

29  
167

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

FACULTAD DE INGENIERIA



## CALCULO DE ESPECTROS HIDRODINAMICOS

T E S I S

que para obtener el Título de

*I N G E N I E R O C I V I L*

p r e s e n t a n :

MARCO ANTONIO RIVERA RODRIGUEZ

CARLOS SIERRA VAZQUEZ



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.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA  
EXAMENES PROFESIONALES  
60-1-123

A los pasantes señores MARCO ANTONIO RIVERA RODRIGUEZ y  
CARLOS SIERRA VAZQUEZ,  
P a s a n t e s

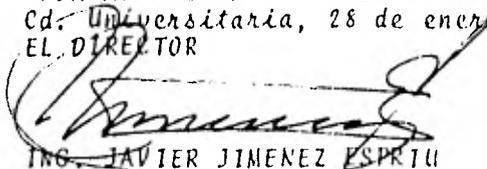
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a ustedes a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Dr. Francisco Sánchez Sesma, para que lo desarrollen como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"CALCULO DE ESPECTROS HIDRODINAMICOS"

1. Introducción.
2. Espectros hidrodinámicos o de Bessel.
3. Algoritmo numérico.
4. Descripción del proceso de cálculo.
5. Resultados.
6. Conclusiones.
7. Referencias.
8. Apéndices.

Ruego a ustedes se sirvan tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberán prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, 28 de enero de 1982  
EL DIRECTOR

  
ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU

JJE/06LH/ser

## INDICE

RESUMEN	
1.	INTRODUCCION 1
2.	ELEMENTOS DE HIDRODINAMICA LINEAL 6
2.1	<i>Ecuaciones de equilibrio</i> 6
2.2	<i>Presión y cambio de volumen</i> 7
2.3	<i>Ecuación de equilibrio en términos de presiones</i> 8
2.4	<i>Condiciones de frontera</i> 8
3.	PRESIONES HIDRODINAMICAS EN UNA PRESA RIGIDA CON PA VIMENTO VERTICAL SOMETIDA A ACELERACION HORIZONTAL 10
3.1	<i>Solución del caso de incompresibilidad</i> 11
3.2	<i>Solución del caso compresible</i> 12
4.	ESPECTROS HIDRODINAMICOS O DE BESSEL 15
5.	ALGORITMO NUMERICO 19
6.	DESCRIPCION DEL PROCESO DE CALCULO 22
6.1	<i>Subrutinas de proceso</i> 22
6.2	<i>Subrutinas de entrada</i> 24
6.3	<i>Subrutinas de salida</i> 26
7.	RESULTADOS 28
7.1	<i>Respuesta a un pulso triangular</i> 28
7.2	<i>Respuesta a acelerogramas teóricos</i> 28
7.3	<i>Espectros hidrodinámicos de acelerogramas reales</i> 30
8.	CONCLUSIONES 32
9.	RECONOCIMIENTOS 33
10.	REFERENCIAS 34
	TABLA 38
	FIGURAS 39
	APENDICE. LISTADO DEL PROGRAMA 54

## RESUMEN

Se presenta un algoritmo y un sistema de cómputo para el cálculo de espectros hidrodinámicos o de Bessel de acelerogramas de temblores. El estudio se desarrolla en conexión con el cálculo de acciones hidrodinámicas generadas por sismo en presas. El algoritmo se basa en la convolución numérica del acelerograma y la respuesta exacta para un pulso triangular de aceleración. Se calculan los espectros para algunos acelerogramas y se indica su utilidad en el diseño sísmico de presas y muros de retención.

## 1. INTRODUCCION

Las presas usualmente son estructuras de gran tamaño y elevado costo, en las que las consecuencias de una falla podrían tener costos demasiado altos por concepto de pérdida de vidas humanas y daños materiales. Un diseño óptimo buscaría minimizar el costo y mantener los riesgos en niveles aceptables.

En zonas sísmicas no pueden despreciarse los efectos dinámicos generados por temblor en el fluido almacenado, por lo que las presiones hidrodinámicas y su distribución deben ser consideradas en el análisis y diseño de estas estructuras.

Los primeros estudios sobre efectos hidrodinámicos en presas sometidas a un sismo, fueron realizados por Westergaard (15), quien analizó una presa rígida con paramento vertical aguas arriba y vaso de longitud infinita sometida a movimiento armó

nico en la base. Encontró distribuciones de presiones semejantes a una parábola con máximo en la base y sugirió el uso de una masa de líquido asociada a la cortina para representar los efectos hidrodinámicos.

Se han realizado estudios sobre el tema considerando diferentes hipótesis tales como la deformabilidad del fondo, de la cortina y de las laderas del vaso. En particular, se ha demostrado (11) que si se considera la deformabilidad del fondo del vaso cuando el movimiento es vertical se obtienen reducciones sustanciales de las presiones hidrodinámicas. Conclusiones similares pueden establecerse en relación con la deformabilidad de la cortina y el vaso (3,5,13) pero son pocos los estudios paramétricos y las soluciones analíticas escasas para considerar resuelto el problema en este aspecto. La forma del vaso influye en la distribución de las presiones hidrodinámicas. Bajo la hipótesis de vaso rígido se han obtenido soluciones para distintas formas y su efecto puede ser tomado en cuenta de manera aproximada (8, 12, 14).

Usualmente no se considera la influencia del oleaje, se ha demostrado que es despreciable (7) particularmente si se toma en cuenta la compresibilidad del líquido. Parece ser que en términos generales, el oleaje carece de importancia en presas so

metidas a temblores (6) en lo que a presiones sobre la cortina se refiere, aunque localmente el fenómeno puede ser significativo. Tal es el caso en presas de tierra con bordo libre escaso, porque el líquido derramado puede provocar daños por corrosión.

La inclinación de la cortina influye en la distribución de presiones. Bajo la hipótesis de incompresibilidad se han obtenido distintas soluciones. Zangar (18) obtuvo experimentalmente, mediante el empleo de una analogía eléctrica, distribuciones aproximadas de las presiones para diferentes formas del paramento aguas arriba. Una idea sugerida por Von Kármán (15), en su discusión del trabajo de Westergaard, permitió la obtención de una solución analítica aproximada cuando el paramento es inclinado (10,16). Para este problema, con el uso de las técnicas de variable compleja, se tiene ya solución exacta (4).

El método de los elementos finitos ha permitido resolver problemas tridimensionales en los que se toma en cuenta la interacción agua-vaso-cortina (3,5,17). Sin embargo, es discutible la utilidad en diseño de sólo estos resultados, ya sea por limitaciones en los modelos o porque las incertidumbres con respecto a la excitación sean muy grandes. Si tal es el caso, puede recurrirse con ventajas al análisis modal para el cálculo de presiones y empujes hidrodinámicos en presas sometidas a temblores (7,10,12).

Bajo las hipótesis de que el fluido es un medio continuo, no viscoso y compresible, que los desplazamientos son pequeños y que el oleaje es despreciable, puede encontrarse que las presiones hidrodinámicas sobre la cortina de una presa con paramento vertical rígido, sometida a una aceleración arbitraria en su base, están dadas por un desarrollo en serie en el que aparece, en cada término, la convolución del acelerograma con la función de Bessel de primera especie y orden cero. Debido a la similitud que dicha convolución tiene con la expresión de la respuesta de un oscilador lineal amortiguado, se ha definido el espectro hidrodinámico (7,10) o de Bessel (2) que, de conocerse para distintos temblores en un sitio dado, sería de gran utilidad en el cálculo de presiones y empujes hidrodinámicos de diseño en presas. Aparentemente sólo se han calculado espectros hidrodinámicos para tres acelerogramas; dos de ellos de temblores japoneses, por Kotsubo (8) y el otro para la componente NS del temblor de El Centro, California de 1940, por Flores (7).

Los espectros calculados por Kotsubo corresponden a dos registros poco significativos por las pequeñas aceleraciones que se midieron; pero aún si se toman como buenos, la muestra disponible es muy pequeña para dar recomendaciones sobre el uso de espectros hidrodinámicos. Debido a que su cálculo requería

de trabajo excesivo (7) se sugirió el empleo de amortiguamiento equivalente (10) pero sólo como una aproximación.

En este trabajo se presenta un algoritmo para el cálculo numérico de espectros hidrodinámicos de acelerogramas de temblores y se describe el desarrollo de un sistema de cómputo para su eventual proceso. Previamente se presentan algunos resultados de hidrodinámica lineal, se describen algunas soluciones para las presiones hidrodinámicas y se define propiamente el espectro hidrodinámico o de Bessel estudiándose algunas de sus características.

A manera de ejemplos se incluyen los espectros hidrodinámicos calculados con el algoritmo aquí presentado para acelerogramas teóricos y para algunos sismos reales. Se discuten los resultados así como el algoritmo y el sistema desarrollados.

Esta investigación fue motivada por la aparición del concepto de espectros hidrodinámicos en la solución de un problema de empujes dinámicos de tierras en muros de retención sometidos a excitación sísmica (2).

## 2. ELEMENTOS DE HIDRODINAMICA LINEAL

Se aceptarán las siguientes hipótesis

- 1) el fluido es no viscoso
- 2) los desplazamientos son pequeños
- 3) el oleaje es despreciable
- 4) el fluido es un medio continuo, no se produce cavitación y el campo de velocidades es continuo y diferenciable

### 2.1 Ecuaciones de equilibrio

En el interior de un fluido la presión a la que estará sometida una partícula de fluido será función de su posición y del tiempo, es decir

$$p = p(x, y, z, t) \quad (1)$$

donde  $x, y, z$  son las coordenadas cartesianas que definen la posición original de una partícula y  $t$  el tiempo.

Puede demostrarse (10) que las ecuaciones de equilibrio, en ausencia de fuerzas de cuerpo, están dadas por la ec vectorial

$$\rho \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial t^2} = - \text{grad } p \quad (2)$$

donde  $\rho$  = densidad del fluido,  $\bar{u}$  = vector de desplazamientos con componentes  $u, v$  y  $w$  en las direcciones  $x, y$  y  $z$  y  $\text{grad}$  = operador con componentes  $\partial/\partial x, \partial/\partial y$  y  $\partial/\partial z$ .

## 2.2 Presión y cambio de volumen

Si el líquido es compresible, cambiará su volumen al ser sometido a presión. Puede demostrarse (10) que el incremento de volumen de una partícula infinitesimal está dado por

$$\Delta V = V \text{div } \bar{u} \quad (3)$$

donde  $V$  = volumen inicial de la partícula y  $\text{div}$  = operador divergencia. Así, la divergencia del campo de desplazamientos es una medida del cambio de volumen de las partículas.

Supóngase que en cualquier punto la presión es proporcional al cambio de volumen y que está dada por

$$p = -\lambda \operatorname{div} \bar{u} \quad (4)$$

donde  $\lambda$  = constante proporcional al módulo de compresibilidad.

### 2.3 Ecuación de equilibrio en términos de presiones

Aplicando el operador divergencia a la ec 2, teniendo en cuenta la ec 4 y como  $\operatorname{div} \operatorname{grad} = \nabla^2$ , donde  $\nabla^2 = \partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2 + \partial^2/\partial z^2$  = operador laplaciano, se tiene que

$$\nabla^2 p = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (5)$$

donde  $c = \sqrt{\lambda/\rho}$  = velocidad de propagación del sonido, en el agua  $c = 1440$  m/s. La ec 5 es la ecuación de onda y gobierna el equilibrio.

### 2.4 Condiciones de frontera

La hipótesis de oleaje despreciable permite establecer que en una superficie libre la presión hidrodinámica debe ser nula

$$p = 0 \quad (6)$$

En la frontera con un sólido, la condición correspondiente puede obtenerse de la ec 2 considerando que la única condición relevante que se puede imponer a las partículas de un fluido en contacto con una frontera sólida es que los desplazamientos normales a la frontera sean iguales en el sólido y en fluido. Así, se tiene que

$$\frac{\partial p}{\partial n} = -\rho a_n \quad (7)$$

donde  $\bar{n}$  = vector normal a la frontera y  $a_n$  = aceleración del sólido normal a la frontera.

### 3. PRESIONES HIDRODINAMICAS EN UNA PRESA RIGIDA CON PARAMENTO VERTICAL SOMETIDA A ACELERACION HORIZONTAL

Considérese la presa mostrada en la fig 1 con paramento rígido en  $x = 0$ , base rígida en  $y = 0$  y de profundidad  $H$ . Supóngase que se extiende indefinidamente en la parte positiva del eje  $x$  y de manera infinita en  $z$ . Si el conjunto cortina-base se mueve horizontalmente con una aceleración  $a(t)$  para  $t \geq 0$ , y si se acepta que para  $t < 0$  el sistema se encuentra en reposo, las presiones hidrodinámicas resultantes en la cortina se conocerán al resolver el problema de encontrar  $p(x, y, t)$  que sea solución de la ecuación de onda:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (8)$$

en  $x > 0$ ,  $0 < y < H$  sometida a las siguientes condiciones de

frontera e iniciales

$$p(x, H, t) = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial p(x, 0, t)}{\partial y} = 0 \quad (10)$$

$$p(x, y, t) \rightarrow 0 \text{ si } x \rightarrow \infty \quad (11)$$

$$\frac{\partial p(0, y, t)}{\partial x} = -\rho a(t) \quad (12)$$

$$p(x, y, 0) = 0 \quad (13)$$

$$\dot{p}(x, y, 0) = 0 \quad (14)$$

### 3.1 Solución del caso de incompresibilidad

Si el fluido es incompresible,  $\frac{1}{c^2} = 0$ , la ec 8 resulta

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = 0 \quad (15)$$

que es la ecuación bidimensional de Laplace.

Usando el método de separación de variables con las condiciones de frontera de las ecs 9-14, se tiene que

$$p(x, y, t) = \frac{g}{\pi^2} \gamma H \frac{a(t)}{g} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{(2n-1)^2} e^{-\eta_n x} \cos(\eta_n y) \quad (16)$$

donde

$\gamma$  = peso volumétrico del fluido

$g$  = aceleración de la gravedad

$$\eta_n = (2n - 1) \pi / (2H)$$

En la ec 16, se puede observar que la respuesta es instantánea en todos los puntos, ya que la velocidad de propagación de las ondas en un medio incompresible es infinita.

La distribución de presiones a lo largo del eje  $y$  se asemeja a una parábola con vértice en la base como la mostrada en la fig 2, siendo el empuje producido en la cortina igual a  $0.543 \frac{a(x)}{g} \gamma H^2$  aplicando a una elevación  $y/H = 0.401$ .

Se ha sugerido (15) que para representar los efectos hidrodinámicos se utilice una masa distribuida adicional a la estructura que se analice. La distribución de dicha masa sería proporcional a la distribución de presiones dada en la ec 16.

### 3.2 Solución del caso compresible

Si se considera la compresibilidad del fluido ( $\frac{1}{c^2} \neq 0$ ), habrá que resolver la ecuación

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (17)$$

con las condiciones 9-14.

Usando transformada de Laplace y resolviendo por el método de separación variables para posteriormente aplicar la antitransformada, se puede obtener que la distribución de presiones en la cortina está dada por

$$p(0, y, t) = \frac{8\gamma H}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{(2n-1)} [\cos(\eta_n y)] \frac{F(\omega_n, t)}{g} \quad (18)$$

donde  $\gamma$  = peso volumétrico del fluido,  $\omega_n = (2n-1) \pi c / (2H) =$  frecuencia circular del modo  $n$ , y

$$F(\omega_n, t) = \omega_n \int_0^t a(\tau) J_0[\omega_n(t-\tau)] d\tau \quad (19)$$

es la expresión que gobierna la respuesta de las presiones en el tiempo y por lo tanto de los empujes hidrodinámicos.

En la ec 19  $J_0(\cdot)$  = función de Bessel de primera especie y orden cero.

La similitud de la ec 19 con la expresión

$$\omega \int_0^t a(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \text{sen}[\omega\sqrt{1-\xi^2}(t-\tau)] d\tau \quad (20)$$

que gobierna la respuesta de un oscilador lineal con frecuencia no amortiguada  $\omega$  y amortiguamiento  $\xi$ , sugiere que podrían

emplearse criterios de superposición modal de la respuesta de manera análoga a como se hace en estructuras. En efecto, si se define

$$B(\omega_n) = \max_t |F(\omega_n, t)| \quad (21)$$

como el espectro hidrodinámico o de Bessel para la frecuencia  $\omega_n$  se tiene que las presiones máximas en el modo  $n$  serían

$$p_n = \frac{8\gamma H}{\pi^2} \frac{(-1)^{n+1}}{(2n-1)^2} [\cos(\eta_n y)] \frac{B(\omega_n)}{g} \quad (22)$$

Un criterio para evaluar presiones de diseño es que

$$p \leq \sum_{n=1}^{\infty} |p_n| \quad (23)$$

que consiste en sumar las respuestas en valor absoluto. La ec 23 proporciona una cota superior para presiones. Puede recurrirse también al criterio de estimar la respuesta de diseño como (10)

$$p = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} p_n^2} \quad (24)$$

Sin embargo, como puede verse en la ec 22, el modo más significativo es el primero por lo que las ecs 23 y 24 dan prácticamente los mismos resultados.

#### 4. ESPECTRO HIDRODINAMICO O DE BESSEL

Se ha definido el espectro hidrodinámico o de Bessel, para la frecuencia  $\omega$ , como

$$B(\omega) = \max_t |F(\omega, t)| \quad (25)$$

donde

$$F(\omega, t) = \omega \int_0^t a(\tau) J_0[\omega(t-\tau)] d\tau \quad (26)$$

$a(t)$  = aceleración horizontal y  $J_0(\cdot)$  = función de Bessel de primera especie y orden cero.

Como normalmente se recurre a la interpolación lineal del acelerograma de un temblor se estudiará la respuesta a un pulso triangular como el mostrado en la fig 3. Para ello basta con calcular la respuesta a una función lineal de aceleración y realizar adecuadamente la superposición de efectos.

Si  $a(t) = \frac{a}{\Delta t} t$ , la ec 26 puede escribirse como

$$f_r(\omega, t) = \frac{a}{\Delta t} \omega \int_0^t \tau J_0[\omega(t-\tau)] d\tau \quad (27)$$

donde  $f_r(\omega, t)$  es la respuesta  $F(\omega, t)$  para una rampa.

Con el cambio de variable  $u = \omega\tau$  se tiene

$$f_r(\omega, t) = \frac{a}{\omega\Delta t} \int_0^{\omega t} u J_0(\omega t - u) du \quad (28)$$

o bien

$$f_r(\omega, t) = \frac{a}{\omega\Delta t} \int_0^{\omega t} (\omega t - u) J_0(u) du \quad (29)$$

de donde

$$f_r(\omega, t) = \frac{a}{\Delta t} t \left[ \int_0^{\omega t} J_0(u) du - J_1(\omega t) \right] \quad (30)$$

donde  $J_1(\cdot)$  = función de Bessel de primera especie y orden uno.

Si se define

$$G(z) = \int_0^z J_0(u) du - J_1(z) \quad (31)$$

entonces, la ec 30 queda

$$f_r(\omega, t) = \frac{a}{\Delta t} t G(\omega t) \quad (32)$$

La respuesta al pulso triangular de la fig 3 queda, en consecuencia dada por

$$f(\omega, t) = \frac{a}{\Delta t} t G(\omega t) \quad \text{en } 0 \leq t \leq \Delta t \quad (33a)$$

$$f(\omega, t) = \frac{a t}{\Delta t} G(\omega t) - 2a \left( \frac{t}{\Delta t} - 1 \right) G(\omega(t - \Delta t)) \quad (33b)$$

en  $\Delta t \leq t \leq 2\Delta t$

$$f(\omega, t) = \frac{a t}{\Delta t} G(\omega t) - 2a \left( \frac{t}{\Delta t} - 1 \right) G(\omega(t - \Delta t)) +$$

$$a \left( \frac{t}{\Delta t} - 2 \right) G(\omega(t - 2\Delta t)) \quad (33c)$$

en  $t \geq 2\Delta t$

Puede demostrarse, usando expresiones asintóticas de la integral de  $J_0$  y de la función  $J_1$  que

$$\lim_{z \rightarrow \infty} G(z) = 1 \quad (34)$$

Así, empleando la ec 34, puede fácilmente demostrarse que

$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} f(\omega, t) = a(t) \quad (35)$$

Empleando integración por partes este resultado puede extenderse para cualquier variación de  $a(t)$ . De la ec 25 y de este último resultado, puede verse que

$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} B(\omega) = |a_{\max}| \quad (36)$$

esto es, como el periodo es  $T = 2\pi/\omega$  que cuando  $T = 0$  la ordenada espectral será la aceleración máxima.

Para averiguar el comportamiento asintótico cuando  $\omega$  tiende a cero puede hacerse lo siguiente. Mediante integración por partes se tiene que  $F(\omega, t)$  puede escribirse como

$$F(\omega, t) = \omega v(t) - \omega^2 \int_0^t v(\tau) J_1[\omega(t-\tau)] d\tau \quad (37)$$

donde  $v(t)$  = velocidad. Así de la ec 37 se ve que cuando  $\omega \ll 1$

$$F(\omega, t) \sim \omega v(t) \quad (38)$$

de donde, el espectro de Bessel, cuando  $\omega \ll 1$ , será

$$B(\omega) \sim \omega v_{\text{máx}} \quad (39)$$

Esto es, para periodos grandes el espectro resulta

$$\frac{2\pi}{T} v_{\text{máx}} \quad (40)$$

lo que manifiesta un decrecimiento hiperbólico como función del periodo.

## 5. ALGORITMO NUMERICO

Siempre es posible representar un acelerograma interpolado linealmente como la superposición de pulsos triangulares como el de la fig 3 con amplitudes iguales a los valores digitizados del acelerograma. Por ejemplo, el acelerograma mostrado en la fig 4a puede representarse como la superposición de los tres pulsos mostrados en la fig 4b. Para establecer el algoritmos numérico para calcular el espectro hidrodinámico conviene trabajar con tiempos discretos, aceptando que el registro está digitizado a intervalos iguales. Así, la respuesta a un pulso triangular de amplitud unitaria, dada en la ec 32, puede describirse con la sucesión:

$$\begin{aligned}
 f_1 &= G_1 \\
 f_2 &= 2G_2 - 2G_1 \\
 f_3 &= 3G_3 - 4G_2 + G_1 \\
 f_4 &= 4G_4 - 6G_3 + 2G_2 \\
 &\vdots \\
 f_n &= nG_n - 2(n-1)G_{n-1} + (n-2)G_{n-2}
 \end{aligned}
 \tag{41}$$

donde  $f_n = f(\omega, n\Delta t)$ ,  $G_n = G(nq)$ ,  $q = \omega\Delta t$  y  $\Delta t =$  intervalo de digitización.

La respuesta a la secuencia de pulsos triangulares que definen al acelerograma se obtiene con la convolución numérica de la respuesta discreta a un pulso, dada en las ecs 41, con la secuencia de aceleraciones discretas. Esto es, si el acelerograma está definido por la secuencia  $a_1, a_2, a_3, \dots$  la respuesta discreta al acelerograma será

$$\begin{aligned}
 F_1 &= f_1 a_1 \\
 F_2 &= f_1 a_2 + f_2 a_1 \\
 F_3 &= f_1 a_3 + f_2 a_2 + f_3 a_1 \\
 F_4 &= f_1 a_4 + f_2 a_3 + f_3 a_2 + f_4 a_1 \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 &\vdots
 \end{aligned}
 \tag{42}$$

que es la convolución numérica de las secuencias  $a_n$  y  $f_n$ .

Simbólicamente se pueden escribir las ecs 42 mediante

$$\{ F_n \} = \{ a_n \} * \{ f_n \} \quad (43)$$

En las expresiones 42 se tiene, formalmente, que

$$F_n = F(\omega, n\Delta t) \quad (44)$$

o bien

$$F_n = \omega \int_0^{n\Delta t} a(\tau) J_0[\omega(t-\tau)] d\tau \quad (45)$$

que es la representación de la ec 26 en los tiempos discretos  $t_n = n \Delta t$ . El valor máximo de los valores absolutos de la secuencia  $F_n$  será una estimación de la ordenada espectral  $B(\omega)$ . Puede calcularse con mayor precisión el máximo si se emplea un algoritmo de interpolación en la vecindad de los máximos relativos. Sin embargo, considerando que los intervalos usuales de digitización son de 0.01 a 0.02 segundos y que hay otras incertidumbres se estimó que no sería necesario ese refinamiento. Así, las ordenadas espectrales se tomarán como los máximos de las secuencias de  $|F_n|$  que, para distintos valores de  $\omega$ , se construyan.

## 6. DESCRIPCION DEL PROCESO DE CALCULO

Para el cálculo de los espectros hidrodinámicos mediante los algoritmos presentados en este trabajo, se desarrolló un programa en lenguaje FORTRAN para el computador Burroughs 6800 del Centro de Servicios de Computo de la UNAM.

El programa está constituido por una rutina principal que sirve de interfase para las siguientes subrutinas:

### 6.1 Subrutinas de proceso

Las siguientes subrutinas se evalúan tantas veces como el número de frecuencias solicitadas.

EVALGZ. Evaluación de  $G(z)$ . Esta función se ha definido en términos de la integral de  $J_0(z)$  y de  $J_1(z)$  y su cálculo depende

del valor del argumento, de tal forma que se definen dos rangos. Cuando  $z$  se encuentra entre cero y cinco, se utilizan polinomios de Chebychev y cuando  $z$  es mayor o igual que cinco, polinomios de Chebychev corridos (1,9).

EVALFZ. Evaluación de la respuesta a un pulso triangular. En este caso se tiene que

$$f_n = nG_n - 2(n-1)G_{n-1} + (n-2)G_{n-2}$$

y tomando en cuenta que  $f_1$  y  $f_2$  serán calculados considerando únicamente el primer término y los dos primeros, respectivamente.

EVALFR. Convolución numérica. Se evalúa la respuesta al acelerograma como la convolución numérica de la respuesta de un pulso triangular y el acelerograma.

MAXFRW. Obtiene el máximo en valor absoluto de la respuesta al acelerograma, es decir, una de las ordenadas del espectro hidrodinámico.

## 6.2 Subrutinas de entrada

Solamente son llamadas una vez al principio del programa y son:

ASIGNA. Asignación de los vectores requeridos para evaluar la función  $G(z)$  como aproximación de polinomios de Chebychev de primera especie.

LEEPAR. Lectura de los parámetros utilizados por el programa, tales como:

Número de puntos de la función "F", es decir, número de puntos que se desean calcular para la respuesta a un pulso triangular unitario formando la función "F", la cual es convolucionada con el acelerograma para obtener la respuesta al mismo. Es importante recordar que entre mayor sea este número, mayor es la aproximación de la respuesta pero también el tiempo de cálculo, por lo que es recomendable que este valor no exceda el número de puntos del acelerograma ya que esto incrementa el tiempo de cálculo sin que por ello se obtengan mejores resultados.

Número de frecuencias para el espectro, el número aquí asignado será el número de puntos que tendrá el espectro hidrodinámico.

Para cada una de las frecuencias, en radianes por segundo, se tienen las opciones de graficar o no el resultado de la convolución "FR" y de ser así, si se requiere esta gráfica por impresora y/o teletipo.

Si se desea graficar el acelerograma, se puede hacer por la impresora y/o el teletipo.

Al final se pregunta si se desea o no la presentación, en forma tabular, del espectro por el teletipo.

LEEACE. Subrutina que permite leer los datos del acelerograma digitizado a intervalos constantes; grabado con las siguientes características:

El primer registro contiene un dato alfanumérico que identifica al acelerograma.

El segundo registro contiene un entero de cinco dígitos indicando el número de puntos del acelerograma.

Cada uno de los registros siguientes deberá estar formado con siete parejas ordenadas de tiempo y aceleración (en gals) en forma

mato F8.2 y F8.3 respectivamente, con longitud de registro de 19 palabras y factor de "bloqueo" de 30.

### 6.3 Subrutinas de salida

Permiten obtener el espectro y opcionalmente los resultados parciales del cálculo.

PLOTTER. Esta subrutina tiene como objetivo generar un archivo en disco que permita trazar una gráfica con el "PLOTTER" del Instituto de Ingeniería, UNAM. Las características del archivo creado son las siguientes:

El primer registro contiene en formato libre; el tiempo mínimo, el tiempo máximo, la aceleración mínima, la aceleración máxima y un indicador con valor numérico de 1.

A partir del segundo registro se tienen tres valores; el tiempo, el valor de la aceleración para ese tiempo y un indicador que debe ser cero a excepción del segundo registro en que es 1.

IMPPAR. Esta subrutina imprime para cada una de las frecuencias solicitadas las características del problema tales como el nombre del acelerograma, intervalo de tiempo, número de puntos del acelerograma, número de puntos para "F" y el valor de la frecuencia.

PLOFRW. Genera un archivo con las mismas características que las del descrito en la subrutina PLOTTER, que permite graficar los espectros hidrodinámicos tomando como abscisa de la gráfica, la frecuencia, el período y la altura correspondiente.

GRAFIC. Gráfica según los parámetros leídos, la respuesta a un pulso triangular unitario "F", la respuesta al acelerograma "FR" y el mismo acelerograma, ya sea por la impresora y/o por el teletipo, mostrando para cada punto el valor del tiempo y de la función graficada, al final de la misma presenta el máximo en valor absoluto.

IMPFRW. Imprime el espectro hidrodinámico tanto en forma gráfica como tabular tomando como eje de las abscisas la frecuencia, el período y la altura correspondiente. Opcionalmente presenta los resultados en forma tabular por teletipo.

## 7. RESULTADOS

### 7.1 *Respuesta a un pulso triangular*

Suponiendo el acelerograma como un pulso triangular se calcularon las respuestas para las siguientes frecuencias (en rad/s):  $\omega = 1, 3$  y  $10$  (fig 5) y  $\omega = 30, 100$  y  $300$  (fig 6). En estas gráficas puede comprobarse la teoría mostrada en el capítulo 4, en la que se demuestra que cuando la frecuencia del vaso crece, la respuesta tiende a la aceleración y cuando la frecuencia disminuye, la respuesta tiende a la velocidad multiplicada por  $\omega$ .

### 7.2 *Respuesta a acelerogramas teóricos*

Con el fin de comprobar la aproximación del algoritmo, se realizaron pruebas con acelerogramas teóricos para los cuales se conoce la respuesta exacta (1).

Si suponemos al acelerograma como  $\cos(\omega t)$ , la respuesta estaría dada por:

$$\omega \int_0^t \cos(\omega \tau) J_0[\omega(t-\tau)] d\tau = \omega t J_0(\omega t) \quad (46)$$

cuya gráfica se presenta en la fig 7 y demuestra la validez del algoritmo empleado. En esta gráfica se puede apreciar que la respuesta entra en resonancia.

Adicionalmente se muestra la respuesta al acelerograma  $\cos(\omega t)$  (fig 8), donde  $\omega = 2.5$  rad/s que permite comprobar los resultados con los presentados por Flores (7).

Los mismos resultados son presentados para cuando el acelerograma es supuesto como la función  $\sin(\omega t)$  (figs 9 y 10) y para el acelerograma teórico  $J_0(\omega t)$  = función de Bessel de primera especie y orden cero en las figs 11 y 12. Las soluciones exactas para estos acelerogramas están dadas, respectivamente, por

$$\omega \int_0^t \sin(\omega \tau) J_0[\omega(t-\tau)] d\tau = \omega t J_1(\omega t) \quad (47)$$

Y

$$\omega \int_0^t J_0(\omega \tau) J_0[\omega(t-\tau)] d\tau = \sin(\omega t) \quad (48)$$

Se comprueba al igual que en el caso de la función coseno la bondad del algoritmo.

### 7.3 Espectros hidrodinámicos de acelerogramas reales

Se calcularon, empleando el algoritmo descrito en este trabajo, los acelerogramas registrados en:

- a) El Centro, California el 18 de mayo de 1940. Se utilizó la componente N-S, que corresponde al acelerograma utilizado por Flores (7).
- b) la base de la presa La Villita, Michoacán el 19 de marzo de 1979, componente longitudinal.
- c) la corona de la presa La Villita, Michoacán el 19 de marzo de 1979, componente longitudinal.

Los tres registros se denominarán en lo sucesivo por El Centro, Villita Base y Villita Corona, respectivamente.

Los acelerogramas se muestran en las figs 13, 19 y 25, respectivamente. Las figs 14, 20 y 26 muestran las respuestas hidrodinámicas correspondientes a periodos de 0.5, 0.2 y 0.5 segundos respectivamente.

Para evitar consumo excesivo de tiempo se calcularon los espectros considerando los segmentos más intensos de los acelerogramas. Se tomaron segmentos de 2.5, 5.0 y 10.0 segundos para los que se calcularon 41, 21 y 11 puntos de los espectros, respec

tivamente. Los espectros así calculados se presentan, respectivamente, en las figs 15, 16 y 17 para el temblor del El Centro, en las figs 21, 22 y 23 para el registro Villita Base y en las figs 27, 28 y 29 para el acelerograma de Villita Corona.

Finalmente, en las figs 18, 24 y 30 se muestra la envolvente de los tres espectros calculados para cada sismo, que permiten obtener los espectros de forma conservadora. La similitud del espectro para El Centro, fig 18, con el calculado para este temblor por Flores (7) es grande. Las diferencias, que no son importantes, seguramente se deben al uso de digitizaciones diferentes.

En los espectros calculados puede observarse que para periodos pequeños el espectro tiende a la aceleración máxima y para periodos grandes se aproxima a la velocidad máxima por  $\omega$ , esto es, con un decaimiento hiperbólico como función del periodo.

Los tiempos de proceso dependen del número de puntos del acelerograma,  $NA$ , y del número de ordenadas calculadas de la función  $f$  o respuesta a un pulso triangular,  $NF$ . En la tabla se indican algunos valores del tiempo de proceso (CPU) requeridos para calcular una ordenada espectral. Esos tiempos son aproximadamente proporcionales al producto de  $NA$  y  $NF$ .

## 8. CONCLUSIONES

Se han presentado un algoritmo numérico y un sistema de cómputo para el cálculo de espectros hidrodinámicos o de Bessel de acelerogramas de temblores. Es factible el cálculo sistemático de espectros hidrodinámicos de manera económica, cosa que, aparentemente, no se había logrado hasta la fecha. Las razones de ello son la sencillez del algoritmo y el sistema de cómputo, por una parte y la rapidez de las nuevas generaciones de máquinas, por la otra.

## 9. RECONOCIMIENTOS

Se agradece al Dr. Francisco J. Sánchez-Sesma la dirección de este trabajo así como su continua supervisión y estímulo durante el desarrollo del mismo, a los Ings. G. R. Aranda y A. Arias sus comentarios y sugerencias. Los Ings. G. R. Aranda y E. Mena facilitaron los registros de aceleraciones aquí utilizados y el Fís. R. Carmona proporcionó la subrutina para graficación.

Este trabajo fue elaborado en el Instituto de Ingeniería, UNAM.

## 10. REFERENCIAS

1. Abramowitz, M y Stegun, I, *Handbook of mathematical functions*, Dover Publications, Inc, New York, (1970)
2. Arias, A, Sánchez-Sesma, F J y Ovando-Shelley, E, "A simplified elastic model for seismic analysis of earth retaining structures with limited displacements", *Proc Int Conf on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, Vol, I, St Louis Missouri, (1981) 235-240
3. Chakrabarti, P y Chopra, A K, "Earthquake analysis of gravity dams including hydrodynamic interaction", *Int J Earthq Engng Stuct Dynamics*, Vol 1, No 2 (1973) 143-160
4. Chwang, A y Housner G N, "Hydrodynamic pressures on sloping dams during earthquakes" *Journal of fluid mechanics*, Vol 87, No 2 (1978), 335-341

5. Clough, R W y Chopra, A K, "Earthquake response analysis of concrete dams", in *Structural and Geotechnical Mechanics*, W J, Hall, ed, Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N J, (1977) 378-402
6. Flores, A y Bustamante, J I, "Bibliografía sobre oleaje producido por sismos", *Instituto de Ingeniería, UNAM*, Informe 110 (1964)
7. Flores, A, "Presión hidrodinámica en presas sujetas a sismo", *Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México*, (1966)
8. Kotsubo, S, "Dynamic water pressure on dams due to irregular earthquakes", *Memoirs, Faculty of Engng, Kyushu University, Fukukoa, Japón*, Vol 18, No 4 (1959), 119-129
9. Luke, Y L, *Mathematical functions and their approximations*, Academic Press Inc., Nueva York, (1975)
10. Newmark, N M y Rosenblueth, E, *Fundamentals of earthquake engineering*, Prentice Hall, Inc, Englewood Cliffs, N J, (1971)
11. Rosenblueth, E, "Presión hidrodinámica en presas debida a aceleración vertical con refracción en el fondo", *II Con*

- greso Nacional de Ingeniería Sísmica, Veracruz, 1968,  
*Ingeniería*, Vol 38, No 2 (1968) 199-208
12. Sánchez-Sesma, F J y Rosenblueth, E, "Hydrodynamic pressure in semicylindrical reservoir", *Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE*, Vol 103, No EM5 (1977) 913-919
13. Sánchez-Sesma, F J, "Presión hidrodinámica con interacción agua-vaso", *Ingeniería*, Vol 47, No 3 (1977) 228-233
14. Werner, P W y Sundquist, K J, "On hydrodynamic earthquake effects", *Trans Am Geophys Union*, Vol 30, No 5, (1949) 636-657
15. Westergaard, H M, "Water pressures on dams during earthquakes", *Transactions, American Society of Civil Engineers, ASCE*, Vol 98, (1933) 418-472
16. Yang, C Y, Chen, S S, Wang, H y Sánchez-Sesma, F J, "Hydrodynamic pressures on dams with inclined face", *Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE*, Vol 105, No EM5 (1979) 441-450

17. Zamorano, F, "Interacción suelo-agua-cortina en presas durante sismo", *Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México*, (1975)
  
18. Zangar, C N, "Hydrodynamic pressure on dams due to horizontal earthquake effects", *Engineering Monogr, No 11, US Bureau of Reclamation*, (1952)

## TABLA DE TIEMPOS DE PROCESO

La siguiente tabla muestra los tiempos de proceso (CPU), en segundos, para el cálculo de una ordenada espectral, dependiendo del número de puntos de la respuesta a un pulso triangular (NF) y del número de puntos del acelerograma (NA)

NA	NF	TIEMPO (SEG)
125	125	2.1
250	250	7.7
500	500	28.1
695	300	25.1

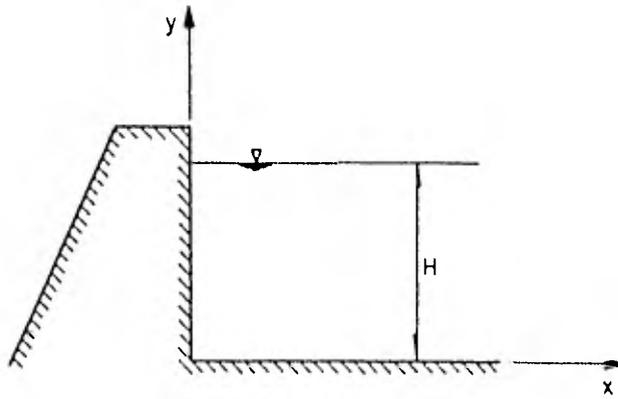


Fig 1. Sección transversal de una presa rígida con paramento vertical

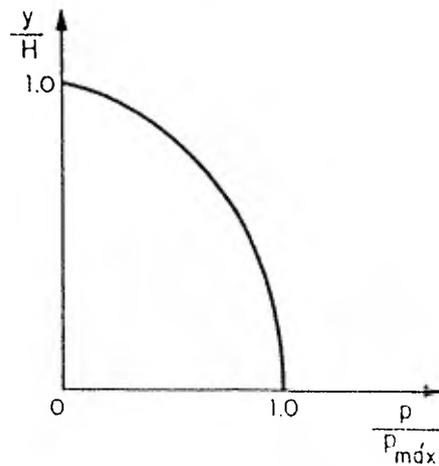


Fig 2. Distribución de presiones en el caso de líquido incompresible

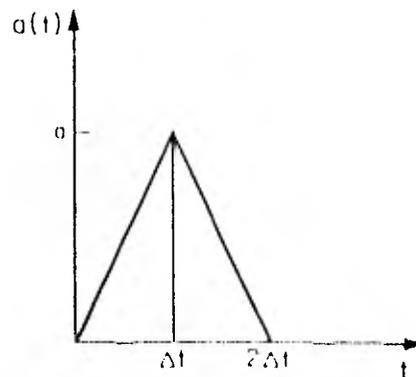


Fig 3. Pulso triangular de aceleración

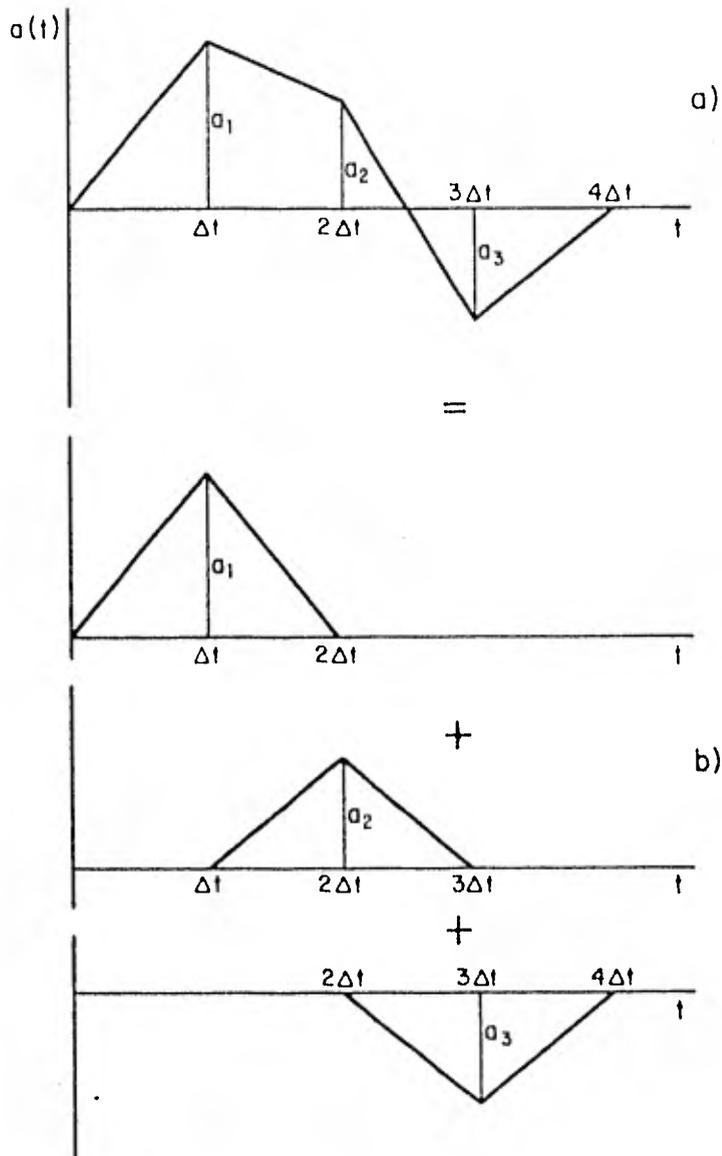


Fig 4. Acelerograma simple para mostrar la representación con la suma de pulsos triangulares

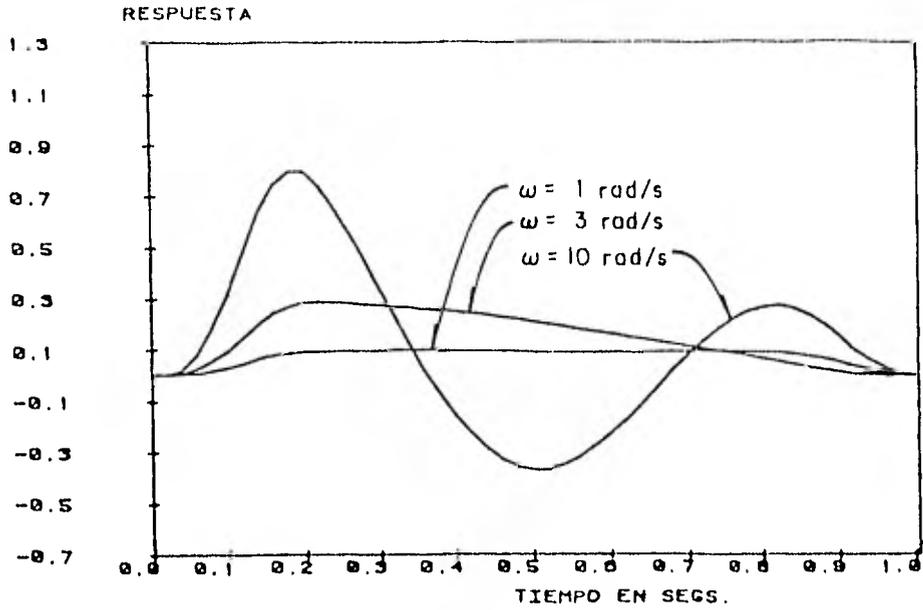


Fig 5. Respuesta a un pulso triangular

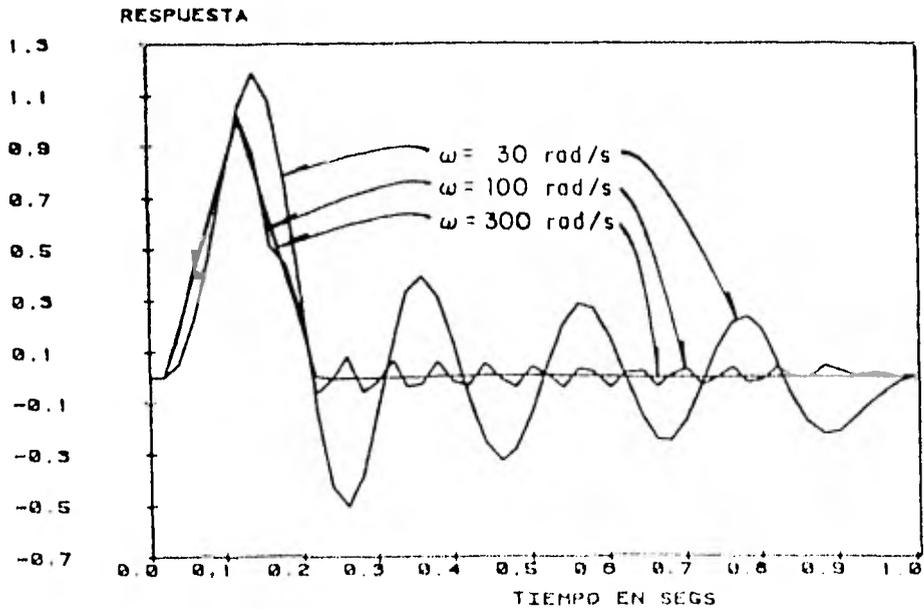


Fig 6. Respuesta a un pulso triangular

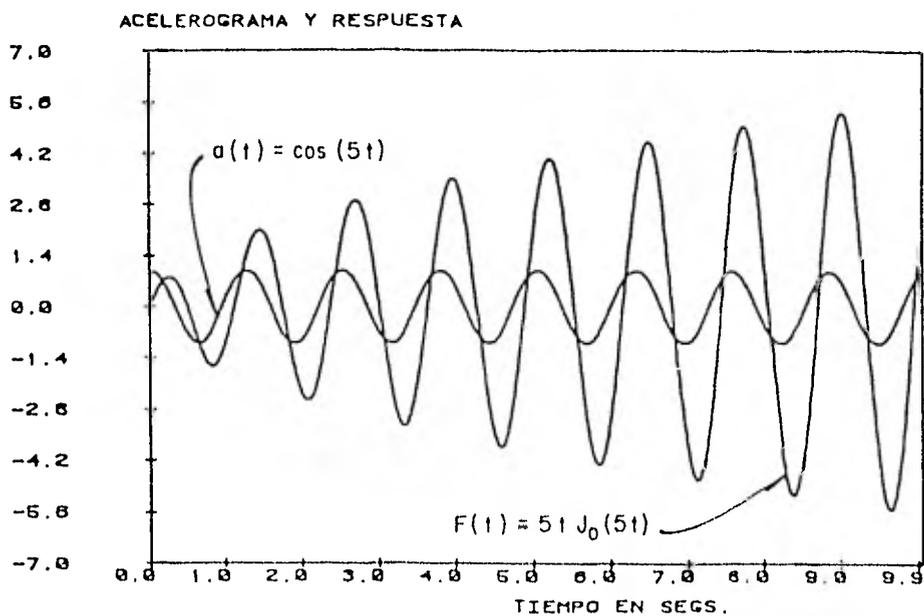


Fig 7. Acelerograma teórico  $a(t) = \cos(\omega t)$  con respuesta en resonancia  $F(t) = \omega t J_0(\omega t)$ , para  $\omega = 5$  rad/s

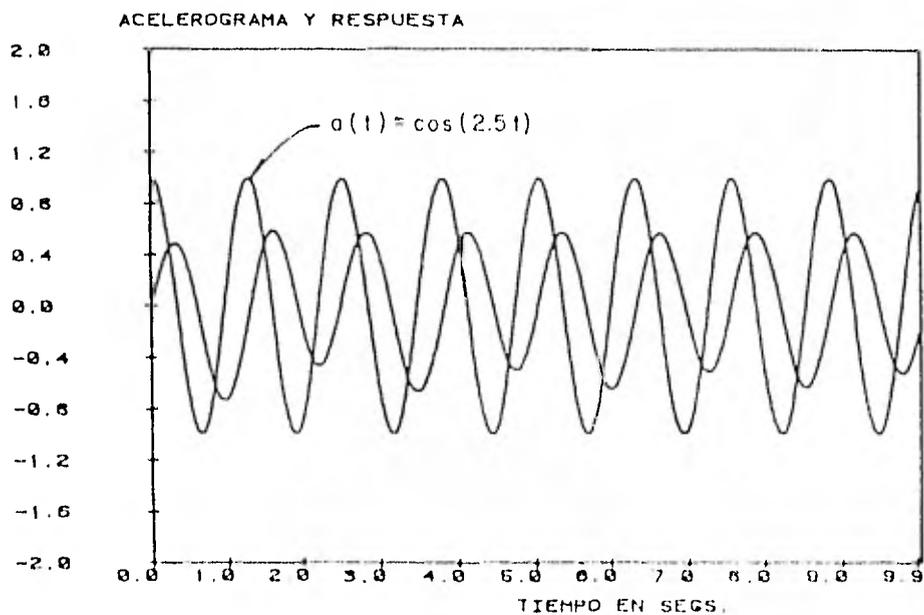


Fig 8. Acelerograma teórico  $a(t) = \cos(\omega t)$  con  $\omega = 2.5$  rad/s

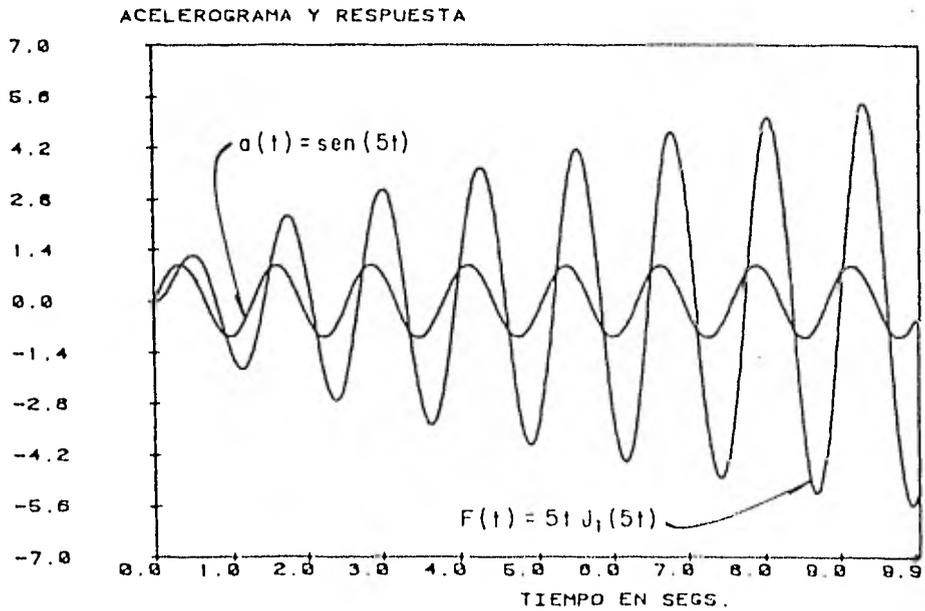


Fig 9. Acelerograma teórico  $a(t) = \text{sen}(\omega t)$  con respuesta en resonancia  $F(t) = \omega t J_1(\omega t)$ , para  $\omega = 5 \text{ rad/s}$

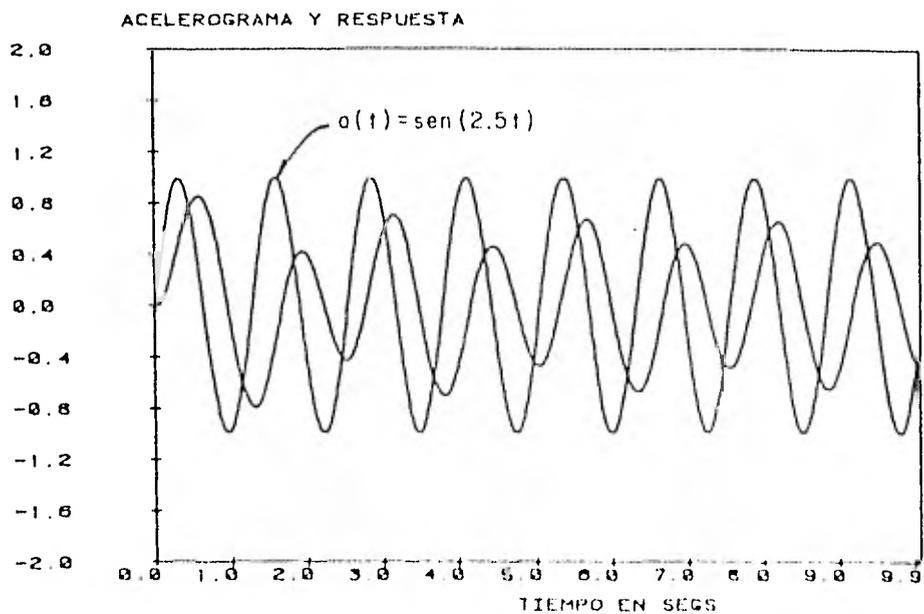


Fig 10. Acelerograma teórico  $a(t) = \text{sen}(\omega t)$  con  $\omega = 2.5 \text{ rad/s}$

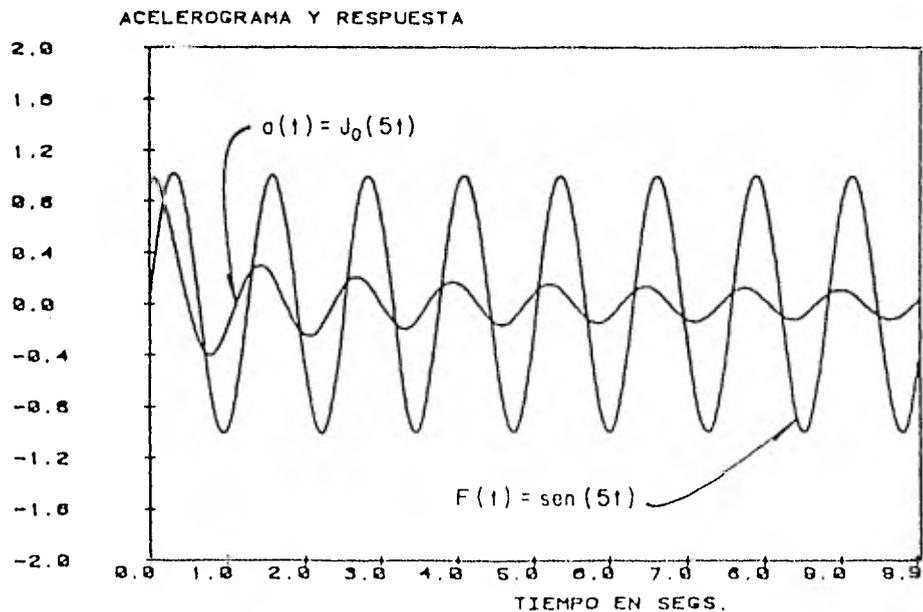


Fig 11. Acelerograma teórico  $a(t) = J_0(\omega t)$  con respuesta  $F(t) = \text{sen}(\omega t)$ , para  $\omega = 5 \text{ rad/s}$

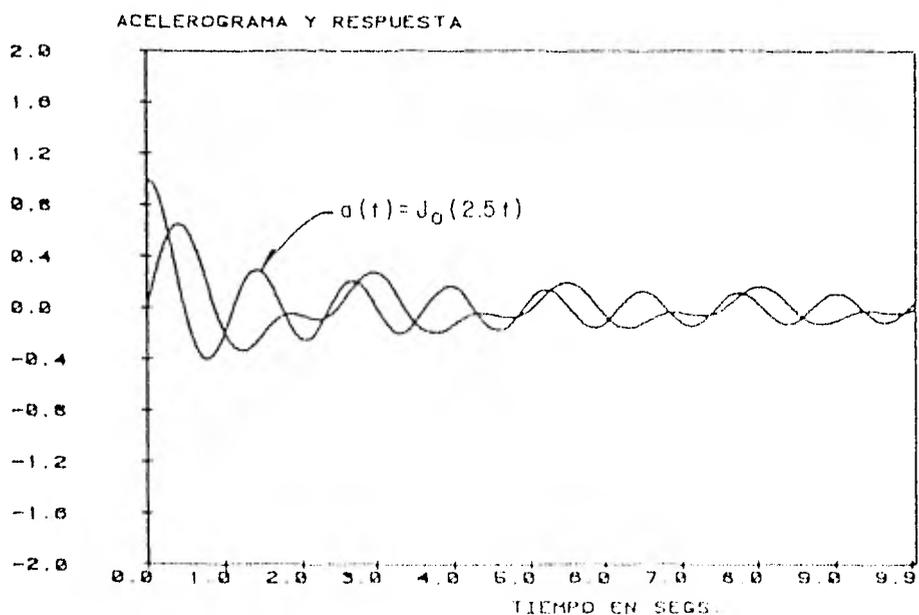


Fig 12. Acelerograma teórico  $a(t) = J_0(\omega t)$  con  $\omega = 2.5 \text{ rad/s}$

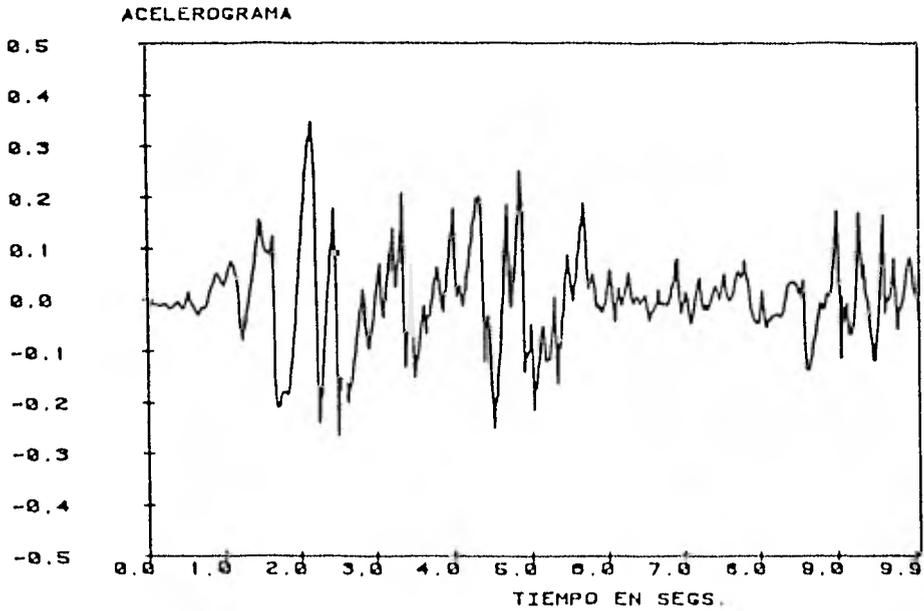


Fig 13. Primeros 10 segundos del acelerograma del temblor de El Centro normalizado con la gravedad

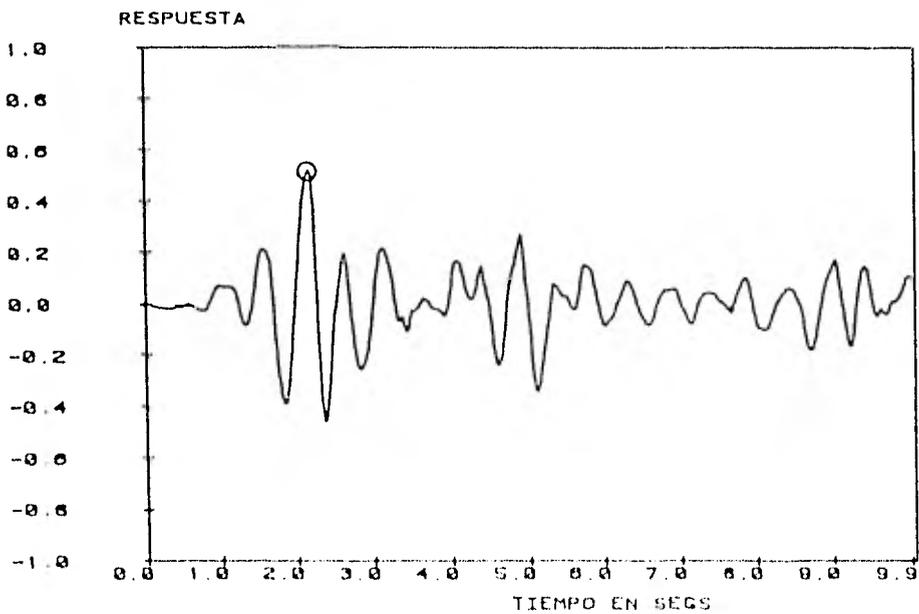


Fig 14. Respuesta de los primeros 10 segundos del temblor de El Centro con un periodo  $T = 0.5$  segundos

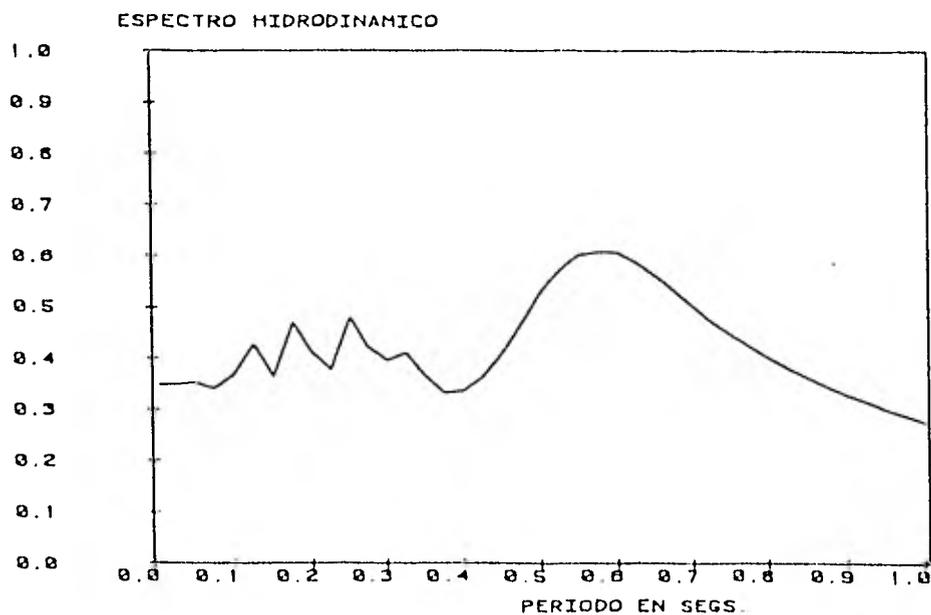


Fig 15. Espectro hidrodinámico del temblor de El Centro calculado con los 2.5 primeros segundos y 41 valores de T (en segundos)

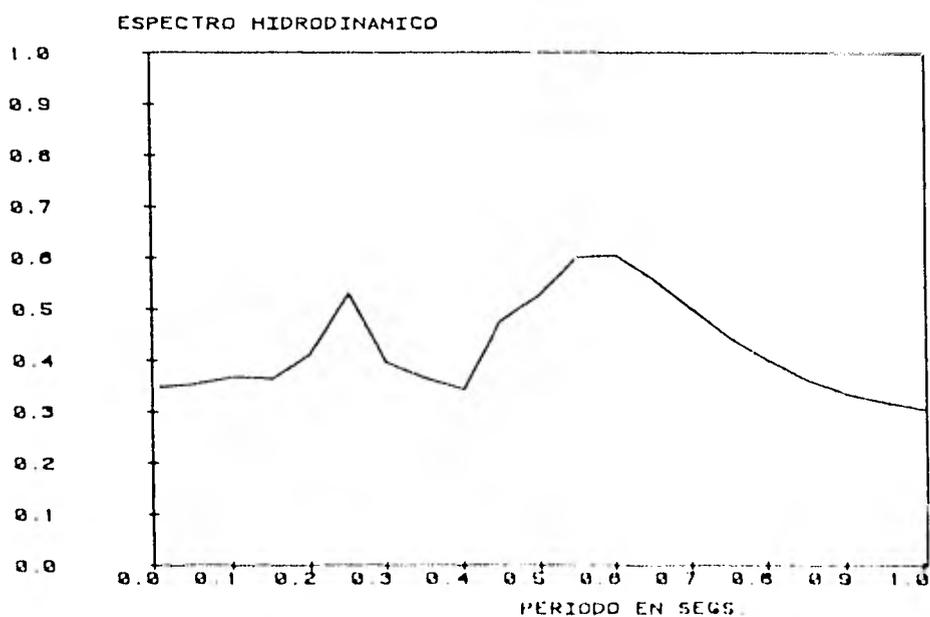


Fig 16. Espectro hidrodinámico del temblor de El Centro calculado con los primeros 5 segundos y 21 valores de T

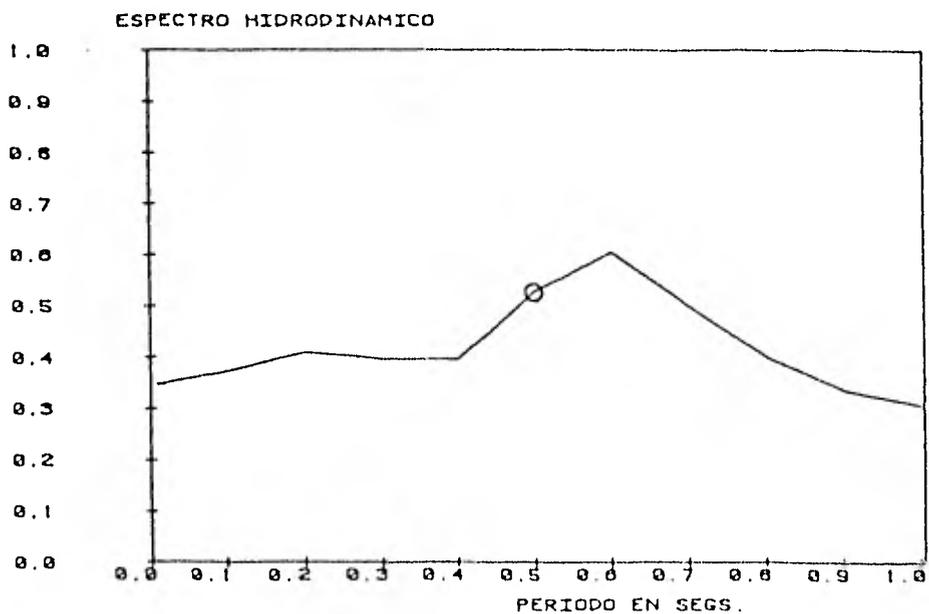


Fig 17. Espectro hidrodinámico del temblor de El Centro calculado con los 10 primeros segundos y con 11 valores de T

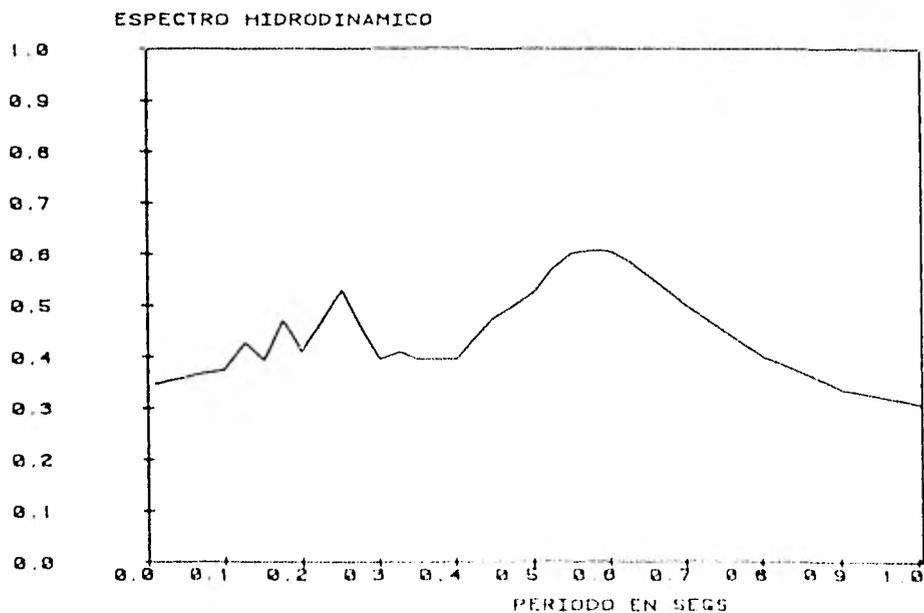


Fig 18. Espectro hidrodinámico del temblor de El Centro formado por la envolvente de los 3 espectros calculados

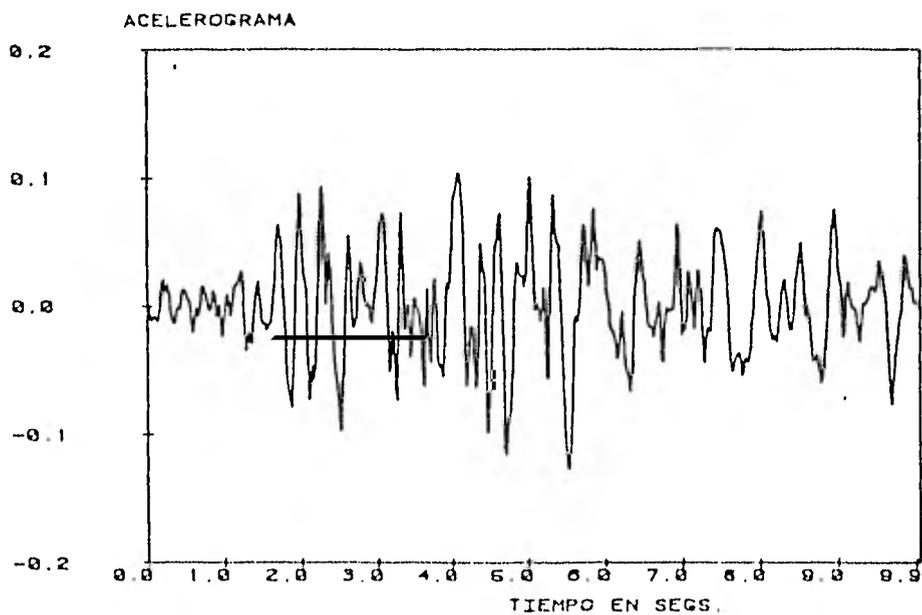


Fig 19. Primeros 10 segundos del acelerograma de temblor Villita Base normalizado con la gravedad

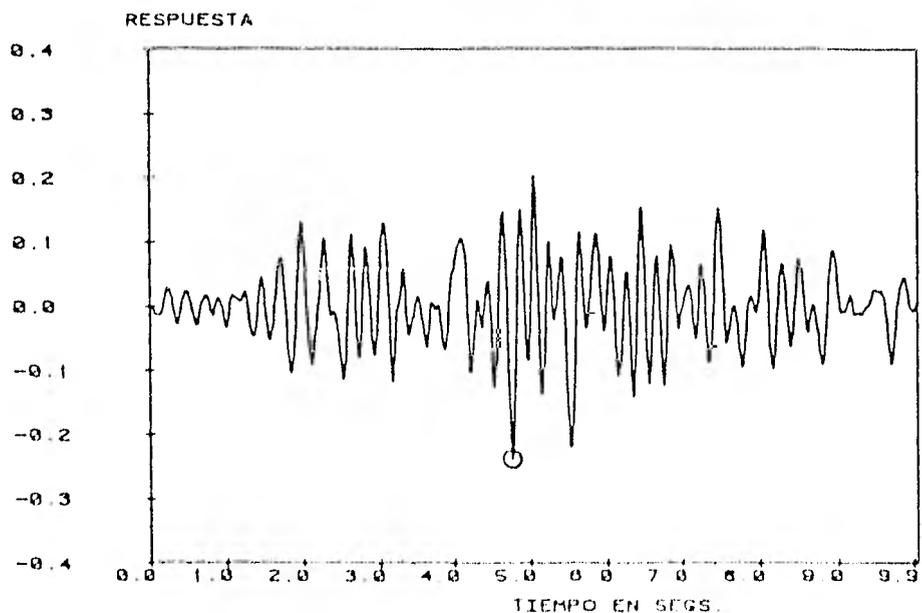


Fig 20. Respuesta del temblor Villita Base para los 10 primeros segundos con un periodo  $T = 0.2$  segundos

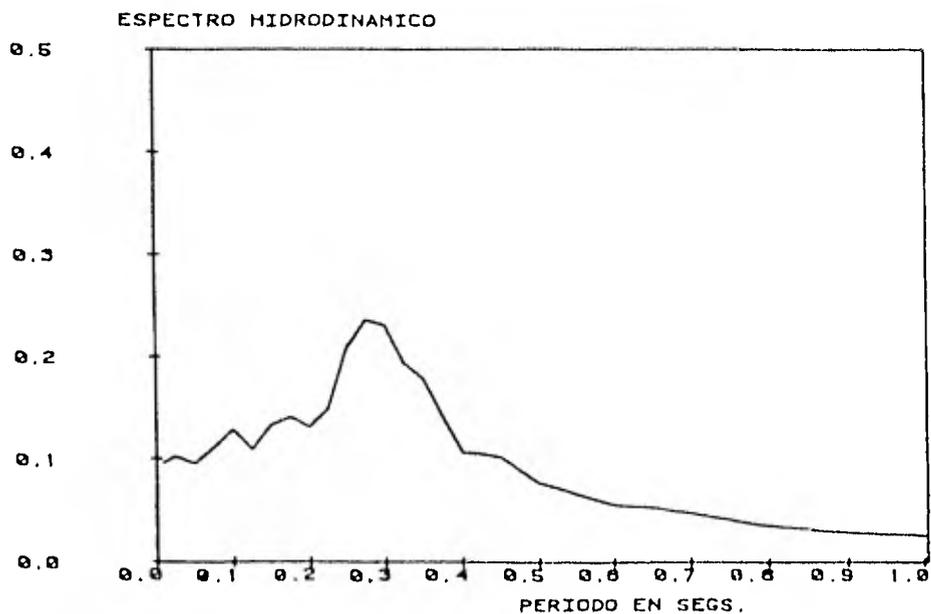


Fig 21. Espectro hidrodinámico del temblor Villita Base calculado con los 2.5 primeros segundos y con 41 valores de T

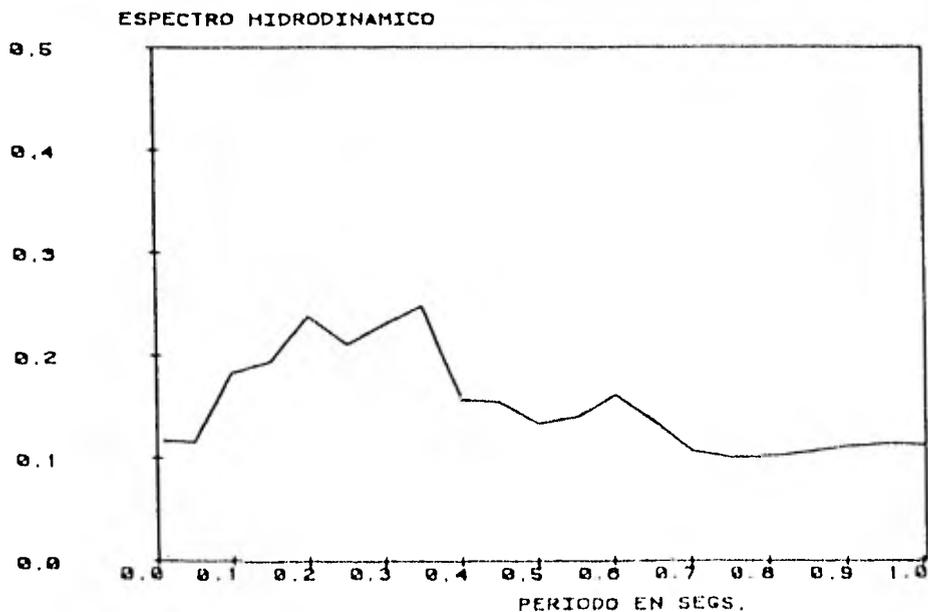


Fig 22. Espectro hidrodinámico del temblor Villita Base calculado con los primeros 5 segundos y con 21 valores de T

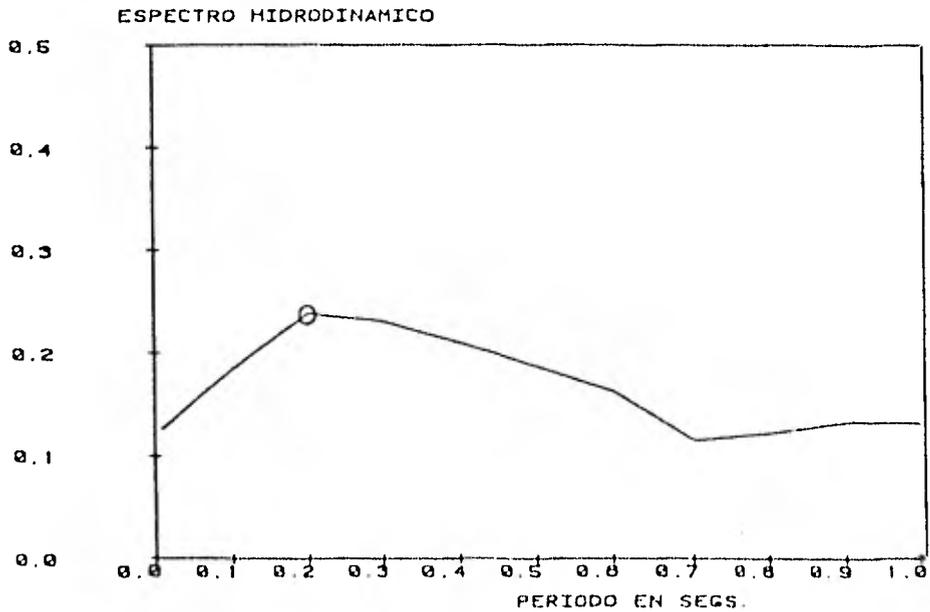


Fig 23. Espectro hidrodinámico del temblor Villita Base con los primeros 10 segundos y con 11 valores de T

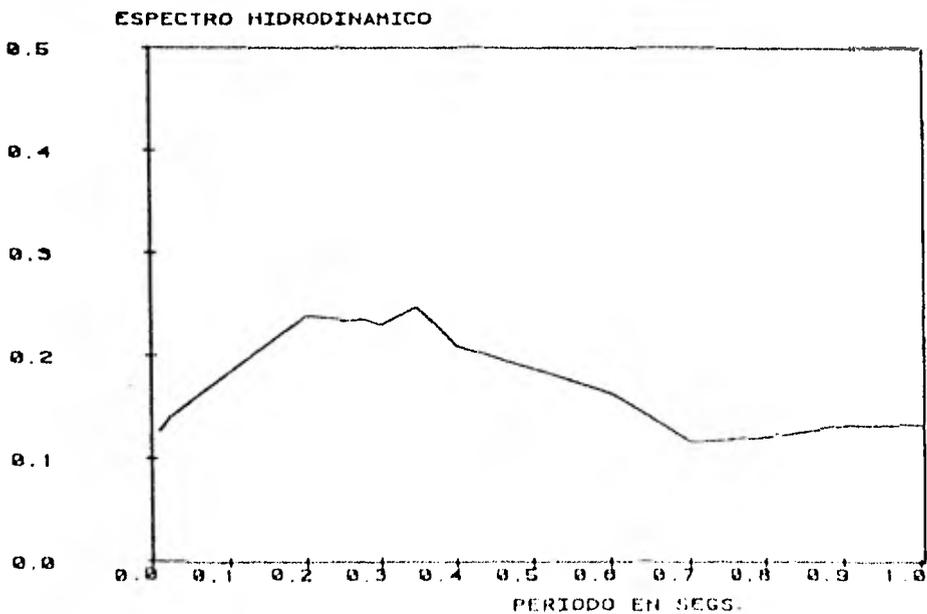


Fig 24. Espectro hidrodinámico del temblor Villita Base formado por la envolvente de los 3 espectros calculados

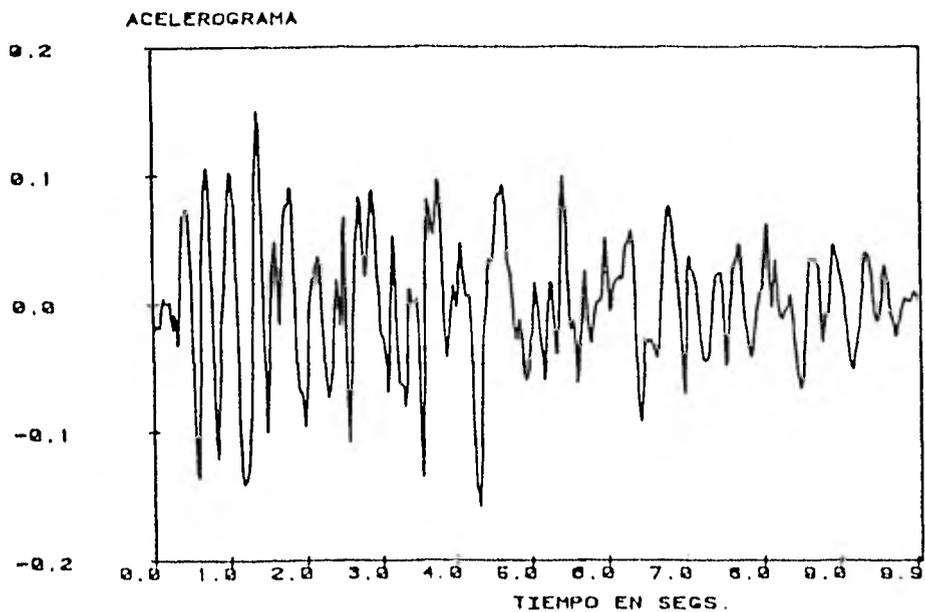


Fig 25. Los 10 segundos más significativos (a partir del segundo 14 del registro original) del temblor Villita Corona normalizado con la gravedad

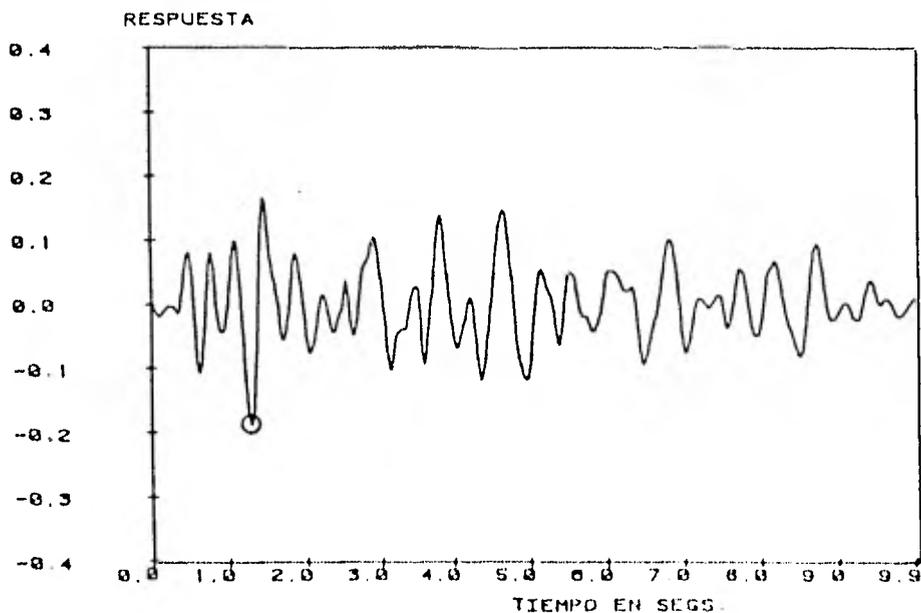


Fig 26. Respuesta para el temblor Villita Corona en  $T=0.5$  segundos

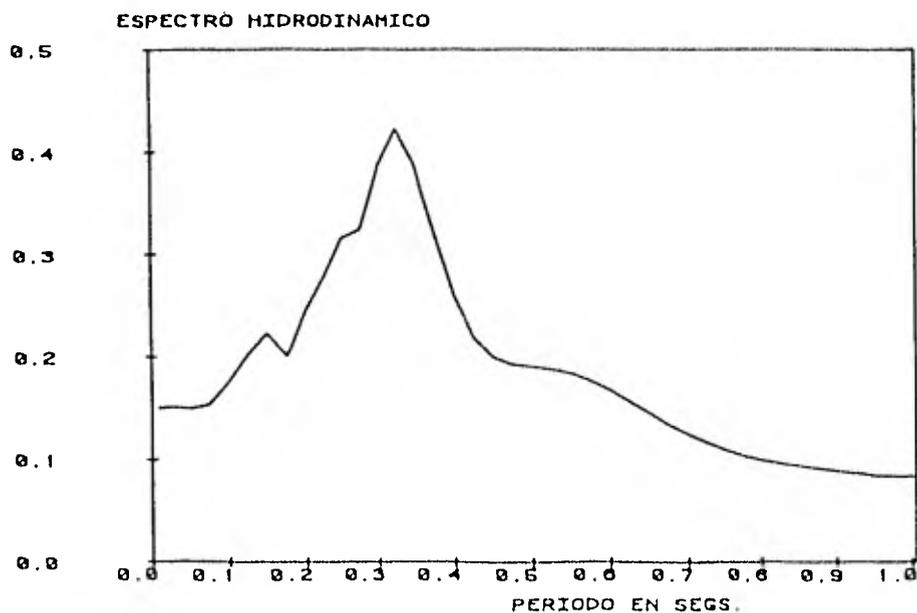


Fig 27. Espectro hidrodinámico del temblor Villita Corona calculado con los primeros 2.5 segundos y con 41 valores de T

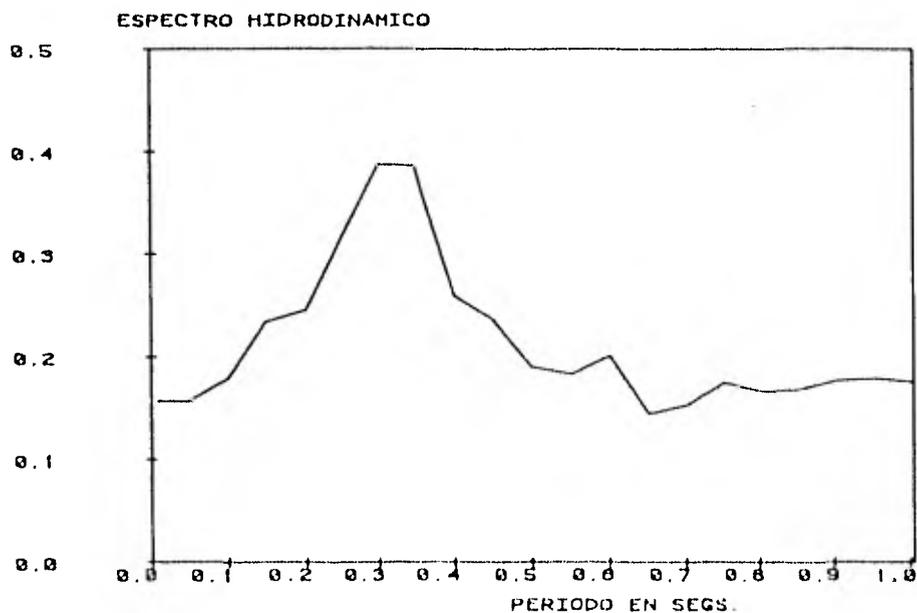


Fig 28. Espectro hidrodinámico del temblor Villita Corona calculado con los primeros 5 segundos y 21 valores de T

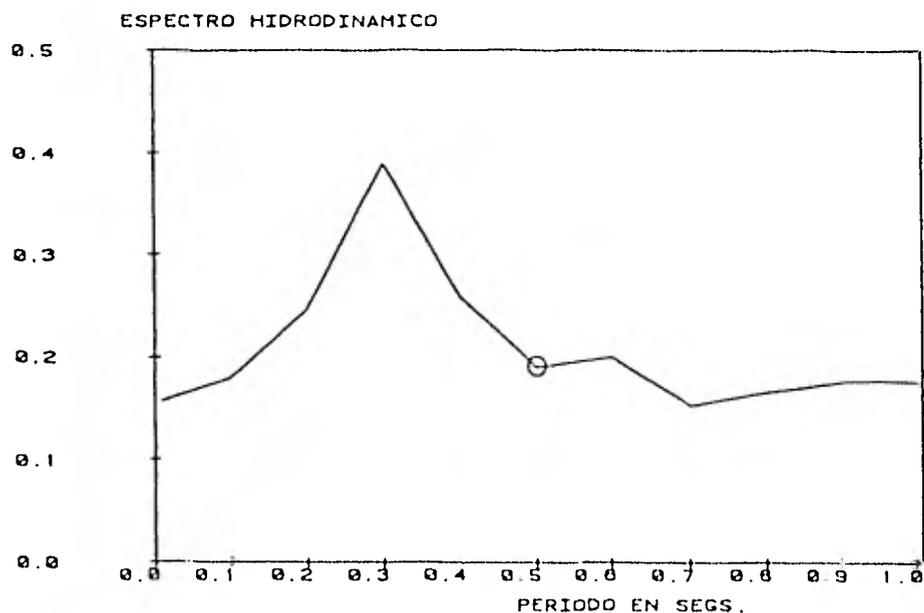


Fig 29. Espectro hidrodinámico del temblor Villita Corona calculado con los primeros 10 segundos y 11 valores de T

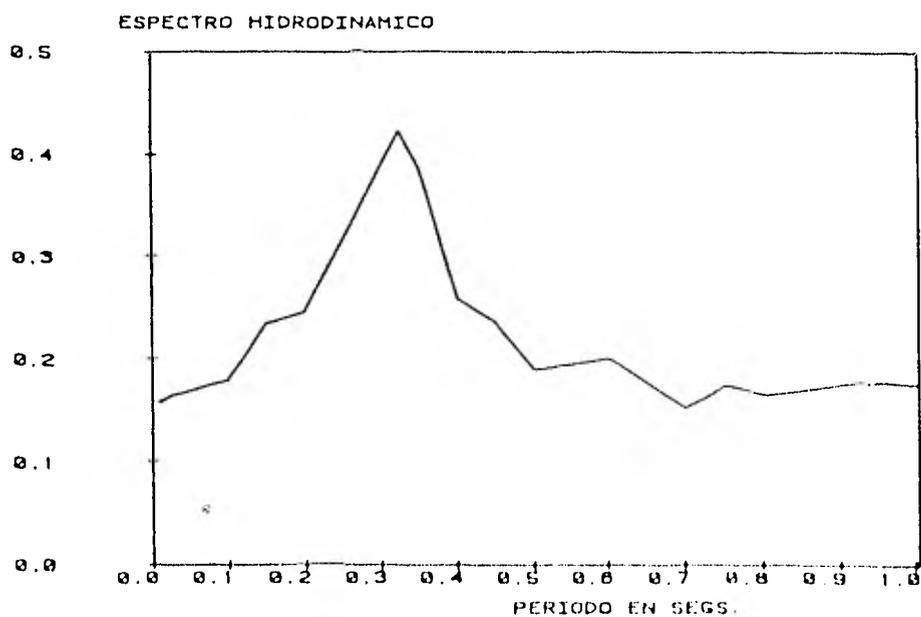


Fig 30. Espectro hidrodinámico del temblor Villita Corona formado por la envolvente de los 3 espectros calculados

## APENDICE. LISTADO DEL PROGRAMA

Listado del programa en lenguaje Fortran para el computador B6800 del Centro de Servicios de Cómputo de la UNAM, para el cálculo de espectros hidrodinámicos.

El programa está constituido por una rutina principal que sirve de interfase con las subrutinas de proceso, entrada y salida.

Los parámetros de entrada al proceso son:

NF - Número de puntos que se desean calcular para la respuesta.

NW - Número de frecuencias para el espectro

Para cada una de las frecuencias se pide

W - Valor de la frecuencia en radianes por segundo.

Un parámetro adicional permite indicar si se requiere graficar la respuesta por impresora y/o pantalla.

Finalmente, se puede indicar si se desea graficar el acelerograma en papel y/o pantalla e imprimir los valores del espectro en forma tabular.

A continuación se presenta el listado del programa.

100  
200  
300  
400  
500  
600  
700  
800  
900  
1000  
1100  
1200  
1300  
1400  
1500  
1600  
1700  
1800  
1900  
2000  
2100  
2200  
2300  
2400  
2500  
2600  
2700  
2800  
2900  
3000  
3100  
3200  
3300  
3400  
3500  
3600  
3700  
3800  
3900  
4000  
4100  
4200  
4300  
4400  
4500  
4600  
4700  
4800  
4900  
5000  
5100  
5200  
5300  
5400  
5500  
5600  
5700  
5800  
5900  
6000  
6100  
6200  
6300  
6400  
6500  
6600  
6700  
6800  
6900  
7000  
7100  
7200  
7300  
7400  
7500  
7600  
7700  
7800  
7900  
8000  
8100  
8200

4SET LIST  
4RESET FREE

C\*\*\*\*\*  
C\*  
C\*  
C\* CALCULO DE ESPECTROS HIDRODINAMICOS  
C\*  
C\*  
C\*\*\*\*\*

... ARCHIVOS UTILIZADOS

FILE 2=ACELEROGAMA,UNIT=DISK,RECORD=19,BLOCKING=30,AREA=1\*50  
FILE 3=PLOTTER/ACELEROGAMA,UNIT=DISK,RECORD=14,BLOCKING=30  
FILE 4=FILE4,UNIT=REMOTE,RECORD=14  
FILE 5=FILES,UNIT=REMOTE,RECORD=14  
FILE 6=FILE6,UNIT=PRINTER,RECORD=22  
FILE 7=PLOTTER/ESPECTRO/W,UNIT=DISK,RECORD=14,BLOCKING=30  
FILE 8=PLOTTER/ESPECTRO/H,UNIT=DISK,RECORD=14,BLOCKING=30  
FILE 9=PLOTTER/ESPECTRO/T,UNIT=DISK,RECORD=14,BLOCKING=30

C  
DIMENSION AB(18),RENLEN(40,130),CR(75),CI(75),PARM1(100),PARM2(2)  
DIMENSION GC(3000),F(3000),AC(5000),FR(4000),FM(100),W(100),R(200)  
COMMON/ASIGNA/AB,CR,CI  
COMMON/COMG/G,Z  
COMMON/COMGC/GC  
COMMON/COMF/F  
COMMON/COMFR/FR  
COMMON/COMAC/AC  
COMMON/COMFM/FM  
COMMON/COMW/W  
COMMON/COMNF/NF  
COMMON/COMNA/NA  
COMMON/COMFRM/FRMAX  
COMMON/COMDEL/DELTA  
COMMON/COMENC/ENCLAB  
COMMON/COMNW/NW  
COMMON/COMPAR/PARM1,PARM2  
COMMON/COMOME/OMEGA

... PROGRAMA PRINCIPAL

CALL ASIGNA  
CALL LEEPAR  
CALL LEEACE  
DO 10 I = 1, NW  
OMEGA = W(I)  
CALL IMPFAR  
DO 20 J = 1, NF  
Z = J \* DELTAT \* W(I)  
CALL EVALGZ  
GC(J) = G  
20 CONTINUE  
CALL EVALFZ  
CALL EVALFR  
NFR=NA+NF-1  
CALL MAXFRW  
FM(I) = FRMAX  
IF((PARM1(I),EQ,1).OR.(PARM1(I),EQ,2))  
1 CALL GRAFIC(110,NF,FR,2)  
IF((PARM1(I),EQ,1).OR.(PARM1(I),EQ,3))  
1 CALL GRAFIC(110,NFR,FR,R,2)  
IF((PARM1(I),EQ,3).OR.(PARM1(I),EQ,3))  
1 CALL GRAFIC(40,NF,FR,2)  
IF((PARM1(I),EQ,2).OR.(PARM1(I),EQ,3))  
1 CALL GRAFIC(40,NFR,FR,R,2)  
10 CONTINUE  
CALL PLOTTERCI,DELTAT,NA,AC,FR,GC)  
CALL PLOFRW(1)  
CALL PLOFRW(1)  
CALL PLOFRW(2)  
IF((PARM2(1),EQ,1).OR.(PARM2(1),EQ,2)) CALL GRAFIC(110,NA,AC,R,1)  
IF((PARM2(1),EQ,2).OR.(PARM2(1),EQ,3)) CALL GRAFIC(40,NA,AC,R,1)  
DO 20 J = 1, N  
CALL IMPFRW(30,RENLEN,1)  
20 CONTINUE  
IF((PARM2(2),EQ,1).OR.(PARM2(2),EQ,4)) CALL IMPFRW(2,RENLEN,1)  
IF((PARM2(2),EQ,2).OR.(PARM2(2),EQ,4)) CALL IMPFRW(2,RENLEN,2)  
IF((PARM2(2),EQ,3).OR.(PARM2(2),EQ,4)) CALL IMPFRW(2,RENLEN,1)  
CALL EXIT  
END

```

8300      C      ... EVALUACION DE G ( Z ) = 100 ( Z ) - 01 ( Z )
8400      C
8500      C      SUBROUTINE EVALGZ
8600      C
8700      C      DIMENSION AB(10),CR(25),CI(25)
8800      C      COMMON/AS1GNA/AB,CR,CI
8900      C      COMMON/COMG/Z
9000      C
9100      C      IF(Z.GE.5)GO1000
9200      C
9300      C      ... POLINOMIOS DE CHEBYCHEV
9400      C
9500      C      BAL=0.25 * Z
9600      C      B=1.0
9700      C      A=0.125 * Z
9800      C      SUM = A * AB ( 1 )
9900      C      DO 10 I = 2 , 10
10000     C          B = BAL * A - B
10100     C          A = BAL * B - A
10200     C          SUM = SUM + A * AB ( I )
10300     C
10400     C      10 CONTINUE
10500     C      G = SUM
10600     C      GO TO 40
10700     C
10800     C      ... POLINOMIOS DE CHEBYCHEV CORRIDOS
10900     C
11000     C      20 BAL = 20.0 / Z - 2.0
11100     C      B = 1.0
11200     C      A = 10.0 / Z - 1.0
11300     C      SA = 0.0
11400     C      SB = 0.0
11500     C      NI=17
11600     C      DO 30 I = 1 , NI
11700     C          IF = 2 * I - 1
11800     C          II = 2 * I
11900     C          SA = SA + CR ( IF ) * B + CI ( II ) * A
12000     C          SB = SB + CI ( IF ) * B + CI ( II ) * A
12100     C          B = BAL * A - B
12200     C          A = BAL * B - A
12300     C
12400     C      30 CONTINUE
12500     C      P4 = 3.141592654 / 4
12600     C      C = COS ( Z + P4 )
12700     C      S = SIN ( Z + P4 )
12800     C      G = 1.0 - SQRT ( 0.5 / P4 / Z ) * ( C * SA - S * SB )
12900     C
13000     C      40 CONTINUE
13100     C      RETURN
13200     C      END

```

```

13100     C
13200     C      ... SUBROUTINA PARA EVALUAR F
13300     C      RESPUESTA A UN PUNTO TRIANGULAR UNITARIO
13400     C
13500     C      SUBROUTINE EVALFZ
13600     C
13700     C      DIMENSION F(2000),G(2000)
13800     C      COMMON/COMG/Z
13900     C      COMMON/COMF/F
14000     C      COMMON/COMH/H
14100     C
14200     C      F(1)=G(1)
14300     C      F(2)=2*G(2)-F(1)
14400     C      DO 10 I = 3 , 10
14500     C          F(I)=1*G(I) - (I-1)*F(I-1) + (I-1)*(I-1)*G(I-1)
14600     C
14700     C      10 CONTINUE
14800     C      RETURN
14900     C      END

```

```

14900 C
15000 C ... SUBROUTINA EVALUA FR
15100 C CONVOLUCION NUMERICA DE 'F' Y 'AC'
15200 C
15300 C SUBROUTINE EVALFR
15400 C
15500 DIMENSION F(3000),AC(3000),FR(6000)
15600 COMMON/COMF/F
15700 COMMON/COMFR/FR
15800 COMMON/COMAC/AC
15900 COMMON/COMNF/NF
16000 COMMON/COMNA/NA
16100 C
16200 DO 10 I = 1 , NA + NF -1
16300 FR ( I ) = 0.0
16400 10 CONTINUE
16500 DO 20 I = 1 , NF
16600 DO 30 J = 1 , NA
16700 @ FR (I+J-1) = FR(I+J-1) + F ( I ) * AC (J)
16800 30 CONTINUE
16900 20 CONTINUE
17000 RETURN
17100 END

```

```

17200 C
17300 C ... SUBROUTINA EVALUA MAXIMO FR
17400 C
17500 C SUBROUTINE MAXFRW
17600 C
17700 DIMENSION FR(6000)
17800 COMMON/COMFR/FR
17900 COMMON/COMNF/NF
18000 COMMON/COMNA/NA
18100 COMMON/COMFRN/FRMAX
18200 C
18300 FRMAX = 0.0
18400 DO 10 I = 1 , NF + NA - 1
18500 IF (ABS(FR(I)).GT.FRMAX) FRMAX = ABS( FR ( I ) )
18600 10 CONTINUE
18700 RETURN
18800 END

```

```

18900 C
19000 C      ... SUBROUTINA DE ASIGNACION
19100 C
19200 C      SUBROUTINE ASIGNA
19300 DIMENSION AR(18),BR(18),ER(35),EI(35),RD(35),DI(35),RE(35),RI(35)
19400 DIMENSION AB(18)
19500 COMMON/ASIGNA/AB,ER,EI
19600 C
19700 BR(01) =  0.00245  21903  34254  43458
19800 BR(02) =  0.04309  74291  58236  37394
19900 BR(03) =  0.51327  50823  21567  13330
20000 BR(04) = -0.24134  74034  47407  48475
20100 BR(05) =  0.07426  67262  16737  03731
20200 BR(06) = -0.01296  76273  11735  17510
20300 BR(07) =  0.00143  29128  24477  63839
20400 BR(08) = -0.00012  22756  25054  32437
20500 BR(09) =  0.00000  75626  30237  49605
20600 BR(10) = -0.00000  03661  30255  23363
20700 BR(11) =  0.00000  00142  77324  38731
20800 BR(12) = -0.00000  00004  56570  03072
20900 BR(13) =  0.00000  00000  12351  74311
21000 BR(14) = -0.00000  00000  00233  17735
21100 BR(15) =  0.00000  00000  00005  59509
21200 BR(16) = -0.00000  00000  00000  09629
21300 BR(17) =  0.00000  00000  00000  00142
21400 BR(18) = -0.00000  00000  00000  00002
21500 AR(01) =  1.29671  75412  10526  34167
21600 AR(02) = -0.56520  27407  41535  17433
21700 AR(03) =  0.50821  38356  60739  27112
21800 AR(04) = -0.30130  69121  16293  30375
21900 AR(05) =  0.08576  03374  41538  23731
22000 AR(06) = -0.01444  16725  38500  54169
22100 AR(07) =  0.00162  45557  74322  73217
22200 AR(08) = -0.00013  14397  32007  27470
22300 AR(09) =  0.00000  30523  00171  47444
22400 AR(10) = -0.00000  03329  53377  61818
22500 AR(11) =  0.00000  00150  02074  18136
22600 AR(12) = -0.00000  00004  79607  04233
22700 AR(13) =  0.00000  00000  12368  32765
22800 AR(14) = -0.00000  00000  00294  08710
22900 AR(15) =  0.00000  00000  00005  79477
23000 AR(16) = -0.00000  00000  00000  09949
23100 AR(17) =  0.00000  00000  00000  00150
23200 AR(18) = -0.00000  00000  00000  00002
23300 RD(01) =  1.00170  22348  53320  99565
23400 RD(02) =  0.00225  55728  46561  17976
23500 RD(03) =  0.00054  32164  87508  01325
23600 RD(04) = -0.00001  11794  61595  40036
23700 RD(05) = -0.00000  09469  01382  39192
23800 RD(06) =  0.00000  01110  32677  12032
23900 RD(07) = -0.00000  00012  24398  22634
24000 RD(08) = -0.00000  00011  14205  74426
24100 RD(09) =  0.00000  00001  57237  23197
24200 RD(10) = -0.00000  00000  02350  45747
24300 RD(11) = -0.00000  00000  02932  16257
24400 RD(12) =  0.00000  00000  00217  30834
24500 RD(13) = -0.00000  00000  00042  16153
24600 RD(14) = -0.00000  00000  00010  13209
24700 RD(15) =  0.00000  00000  00003  97343
24800 RD(16) = -0.00000  00000  00000  53161
24900 RD(17) =  0.00000  00000  00000  00575
25000 RD(18) =  0.00000  00000  00000  02732

```

25100	RD(19)	=	-0.00000	00000	00000	00000	00000
25200	RD(20)	=	-0.00000	00000	00000	00000	00130
25300	RD(21)	=	-0.00000	00000	00000	00000	00003
25400	RD(22)	=	-0.00000	00000	00000	00000	00009
25500	RD(23)	=	-0.00000	00000	00000	00000	00003
25600	RD(24)	=	-0.00000	00000	00000	00000	00001
25700	RD(25)	=	0.00000	00000	00000	00000	00000
25800	RD(26)	=	0.00000	00000	00000	00000	00000
25900	RD(27)	=	0.00000	00000	00000	00000	00000
26000	RD(28)	=	0.00000	00000	00000	00000	00000
26100	RD(29)	=	0.00000	00000	00000	00000	00000
26200	RD(30)	=	0.00000	00000	00000	00000	00000
26300	RD(31)	=	0.00000	00000	00000	00000	00000
26400	RD(32)	=	0.00000	00000	00000	00000	00000
26500	RD(33)	=	0.00000	00000	00000	00000	00000
26600	RD(34)	=	0.00000	00000	00000	00000	00000
26700	RD(35)	=	0.00000	00000	00000	00000	00000
26800	DI(01)	=	0.03726	17150	00537	65365	
26900	DI(02)	=	0.03714	53224	79807	68994	
27000	DI(03)	=	-0.00013	72632	38201	90679	
27100	DI(04)	=	-0.00001	93512	94687	59637	
27200	DI(05)	=	0.00000	10700	14057	38568	
27300	DI(06)	=	0.00000	00383	05261	71449	
27400	DI(07)	=	-0.00000	00116	26723	27643	
27500	DI(08)	=	0.00000	00007	59733	09244	
27600	DI(09)	=	0.00000	00000	75476	07440	
27700	DI(10)	=	-0.00000	00000	24752	73083	
27800	DI(11)	=	0.00000	00000	02492	89252	
27900	DI(12)	=	0.00000	00000	00156	19734	
28000	DI(13)	=	-0.00000	00000	00102	36521	
28100	DI(14)	=	-0.00000	00000	00013	12874	
28200	DI(15)	=	-0.00000	00000	00000	70874	
28300	DI(16)	=	-0.00000	00000	00000	52642	
28400	DI(17)	=	-0.00000	00000	00000	17135	
28500	DI(18)	=	-0.00000	00000	00000	02625	
28600	DI(19)	=	-0.00000	00000	00000	00038	
28700	DI(20)	=	0.00000	00000	00000	00148	
28800	DI(21)	=	-0.00000	00000	00000	00047	
28900	DI(22)	=	0.00000	00000	00000	00003	
29000	DI(23)	=	0.00000	00000	00000	00000	
29100	DI(24)	=	-0.00000	00000	00000	00001	
29200	DI(25)	=	0.00000	00000	00000	00000	
29300	DI(26)	=	0.00000	00000	00000	00000	
29400	DI(27)	=	0.00000	00000	00000	00000	
29500	DI(28)	=	0.00000	00000	00000	00000	
29600	DI(29)	=	0.00000	00000	00000	00000	
29700	DI(30)	=	0.00000	00000	00000	00000	
29800	DI(31)	=	0.00000	00000	00000	00000	
29900	DI(32)	=	0.00000	00000	00000	00000	
30000	DI(33)	=	0.00000	00000	00000	00000	
30100	DI(34)	=	0.00000	00000	00000	00000	
30200	DI(35)	=	0.00000	00000	00000	00000	
30300	RC(01)	=	0.98740	76153	14324	26270	
30400	RC(02)	=	-0.01622	95522	36937	83535	
30500	RC(03)	=	-0.00327	41117	77339	24011	
30600	RC(04)	=	-0.00034	92769	02655	13937	
30700	RC(05)	=	-0.00000	20237	13474	09414	
30800	RC(06)	=	-0.00000	68384	10172	02303	
30900	RC(07)	=	0.00000	14114	08394	67207	
31000	RC(08)	=	-0.00000	01069	99523	13917	
31100	RC(09)	=	-0.00000	00763	57064	63453	
31200	RC(10)	=	0.00000	00123	52747	03323	
31300	RC(11)	=	-0.00000	00027	32117	24111	
31400	RC(12)	=	0.00000	00002	32117	24111	
31500	RC(13)	=	0.00000	00000	00117	71141	

```

31600 RI (14) = 0.00000 00000 00000 00000
31700 RI (15) = 0.00000 00000 00000 00000
31800 RI (16) = -0.00000 00000 00000 00000
31900 RI (17) = -0.00000 00000 00000 00000
32000 RI (18) = 0.00000 00000 00000 00000
32100 RI (19) = -0.00000 00000 00000 00000
32200 RI (20) = 0.00000 00000 00000 00000
32300 RI (21) = -0.00000 00000 00000 00000
32400 RI (22) = -0.00000 00000 00000 00000
32500 RI (23) = 0.00000 00000 00000 00000
32600 RI (24) = -0.00000 00000 00000 00000
32700 RI (25) = 0.00000 00000 00000 00000
32800 RI (26) = -0.00000 00000 00000 00000
32900 RI (27) = 0.00000 00000 00000 00000
33000 RI (28) = -0.00000 00000 00000 00000
33100 RI (29) = -0.00000 00000 00000 00000
33200 RI (30) = 0.00000 00000 00000 00000
33300 RI (31) = -0.00000 00000 00000 00000
33400 RI (32) = 0.00000 00000 00000 00000
33500 RI (33) = 0.00000 00000 00000 00000
33600 RI (34) = -0.00000 00000 00000 00000
33700 RI (35) = 0.00000 00000 00000 00000
33800 RI (01) = -0.05776 66747 40994 51443
33900 RI (02) = -0.05561 79374 24115 22950
34000 RI (03) = 0.00240 40410 70872 61150
34100 RI (04) = 0.00019 64777 76830 82289
34200 RI (05) = -0.00005 46215 76426 15434
34300 RI (06) = 0.00000 49815 33956 28297
34400 RI (07) = 0.00000 04376 22929 01943
34500 RI (08) = -0.00000 02747 66296 96762
34600 RI (09) = 0.00000 00524 45093 25653
34700 RI (10) = -0.00000 00037 39075 59435
34800 RI (11) = -0.00000 00015 36724 96841
34900 RI (12) = 0.00000 00007 57412 42246
35000 RI (13) = -0.00000 00001 26171 17175
35100 RI (14) = 0.00000 00000 21633 44301
35200 RI (15) = 0.00000 00000 04800 15073
35300 RI (16) = -0.00000 00000 03821 67065
35400 RI (17) = 0.00000 00000 01333 43345
35500 RI (18) = -0.00000 00000 00232 28739
35600 RI (19) = 0.00000 00000 00017 95022
35700 RI (20) = 0.00000 00000 00019 76575
35800 RI (21) = -0.00000 00000 00012 15265
35900 RI (22) = 0.00000 00000 00004 32397
36000 RI (23) = -0.00000 00000 00001 06277
36100 RI (24) = 0.00000 00000 00000 02171
36200 RI (25) = 0.00000 00000 00000 07237
36300 RI (26) = -0.00000 00000 00000 05427
36400 RI (27) = 0.00000 00000 00000 02332
36500 RI (28) = -0.00000 00000 00000 00715
36600 RI (29) = 0.00000 00000 00000 00131
36700 RI (30) = 0.00000 00000 00000 00015
36800 RI (31) = -0.00000 00000 00000 00007
36900 RI (32) = 0.00000 00000 00000 00001
37000 RI (33) = -0.00000 00000 00000 00007
37100 RI (34) = 0.00000 00000 00000 00001
37200 RI (35) = 0.00000 00000 00000 00000
37300 DO 10 I = 1, 35
37400 CI ( I ) = RI ( I ) - DI ( I )
37500 CR ( I ) = RI ( I ) - NR ( I )
37600 10 CONTINUE
37700 DO 20 I = 1, 10
37800 AR ( I ) = AR ( I ) - BR ( I )
37900 20 CONTINUE
38000 RETURN
38100 END

```

```

38300 C
38300 C ... SUBROUTINA PARA LECTURA DE ACCELEROGRAMA
38400 C
38500 SUBROUTINE LEEAC
38600 C
38700 DIMENSION AC(3000), T(3000)
38800 COMMON/COMAC/AC
38900 COMMON/COMNA/NA
39000 COMMON/COMDEL/DELTA T
39100 COMMON/COMENC/ENCAB
39200 C
39300 READ(2,100) ENCAB
39400 READ(2,200) NA
39500 DO 10 I=1,NA,7
39600 READ(2,300) (T(J), AC(J), J=1, I*7)
39700 10 CONTINUE
39800 DO 20 I=1,NA
39900 AC(I)=AC(I)/981.0
40000 20 CONTINUE
40100 DELTA T=T(2)-T(1)
40200 100 FORMAT(1X,1406)
40300 200 FORMAT(15)
40400 300 FORMAT(7(F8.3,F8.2))
40500 END

40600 C
40700 C ... SUBROUTINA PARA GRAFICACION
40800 C
40900 SUBROUTINE GRAFIC(NUPREN,NUMPTS,VECTOR,RENGLN,IPG)
41000 C
41100 COMMON/COMENC/ENCAB
41200 COMMON/COMDEL/DELTA T
41300 DIMENSION VECTOR(NUMPTS),RENGLN(NUPREN)
41400 C
41500 IF (NUPREN.EQ.40) WRITE(4,200)
41600 IF (NUPREN.EQ.110.AND.IPG.EQ.1) WRITE(4,300)ENCAB
41700 IF (NUPREN.EQ.110.AND.IPG.EQ.2) WRITE(4,400)
41800 IF (NUPREN.EQ.110.AND.IPG.EQ.3) WRITE(4,500)
41900 DO 10 I=1,NUMPTS
42000 IF (VECTOR(I).GT.PTOMAX) PTOMAX=VECTOR(I)
42100 IF (VECTOR(I).LT.PTOMIN) PTOMIN=VECTOR(I)
42200 IF (ABS(PTOMAX).GE.ABS(PTOMIN)) PUNTO=ABS(PTOMAX)
42300 IF (ABS(PTOMIN).GT.ABS(PTOMAX)) PUNTO=ABS(PTOMIN)
42400 IF (ABS(VECTOR(I)).GE.PUNTO) PTOMAX=I*DELTA T
42500 10 CONTINUE
42600 AMPLIT=PTOMAX-PTOMIN
42700 DO 20 I=1,NUPREN
42800 RENGLN(I)=" "
42900 20 CONTINUE
43000 DO 30 I=1,NUMPTS
43100 TIEMPO= I * DELTA T
43200 NPUNTO=(VECTOR(I)-PTOMIN)*NUPREN/AMPLIT+1
43300 RENGLN(NPUNTO)=" "
43400 RENGLN((O-PTOMIN)*NUPREN/AMPLIT+1)=" "
43500 VALDRY=VECTOR(I)
43600 IF (NUPREN.EQ.40) WRITE(4,100)TIEMPO,VALDRY,RENGLN
43700 IF (NUPREN.EQ.110)WRITE(4,100)TIEMPO,VALDRY,RENGLN
43800 RENGLN(NPUNTO)=" "
43900 30 CONTINUE
44000 IF (NUPREN.EQ.40) WRITE(4,200) PUNTO
44100 IF (NUPREN.EQ.110) WRITE(4,300) PUNTO
44200 100 FORMAT(" X=",F2.2," ", "Y=",F9.5,111(A1))
44300 200 FORMAT(///)
44400 300 FORMAT(1H1,///, " GRAFICA DEL ACELEROGRAMA ",A6)
44500 400 FORMAT(1H1,///, " GRAFICA DE LA RESPUESTA PARA UN PUNTO")
44600 500 FORMAT(1H1,///, " GRAFICA DE LA RESPUESTA PARA EL ACELEROGRAMA")
44700 600 FORMAT(//, " PUNTO MAXIMO EN VALOR ABSOLUTO = ",F15.2,
44800 //, " PRESENTADO EN UN TIEMPO DE ",F2.2," SEGUNDOS")
44900 I
45000 RETURN
45100 END

```

```

45100 C
45200 C ... SUBROUTINA GENERADORA DE ARCHIVO PARA PLOTER
45300 C
45400 C SUBROUTINE PLOTER(NUMGRA,DELTA,NUMPTS,GRAF11,GRAF12,GRAF13)
45500 C
45600 C DIMENSION GRAF11(NUMPTS),GRAF12(NUMPTS),GRAF13(NUMPTS)
45700 C
45800 YMIN=0.0
45900 YMAX=0.0
46000 DO 10 I = 1 , NUMPTS
46100 IF (GRAF11(I).GT.YMAX) YMAX=GRAF11(I)
46200 IF (GRAF11(I).LT.YMIN) YMIN=GRAF11(I)
46300 IF (GRAF12(I).GT.YMAX) YMAX=GRAF12(I)
46400 IF (GRAF12(I).LT.YMIN) YMIN=GRAF12(I)
46500 IF (GRAF13(I).GT.YMAX) YMAX=GRAF13(I)
46600 IF (GRAF13(I).LT.YMIN) YMIN=GRAF13(I)
46700 10 CONTINUE
46800 IF (YMAX.GT.0.0)YMAX=1.1*YMAX
46900 IF (YMAX.LT.0.0)YMAX=0.9*YMAX
47000 IF (YMIN.GT.0.0)YMIN=0.9*YMIN
47100 IF (YMIN.LT.0.0)YMIN=1.1*YMIN
47200 TFOMAX=DELTA*NUMPTS
47300 TFOMIN=0.0
47400 WRITE(3,/)TFOMIN,TFOMAX,YMIN,YMAX,1
47500 WRITE(3,/)0.0,1
47600 DO 20 I = 1 , NUMPTS - 1
47700 TIEMPO=DELTA*I
47800 WRITE(3,/)TIEMPO,GRAF11(I+1),0
47900 20 CONTINUE
48000 IF (NUMGRA.LT.2) GOTO 50
48100 WRITE(3,/)0.0,1
48200 DO 30 I = 1 , NUMPTS - 1
48300 TIEMPO=DELTA*I
48400 WRITE(3,/)TIEMPO,GRAF12(I+1),0
48500 30 CONTINUE
48600 IF (NUMGRA.LT.3) GOTO 50
48700 WRITE(3,/)0.0,1
48800 DO 40 I = 1 , NUMPTS - 1
48900 TIEMPO=DELTA*I
49000 WRITE(3,/)TIEMPO,GRAF13(I+1),0
49100 40 CONTINUE
49200 50 CONTINUE
49300 LOCK3
49400 RETURN
49500 END

```

```

49600 C
49700 C ... SUBROUTINA GRAFICADORA E IMPRESORA DE W.H.D.T CONTRA RESPUESTAS
49800 C
49900 C SUBROUTINE IMPFRW(NUMREN,RENGLN,TIPO)
50000 C
50100 COMMON/COMFM/FM
50200 COMMON/COMW/W
50300 COMMON/COMNW/NW
50400 DIMENSION W(100),FM(100),RENGLN(60,NUMREN),WHT(100)
50500 C
50600 DO 10 I = 1, 50
50700 DO 20 J = 1, NUMREN
50800 RENGLN(I,J) = " "
50900 20 CONTINUE
51000 RENGLN(I,2) = "!"
51100 10 CONTINUE
51200 DO 30 J = 2, NUMREN
51300 RENGLN(60,J) = "--"
51400 30 CONTINUE
51500 RENGLN(1,2) = "A"
51600 RENGLN(3,2) = "R"
51700 RENGLN(60,NUMREN) = "D"
51800 IF (TIPO.EQ.1.0) RENGLN(60,NUMREN-2)="W"
51900 IF (TIPO.EQ.2.0) RENGLN(60,NUMREN-2)="H"
52000 IF (TIPO.EQ.3.0) RENGLN(60,NUMREN-2)="T"
52100 IF (NUMREN.EQ.79) WRITE(4,100)
52200 IF (NUMREN.EQ.130) WRITE(6,200)
52300 DO 40 I = 1, NW
52400 IF (TIPO.EQ.1.0) WHT(I)=W(I)
52500 IF (TIPO.EQ.2.0) WHT(I)=1438.0*3.141592654/(2.0*W(I))
52600 IF (TIPO.EQ.3.0) WHT(I)=2.0*3.141592654/W(I)
52700 IF (WHT(I).GT.WMAX) WMAX=WHT(I)
52800 IF (WHT(I).LT.WMIN) WMIN=WHT(I)
52900 IF (FM(I).GT.FMAX) FMAX=FM(I)
53000 IF (FM(I).LT.FMIN) FMIN=FM(I)
53100 40 CONTINUE
53200 DELTAW=WMAX-WMIN
53300 DELTAF=FMAX-FMIN
53400 DO 50 I = 1, NW
53500 IX=(WHT(I)-WMIN)/DELTAW*(NUMREN-2)+10
53600 IY=50-(FM(I)-FMIN)/DELTAF*40
53700 RENGLN(IY,IX) = "A"
53800 IF (I.EQ.1) RENGLN(IY,IX)="1"
53900 IF (I.EQ.2) RENGLN(IY,IX)="2"
54000 IF (I.EQ.3) RENGLN(IY,IX)="3"
54100 IF (I.EQ.4) RENGLN(IY,IX)="4"
54200 IF (I.EQ.5) RENGLN(IY,IX)="5"
54300 IF (I.EQ.6) RENGLN(IY,IX)="6"
54400 IF (I.EQ.7) RENGLN(IY,IX)="7"
54500 IF (I.EQ.8) RENGLN(IY,IX)="8"
54600 IF (I.EQ.9) RENGLN(IY,IX)="9"
54700 50 CONTINUE
54800 DO 60 I = 1, 60
54900 IF (NUMREN.EQ.130) WRITE(6,300) (RENGLN(I,J),J=1,NUMREN)
55000 60 CONTINUE
55100 IF (NUMREN.EQ.79) WRITE(4,100)
55200 IF (NUMREN.EQ.130) WRITE(6,200)
55300 IF ((NUMREN.EQ.79).AND.(TIPO.EQ.1.0)) WRITE(4,400)
55400 IF ((NUMREN.EQ.130).AND.(TIPO.EQ.1.0)) WRITE(6,400)
55500 IF ((NUMREN.EQ.79).AND.(TIPO.EQ.2.0)) WRITE(4,500)
55600 IF ((NUMREN.EQ.130).AND.(TIPO.EQ.2.0)) WRITE(6,500)
55700 IF ((NUMREN.EQ.79).AND.(TIPO.EQ.3.0)) WRITE(4,600)
55800 IF ((NUMREN.EQ.130).AND.(TIPO.EQ.3.0)) WRITE(6,600)
55900 DO 70 I = 1, NW
56000 Y=WHT(I)
56100 Y=FM(I)
56200 IF (NUMREN.EQ.79) WRITE(4,700)X,Y
56300 IF (NUMREN.EQ.130) WRITE(6,700)X,Y
56400 70 CONTINUE
56500 RETURN
56600 100 FORMAT(////)
56700 200 FORMAT(IH1)
56800 300 FORMAT(I30A1)
56900 400 FORMAT(" RELACION DE FRECUENCIA Y RESPUESTA MAXIMAS",/)
57000 500 FORMAT(" RELACION DE ALTURA DE CORONA Y RESPUESTA MAXIMAS",/)
57100 600 FORMAT(" RELACION DE PERIODO Y RESPUESTA MAXIMA")
57200 700 FORMAT(" VALOR = ",F10.7," RESPUESTA = ",F10.7,/)
57300 END

```

```

57400      C
57500      C
57600      C
57700      C
57800      C
57900      C
58000      C
58100      C
58200      C
58300      C
58400      C
58500      C
58600      C
58700      C
58800      C
58900      C
59000      C
59100      C
59200      C
59300      C
59400      C
59500      C
59600      C
59700      C
59800      C
59900      C
60000      C
60100      C
60200      C
60300      C

... SUBROUTINA GENERADORA DE ARCHIVO PARA PLOTTER FR-W
SUBROUTINE PLOFRW(OPTION)
DIMENSION W(100),FM(100),X(100)
COMMON/COMFM/FM
COMMON/COMW/W
COMMON/COMNW/NW
DO 10 I = 1 , NW
  IF(OPTION.EQ.1) X(I)=W(I)
  IF(OPTION.EQ.2) X(I)=1438.0*3.141592654/(2.0*W(I))
  IF(OPTION.EQ.3) X(I)=2.0*3.141592654/W(I)
  IF(I.EQ.1) XMIN=X(I)
  IF(I.EQ.1) XMAX=X(I)
  IF(X(I).GT.XMAX) XMAX=X(I)
  IF(X(I).LT.XMIN) XMIN=X(I)
10 CONTINUE
YMAX=1.1*XMAX
YMIN=0.9*YMIN
IF (OPTION.EQ.3.AND.XMAX.LT.1.0) XMAX=1.0
LARCHG=OPTION*6
WRITE(LARCHG,/)XMIN,XMAX,YMIN,YMAX,1
LBAL=1
DO 20 I = 1 , NW
  WRITE(LARCHG,/)X(I),FM(I),LBAL
  LBAL=0
20 CONTINUE
LOC1=LARCHG
RETURN
END

```

```

70400 C
70500 C ... SUBROUTINA QUE LEE LOS PARAMETROS DE LA CORRIDA
70600 C
70700 C SUBROUTINE LEEPAR
70800 C
70900 C DIMENSION W(100),PARAM1(100),PARAM2(1)
71000 C COMMON/COMNF/NF
71100 C COMMON/COMNW/NW
71200 C COMMON/COMW/W
71300 C COMMON/CONFAR/FARAM1,FARAM2
71400 C
71500 C WRITE(4,1000)
71600 C READ(5,7) NF
71700 C WRITE(4,1100)
71800 C READ(5,7) NW
71900 C DO 10 I = 1, NW
72000 C     WRITE(4,1200)I
72100 C     READ(5,7) W(I)
72200 C     WW=W(I)
72300 C     WRITE(4,1300)WW
72400 C     READ(5,1900)SIGNO
72500 C     IF(SIGNO.EQ."NO") GO TO 10
72600 C     WRITE(4,1400)
72700 C     READ(5,1900)SIGNO
72800 C     IF(SIGNO.EQ."SI") FARAM1(I)=1
72900 C     WRITE(4,1500)
73000 C     READ(5,1900)SIGNO
73100 C     IF((SIGNO.EQ."SI").AND.(FARAM1(I).EQ.1)) FARAM1(I)=1
73200 C     IF((SIGNO.EQ."SI").AND.(FARAM1(I).EQ.0)) FARAM1(I)=1
73300 C 10 CONTINUE
73400 C     WRITE(4,1400)
73500 C     READ(5,1900)SIGNO
73600 C     IF(SIGNO.EQ."NO") GO TO 10
73700 C     WRITE(4,1400)
73800 C     READ(5,1900)SIGNO
73900 C     IF(SIGNO.EQ."SI") FARAM2(I)=1
74000 C     WRITE(4,1500)
74100 C     READ(5,1900)SIGNO
74200 C     IF(SIGNO.EQ."SI".AND.FARAM1(I).EQ.1) FARAM1(I)=1
74300 C     IF(SIGNO.EQ."SI".AND.FARAM2(I).EQ.0) FARAM1(I)=1
74400 C 20 WRITE(4,1700)
74500 C     READ(5,1900)SIGNO
74600 C     IF(SIGNO.EQ."NO") GO TO 30
74700 C     WRITE(4,1800)
74800 C     READ(5,7) I
74900 C     IF(I.GT.0.AND.I.LT.5) FARAM2(I)=1
75000 C 30 CONTINUE
75100 C     RETURN
75200 C 1000 FORMAT(/,22X,"CALCULO DE EFECTOS HIDRODINAMICOS",10X,"C22",/)
75300 C     1 " NUMERO DE PUNTOS PARA LA FUNCION F(")
75400 C     1100 FORMAT(/," NUMERO DE FRECUENCIAS PARA EL ESPECTRO")
75500 C     1200 FORMAT(/," VALOR DE LA FRECUENCIA W(",12,")")
75600 C     1300 FORMAT(/," DESEA GRAFICAR LA RESPUESTA FR PARA W="1,12,
75700 C     1 " (S/1/60) """)
75800 C     1400 FORMAT(/," DESEA LA GRAFIA POR PAPEL (S/1/60) """)
75900 C     1500 FORMAT(/," DESEA LA GRAFIA POR PANTALLA (S/1/60) """)
76000 C     1600 FORMAT(/," DESEA GRAFIAR EL RESULTADO EN """)
76100 C     1700 FORMAT(/," DESEA TABULAR EL RESULTADO DE LA RESPUESTA FR EN LA
76200 C     1 " PANTALLA (S/1/60) """)
76300 C     1800 FORMAT(/," RESPUESTA-FRECUENCIA W (1)",/,
76400 C     1 " RESPUESTA-FRECUENCIA W (2)",/,
76500 C     2 " RESPUESTA-FRECUENCIA W (3)",/,
76600 C     3 " RESPUESTA-FRECUENCIA W (4)",/,
76700 C     4 " LOS 5 ANTERIORES W H I (4)",/,
76800 C     1900 FORMAT(42)
76900 C     END

```

```

67000 C
67100 C
67200 C
67300 C
67400 C
67500 COMMON/COMOME/OMEGA
67600 COMMON/COMNF/NF
67700 COMMON/COMNA/NA
67800 COMMON/COMDEL/DELTAT
67900 COMMON/COMENC/ENCAB
68000 C
68100 WRITE(6,100)ENCAB,DELTAT,NA,NF,OMEGA
68200 RETURN
68300 100 FORMAT(1H1,24(/),40X,50(" "),/,
68400 1 40X,"",48X,"",/,
68500 1 40X,"",8X,"NOMBRE DEL ACELEROGAMA : ",A2,8X,"",/,
68600 1 40X,"",48X,"",/,
68700 1 40X,"",10X,"INTERVALO DE TIEMPO : ",F2.3,10X,"",/,
68800 1 40X,"",48X,"",/,
68900 1 40X,"",9X,"PUNTOS DEL ACELEROGAMA : ",I4,2X,"",/,
69000 1 40X,"",48X,"",/,
69100 1 40X,"",8X,"NUMERO DE PUNTOS PARA F : ",I4,8X,"",/,
69200 1 40X,"",48X,"",/,
69300 1 40X,"",9X,"FRECUENCIA DEL VASO : ",F9.4,8X,"",/,
69400 1 40X,"",48X,"",/,
69500 1 40X,50(" ")
69600 1 END

```