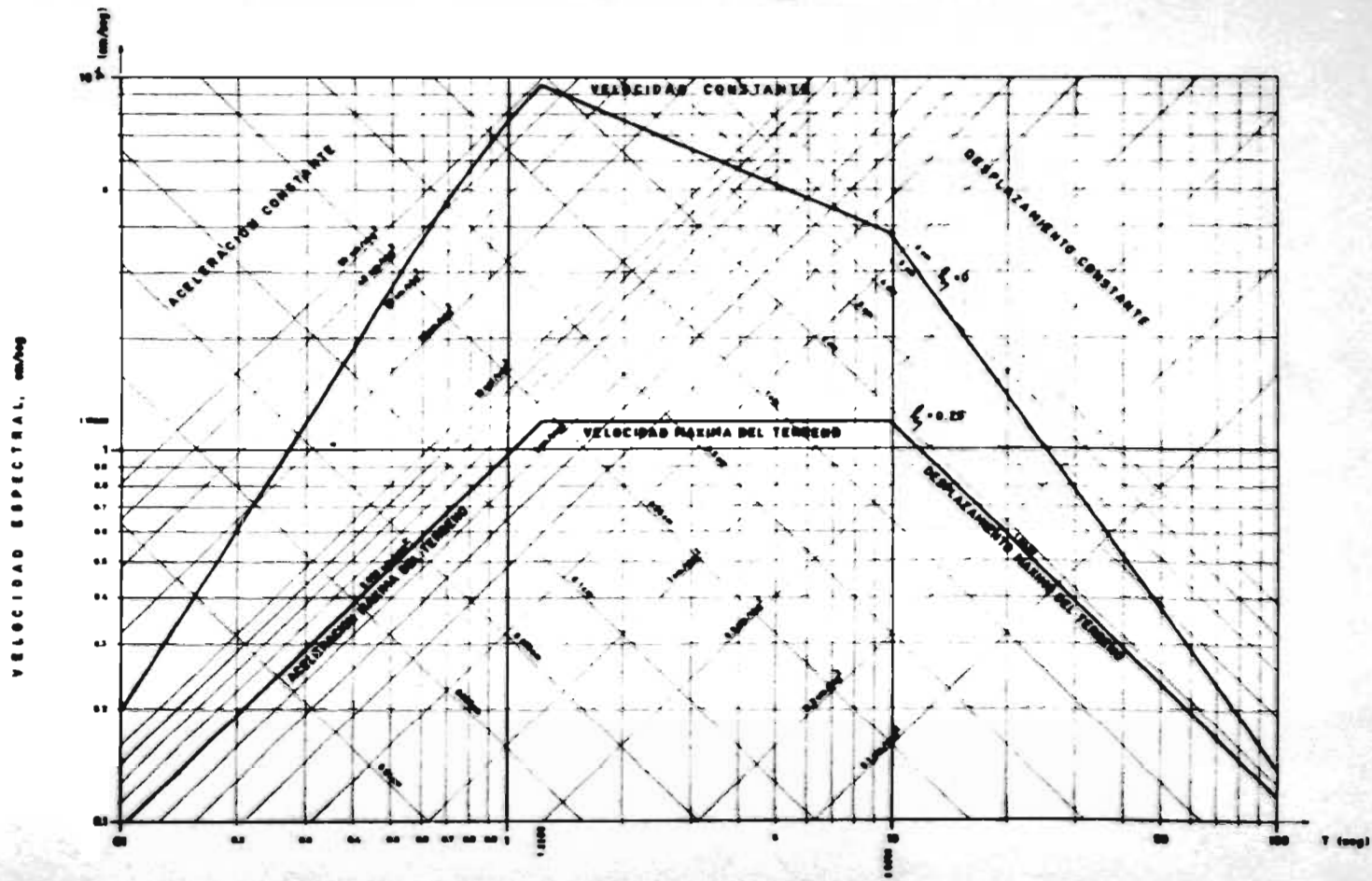
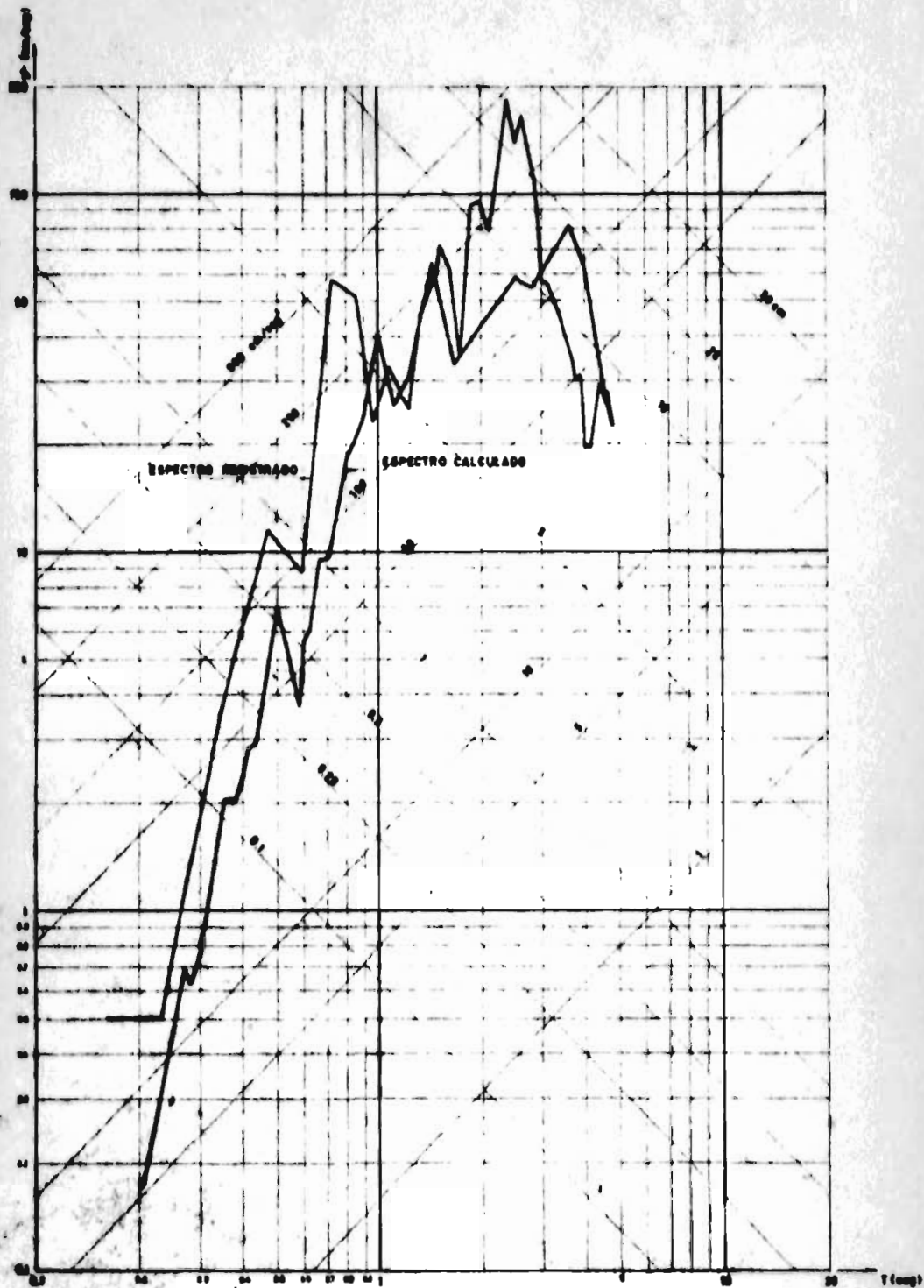


FIG. 8 ESPECTROS IDEALIZADOS



ESPECTROS DEL TENBLOR DEL 11 DE MAYO DE 1962

FIG. 9

B I B L I O G R A F I A

- (1) Kanai, K. Comparative studies of earthquake motions on the ground and underground. Bulletin XXXII. Earthquake Research Institute (1959).
- (2) Kanai, K. Semi empirical formula for the seismic characteristics of the ground. Bulletin XIV. Earthquake Research Institute (1957).
- (3) Kanai, K. Relation between the amplitude of earthquake motions and the nature of surface layer. Bulletin XXXIV. Earthquake Research Institute (1956).
- (4) Rosenblueth, E. Teoría de diseño sísmico sobre mantos blandos. Publicaciones ICA.
- (5) Herrera, I.
Rosenblueth, E. y
Rascón, O. Earthquake spectrum prediction for the Valley of Mexico.
No publicado.
- (6) Langhaar, H.L. Energy methods in applied mechanics. Wiley, New York.
- (7) Marsal, R.J. y
Maseri, M. El Subsuelo de la Ciudad de México.
- (8) Rascón, O. Trabajo no publicado.
- (9) Esteva, L. y
Rosenblueth, E. Espectros de temblores a distancias moderadas y grandes.
No publicado.