

## INTERACCIÓN DINÁMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EL VALLE DE MÉXICO

*Javier Avilés<sup>1</sup>, Héctor Raúl Aguilar<sup>2</sup>  
y Luis Eduardo Pérez-Rocha<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Civil,  
Instituto de Investigaciones Eléctricas

<sup>2</sup> Centro de Investigación Sísmica,  
Fundación Javier Barros Sierra

### RESUMEN

Se presenta un procedimiento aproximado para estimar la respuesta espectral de sistemas suelo-estructura, aplicable a valles aluviales extensos. Se plantea el concepto de contornos de respuesta con interacción a fin de representar los efectos de sitio e interacción suelo-estructura simultáneamente, en términos del periodo dominante del sitio y el periodo fundamental de la estructura. Se muestra que a partir de estos contornos se pueden conocer los espectros de respuesta con interacción para cualquier sitio.

Asimismo, para diferentes configuraciones de sitio y estructura representativas de sistemas suelo-estructura típicos del valle de México, se calculan contornos de respuesta con interacción que permiten predecir el escenario de interacción que tendría lugar en el valle de México ante un temblor característico postulado en terreno firme. Los resultados de un análisis paramétrico muestran la influencia de los parámetros característicos críticos definidos por la profundidad del depósito de suelo, el enterramiento de la cimentación y la esbeltez de la estructura, los cuales controlan los efectos de interacción suelo-estructura.

## **I. INTRODUCCIÓN**

El problema de interacción suelo-estructura en la ciudad de México ha adquirido relevancia en los últimos años como resultado, principalmente, de los efectos producidos en las estructuras por los sismos de septiembre de 1985. Con base en la importancia de los fenómenos observados, se ha decidido que la interacción entre la estructura y el suelo es recomendable tenerla en cuenta en el diseño sísmico de estructuras desplantadas en depósitos de suelo blando (Rosenblueth y Reséndiz, 1988).

Se sabe que el periodo fundamental de la estructura interactuando con el suelo siempre se incrementa, porque el sistema suelo-estructura tiene una flexibilidad mayor que la de la estructura sujeta con base rígida (Veletsos y Meek, 1974). También se sabe que el amortiguamiento del sistema generalmente se incrementa, porque existe una disipación adicional de energía producto de los amortiguamientos material y geométrico del suelo (Veletsos y Meek, 1974). Se estima que la ductilidad del sistema se reduce, según se infiere del comportamiento de una estructura de un grado de libertad con comportamiento elastoplástico cuya ductilidad es función decreciente del alargamiento del periodo por interacción (Rosenblueth y Reséndiz, 1988).

Las modificaciones por interacción del periodo fundamental, el amortiguamiento y la ductilidad pueden dar lugar a respuestas estructurales mayores o menores, dependiendo de la posición de los periodos resonantes del espectro de respuesta y los niveles de amortiguamiento y ductilidad.

Las recomendaciones actuales para tener en cuenta los efectos de interacción suelo-estructura son aún muy limitadas. En efecto, las normas vigentes sólo consideran la influencia de la interacción inercial en el periodo fundamental, pero no se estipulan criterios para considerarla en el amortiguamiento y la ductilidad; tampoco se especifican criterios para cuantificar los efectos de la interacción cinemática (NTCDS, 1987). En general, se carece de modelos de interacción suelo-estructura sencillos y fidedignos que permitan estudiar los diferentes aspectos del fenómeno y sus implicaciones en la respuesta estructural, a fin de generar criterios de diseño racionales.

El objetivo de este trabajo es presentar un procedimiento aproximado para representar los efectos

de la interacción inercial en el periodo y amortiguamiento, así como aplicarlo a diferentes configuraciones de sitio y estructura representativas de sistemas suelo-estructura típicos del valle de México, a fin de conocer la influencia de los parámetros característicos dominantes.

Se plantea un enfoque nuevo para representar los efectos de sitio e interacción suelo-estructura simultáneamente, en términos del periodo fundamental de la estructura y el periodo dominante del sitio. Para ello se propone una forma de expresar la respuesta estructural mediante contornos de respuesta con interacción, los cuales son aplicables a configuraciones de sitio y estructura con periodos de vibración variables. Postulando como movimiento de control al temblor del 19 de septiembre de 1985 registrado en la estación CU de terreno firme, se realiza un análisis paramétrico que cubre la mayor parte de casos de interés práctico; los parámetros característicos considerados son la profundidad del depósito de suelo, el enterramiento de la cimentación y la esbeltez de la estructura, los cuales controlan los efectos de interacción suelo-estructura.

## **II. CONTORNOS ESPECTRALES**

En la respuesta sísmica de estructuras intervienen varios factores que tienen que ver con la fuente, el trayecto, el sitio y la estructura misma. Con objeto de simplificar el cálculo de dicha respuesta se acostumbra adoptar como excitación de diseño a un temblor característico definido en condiciones de terreno firme, de suerte que los efectos de fuente y trayecto se consideren implícitamente. De esta forma sólo faltaría tomar en cuenta los efectos de sitio e interacción suelo-estructura en la determinación de la respuesta estructural. Lo que procede entonces es obtener espectros de respuesta con interacción para cada sitio de interés a partir del movimiento de control, especificado en el afloramiento de la roca basal, la estratigrafía del sitio y un oscilador elemental con base flexible.

En términos generales, los espectros de respuesta con interacción calculados para un sitio específico pueden ser aplicables a varias estructuras pero no pueden aplicarse en otros sitios distintos del original. Por tal razón, parece conveniente representar los efectos de sitio e interacción suelo-estructura considerando simultáneamente el periodo fundamental de la estructura y el periodo dominante

del sitio, de suerte que no exista restricción alguna cualquiera que sea la estructura y el sitio.

Para llevar a cabo lo anterior se propone una forma adecuada de representar los efectos de sitio e interacción suelo-estructura simultáneamente, que consiste en la determinación de curvas de isoaceleración referidas a dos ejes ortogonales correspondientes a los periodos fundamentales de vibración de la estructura y el sitio. A estas curvas de respuestas máximas de un oscilador elemental sobre un manto simple, en función del periodo fundamental de la estructura y el periodo dominante del sitio, se les ha definido como contornos de respuesta con interacción.

Asumiendo que el modelo para considerar los efectos de sitio e interacción suelo-estructura es el que se muestra en la fig 1 (Rosenblueth y Reséndiz, 1988), la determinación de contornos de respuesta con interacción se lleva a cabo mediante los siguientes cálculos:

*Excitación*

Se adopta como movimiento de control a un temblor característico especificado en el afloramiento

de la roca basal, calculándose su espectro de aceleraciones de Fourier dado por (Clough y Penzien, 1975)

$$F_c(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} \ddot{X}_c(t) e^{-i\omega t} dt \quad (1)$$

donde  $\ddot{X}_c$  representa al movimiento de control y  $\omega$  expresa la frecuencia de excitación.

*Condiciones de sitio*

A partir de las propiedades de un estrato simple con base deformable, equivalente al depósito de suelo real en el periodo dominante de vibración  $T_s$  y la velocidad efectiva de propagación  $\beta_s$ , se determina la función de trasferencia del suelo ante la incidencia vertical de ondas de cortante mediante (Newmark y Rosenblueth, 1971)

$$H_s(\omega) = \frac{1}{\cos(k_s H_s) + i p \operatorname{sen}(k_s H_s)} \quad (2)$$

en donde  $H_s$  es la profundidad del depósito de suelo,

$$p = \frac{\rho_s \beta_s}{\rho_0 \beta_0} \quad (3)$$

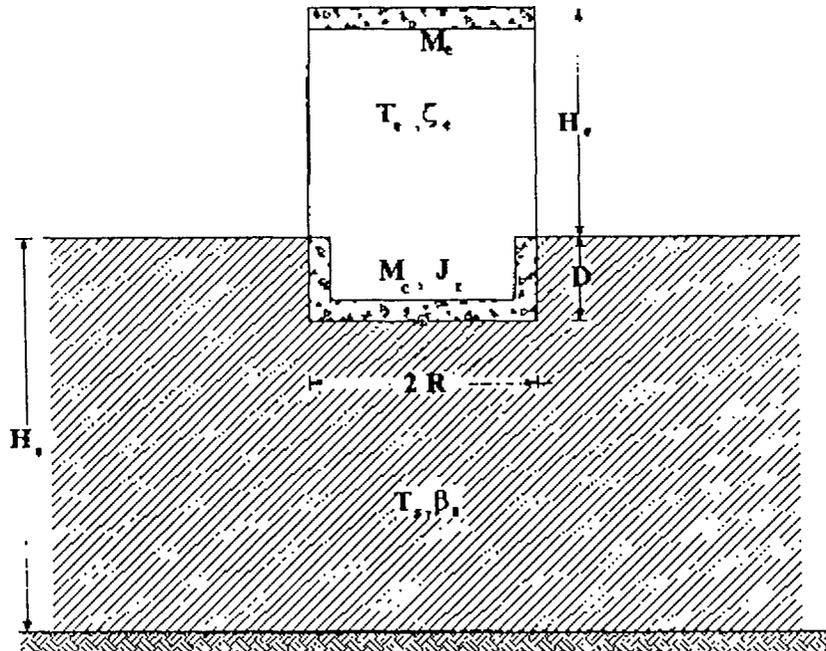


Fig 1. Modelo para los efectos de sitio e interacción suelo-estructura

es la relación de impedancias entre el estrato y la roca basal, y  $k_s = \omega / \beta_s$  es el número de onda de cortante del estrato;  $\rho_{o,s}$  y  $\beta_{o,s}$  son la densidad y velocidad de corte del suelo, respectivamente, ya sea del estrato (índice s) o la roca basal (índice o). La base del estrato debe considerarse flexible para tener en cuenta la presencia del amortiguamiento geométrico, producto de la irradiación de ondas hacia la roca basal; el amortiguamiento material de tipo histerético se introduce reemplazando a  $\beta_{o,s}$  por  $\beta_{o,s}(1+i\zeta_{o,s})$ , siendo  $\zeta_{o,s}$  el amortiguamiento del suelo.

### Interacción suelo-estructura

Utilizando los parámetros dinámicos efectivos del oscilador elemental con base flexible mostrado en la fig 2, equivalente a la estructura real vibrando en su modo fundamental, se determina la función de transferencia de la estructura como (Clough y Penzien, 1975)

$$H_e(\omega) = \left( \frac{\omega^2}{\tilde{\omega}_e^2} - 1 - i2\tilde{\zeta}_e \frac{\omega}{\tilde{\omega}_e} \right)^{-1} \quad (4)$$

donde  $\tilde{\omega}_e = 2\pi / \tilde{T}_e$ , siendo  $\tilde{T}_e$  y  $\tilde{\zeta}_e$  el periodo y amortiguamiento efectivos del sistema acoplado, respectivamente. Estos parámetros dinámicos efectivos pueden aproximarse satisfactoriamente despreciando la masa de la cimentación y su momento

de inercia, así como el acoplamiento en traslación y rotación de la rigidez dinámica del cimiento; con estas simplificaciones se han obtenido las siguientes expresiones (Avilés y col, 1992):

$$\tilde{T}_e = (T_e^2 + T_h^2 + T_r^2)^{1/2} \quad (5)$$

$$(6)$$

$$\tilde{\zeta}_e = \zeta_e \left( \frac{T_e}{\tilde{T}_e} \right)^3 + \frac{\zeta_h}{1+2\zeta_h^2} \left( \frac{T_h}{\tilde{T}_e} \right)^2 + \frac{\zeta_r}{1+2\zeta_r^2} \left( \frac{T_r}{\tilde{T}_e} \right)^2$$

donde  $T_e$  y  $\zeta_e$  son respectivamente el periodo y amortiguamiento correspondientes al modo fundamental de la estructura supuesta con base indeformable; además,  $T_h$  y  $T_r$  son los periodos naturales que tendría la estructura si fuera infinitamente rígida y su base sólo pudiera trasladarse o girar, respectivamente, es decir:

$$T_h = 2\pi \left( \frac{M_e}{K_h(\tilde{\omega}_e)} \right)^{1/2} \quad (7)$$

$$T_r = 2\pi \left( \frac{M_e(H_e + D)^2}{K_r(\tilde{\omega}_e)} \right)^{1/2} \quad (8)$$

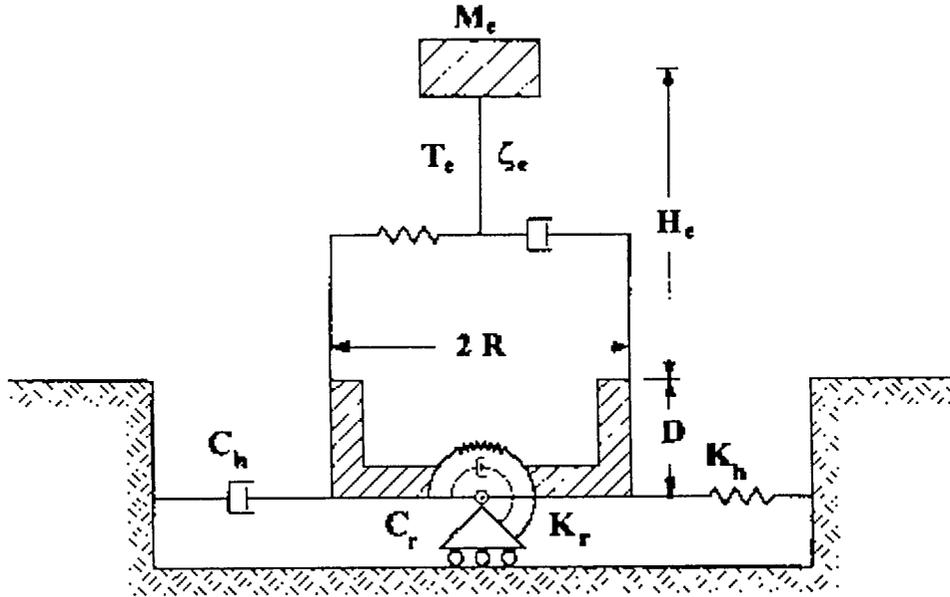


Fig 2. Oscilador elemental con base flexible

en tanto que  $\zeta_h$  y  $\zeta_r$  son los amortiguamientos viscosos del suelo en los modos de traslación y rotación de la cimentación, respectivamente, esto es:

$$\zeta_h = \frac{\pi C_h(\tilde{\omega}_e)}{\tilde{T}_e K_h(\tilde{\omega}_e)} \quad (9)$$

$$\zeta_r = \frac{\pi C_r(\tilde{\omega}_e)}{\tilde{T}_e K_r(\tilde{\omega}_e)} \quad (10)$$

En estas ecuaciones,  $M_e$  y  $H_e$  representan la masa y altura efectivas de la estructura con base rígida vibrando en su modo fundamental (Wolf, 1985), en tanto que  $D$  es la profundidad de desplante de la cimentación; a su vez,  $K_h$  y  $C_h$  representan la rigidez y el amortiguamiento del suelo en el modo de traslación del cimientto, mientras que  $K_r$  y  $C_r$  son la rigidez y el amortiguamiento del suelo en el modo de rotación del cimientto. Los resortes y amortiguadores del suelo son función de la frecuencia de excitación y se calculan utilizando una cimentación circular equivalente de radio  $R$  (Avilés y Pérez-Rocha, 1992).

### Contornos de respuesta

Conocidos el espectro de aceleraciones de Fourier de la excitación así como las funciones de transferencia tanto del suelo como de la estructura, se obtiene el espectro de amplitudes de Fourier de la respuesta estructural mediante

$$|F_e(\omega)| = |F_c(\omega)| |H_s(\omega)| |H_e(\omega)| \quad (11)$$

Finalmente, con base en el espectro de amplitudes de Fourier de la respuesta estructural y la duración del movimiento en el sitio de interés, estimada como

$$D_s = D_o + \frac{0.2 T_s}{\zeta_s} \quad (12)$$

donde  $D_o$  es la duración del movimiento en roca basal, se calculan los valores esperados de las respuestas máximas mediante la teoría de vibraciones casuales (Boore, 1983; Boore y Joyner, 1984), para cualquier configuración de sitio y estructura definida por el par  $T_e$ ,  $T_s$  de periodos de vibración. Las aceleraciones espectrales obtenidas de esta manera representan las cotas de los contornos de respuesta con interacción.

### III. RESULTADOS

Los efectos de sitio dependen sólo de dos parámetros característicos: 1) la relación de impedancias entre el estrato y la roca basal,  $p$ ; y el periodo dominante del sitio,  $T_s$ . En cambio, los efectos de interacción suelo-estructura dependen de varios parámetros característicos, los cuales se definen adimensionalmente como sigue: 1) densidad relativa de la estructura respecto al suelo,  $M_e / (\rho_s \pi R^2 H_e)$ ; 2) coeficientes de amortiguamiento del suelo y la estructura,  $\zeta_s$  y  $\zeta_e$ ; 3) relación de Poisson del suelo,  $\nu_s$ ; 4) profundidad relativa del depósito de suelo,  $H_s/R$ ; 5) profundidad de desplante relativa de la cimentación,  $D/R$ ; y 6) relación de esbeltez de la estructura,  $H_e/R$ .

Por tratarse de estructuras y suelos típicos del valle de México se fijó la densidad relativa de la estructura respecto al suelo en un valor representativo de 0.15, a la vez que se adoptaron los valores convencionales  $p=0.1$ ,  $\zeta_s=\zeta_e=0.05$  y  $\nu_s=0.49$ . Por lo que se refiere al movimiento de control, la excitación considerada en terreno firme es la correspondiente al componente EW del temblor del 19 de septiembre de 1985 registrado en la estación CU, cuya duración estimada de la etapa intensa es de 40 s.

Es conocido que los periodos dominantes en sitios del valle de México alcanzan valores hasta de cinco segundos. Similarmente, las estructuras ahí desplantadas pueden llegar a tener periodos fundamentales del mismo orden. Esta situación sugiere realizar análisis paramétricos de los efectos de sitio e interacción suelo-estructura en el intervalo de periodos de vibración, tanto de estructuras como de sitios, comprendido entre 0 y 5s.

En la fig 3 se muestran los resultados que se obtienen al despreciar los efectos de interacción suelo-estructura. La forma de los contornos de respuesta sin interacción se muestra en la fig 3a, la cual se caracteriza por el hecho de que las respuestas resonantes asociadas al modo fundamental del sitio se presentan a lo largo de la recta con pendiente uno, es decir, cuando el periodo fundamental de la estructura coincide con el periodo dominante del sitio; las respuestas resonantes asociadas al primer modo superior del sitio se presentan a lo largo de la recta con pendiente tres. Los contornos de respuesta son de gran utilidad para identificar los sitios donde se presentarían

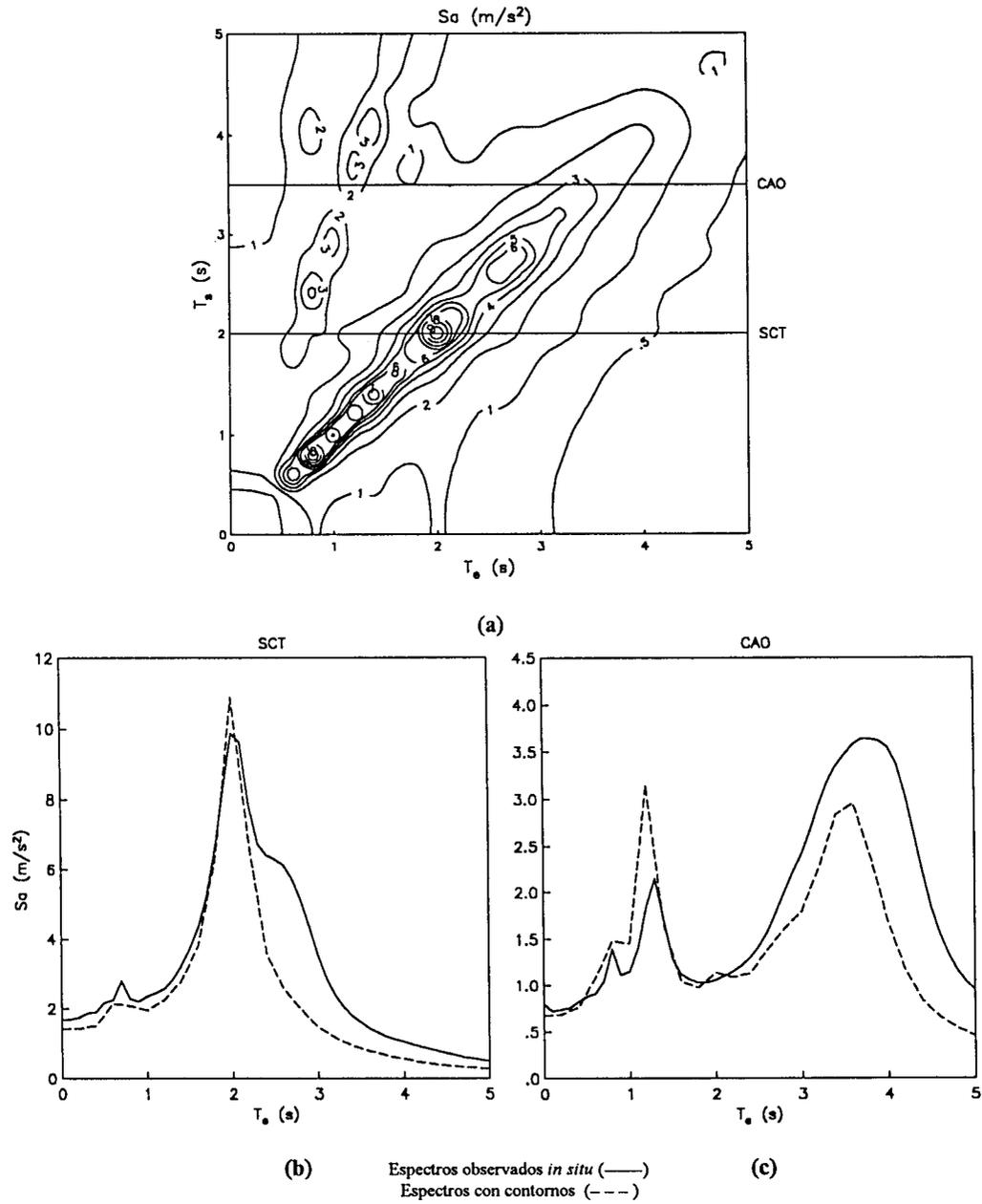


Fig 3. Contornos y espectros de respuesta sin interacción

las mayores amplificaciones dinámicas ante un temblor característico postulado en terreno firme; en este caso, tales sitios resultan ser los que tienen periodos dominantes de  $T_s=0.8$  s y  $T_s=2$  s. Si se realizan cortes en  $T_s=2$  s y  $T_s=3.5$  s, se pueden inferir los espectros de respuesta sin interacción que se esperarían en los sitios SCT y CAO, respectivamente, los cuales son una buena aproximación de los espectros de respuesta para SCT y CAO calculados con las excitaciones registradas *in situ* en esas estaciones, como se muestra en las figs 3b y 3c, respectivamente.

En las figs 4, 5, 6, 7 y 8 se muestran los contornos de respuesta con interacción para las profundidades relativas del depósito de suelo  $H_s/R=3, 4, 5, 7$  y  $10$ , respectivamente. Cada figura contiene resultados para las profundidades de desplante relativas de la cimentación  $D/R=0, 1/2$  y  $1$ , en renglones, y las relaciones de esbeltez de la estructura  $H_e/R=1, 3$  y  $5$ , en columnas. Estos resultados permiten predecir el escenario de interacción que tendría lugar en el valle de México ante un temblor característico postulado en terreno firme. La máxima respuesta estructural para cualquier configuración de sitio y estructura se puede obtener directamente a partir de estos contornos espectrales, en términos del periodo fundamental de la estructura  $T_e$ , en abscisas, y el periodo dominante del sitio  $T_s$ , en ordenadas.

La forma de los contornos de respuesta con interacción es muy compleja, dependiendo fuertemente de los parámetros característicos críticos  $H_s/R, D/R$  y  $H_e/R$ . Como consecuencia del alargamiento del periodo por interacción inercial, las respuestas resonantes asociadas al modo fundamental del sitio se presentan a lo largo de rectas con pendiente mayor que uno, esto es, cuando el periodo fundamental de la estructura es menor que el periodo dominante del sitio; cuanto mayor es la pendiente de estas rectas mayores son los efectos de interacción en el periodo. Debido a la modificación del amortiguamiento por interacción inercial, las respuestas de estructuras con base flexible se amplifican o atenúan con respecto a las correspondientes a la condición de base rígida. En general, los efectos de interacción se intensifican a medida que aumenta la esbeltez de la estructura y disminuyen tanto la profundidad del depósito de suelo como el enterramiento de

la cimentación. En consecuencia, los mayores efectos de interacción ocurren para  $H_s/R=3$  (depósitos de suelo superficiales),  $D/R=0$  (cimentaciones sobre el terreno) y  $H_e/R=5$  (estructuras altas y esbeltas); en tanto que los menores efectos de interacción ocurren para  $H_s/R=10$  (depósitos de suelo profundos),  $D/R=1$  (cimentaciones enterradas) y  $H_e/R=1$  (estructuras bajas y robustas).

Con base en los contornos de respuesta con interacción se pueden inferir los espectros de respuesta con efectos de sitio e interacción suelo-estructura para diferentes condiciones de sitio y estructura. En las figs 9 y 10 se muestran los espectros de sitio con interacción para las estaciones SCT ( $T_s=2$ s,  $\beta_s=76$  m/s) y CAO ( $T_s=3.5$ s,  $\beta_s=64$  m/s), respectivamente, obtenidos a partir de los contornos espectrales correspondientes a las profundidades relativas del depósito de suelo  $H_s/R=3, 4, 5, 7$  y  $10$ , en renglones, las profundidades de desplante relativas de la cimentación  $D/R=0, 1/2$  y  $1$ , en columnas, y las relaciones de esbeltez de la estructura  $H_e/R=1$  (línea continua),  $3$  (línea discontinua) y  $5$  (línea punteada).

A partir de la relación  $T_s=4H_s/\beta_s$  se define la profundidad del depósito de suelo para los sitios considerados, por lo que las variaciones del parámetro característico  $H_s/R$  se deben a cambios en el radio de la cimentación y no en la profundidad del depósito de suelo. En consecuencia, los efectos de interacción suelo-estructura son más pronunciados para cimentaciones superficiales con gran área de desplante ( $D/R=0, H_s/R=3$ ) que para cimentaciones enterradas con superficie de desplante pequeña ( $D/R=1, H_s/R=10$ ), ya que los picos resonantes para estas últimas casi coinciden en posición y amplitud con el correspondiente a la condición de base rígida. En orden de importancia, los efectos de interacción crecen con la altura de la estructura y la superficie de desplante de la cimentación, en tanto que disminuyen con el enterramiento de la cimentación.

Asimismo, en ambos sitios se observa que los espectros de sitio con interacción tienden a ensancharse a medida que los efectos de interacción suelo-estructura son más pronunciados. Los picos resonantes se amplifican o atenúan con respecto al correspondiente a la condición de base rígida debido a la reducción o el incremento del amorti-

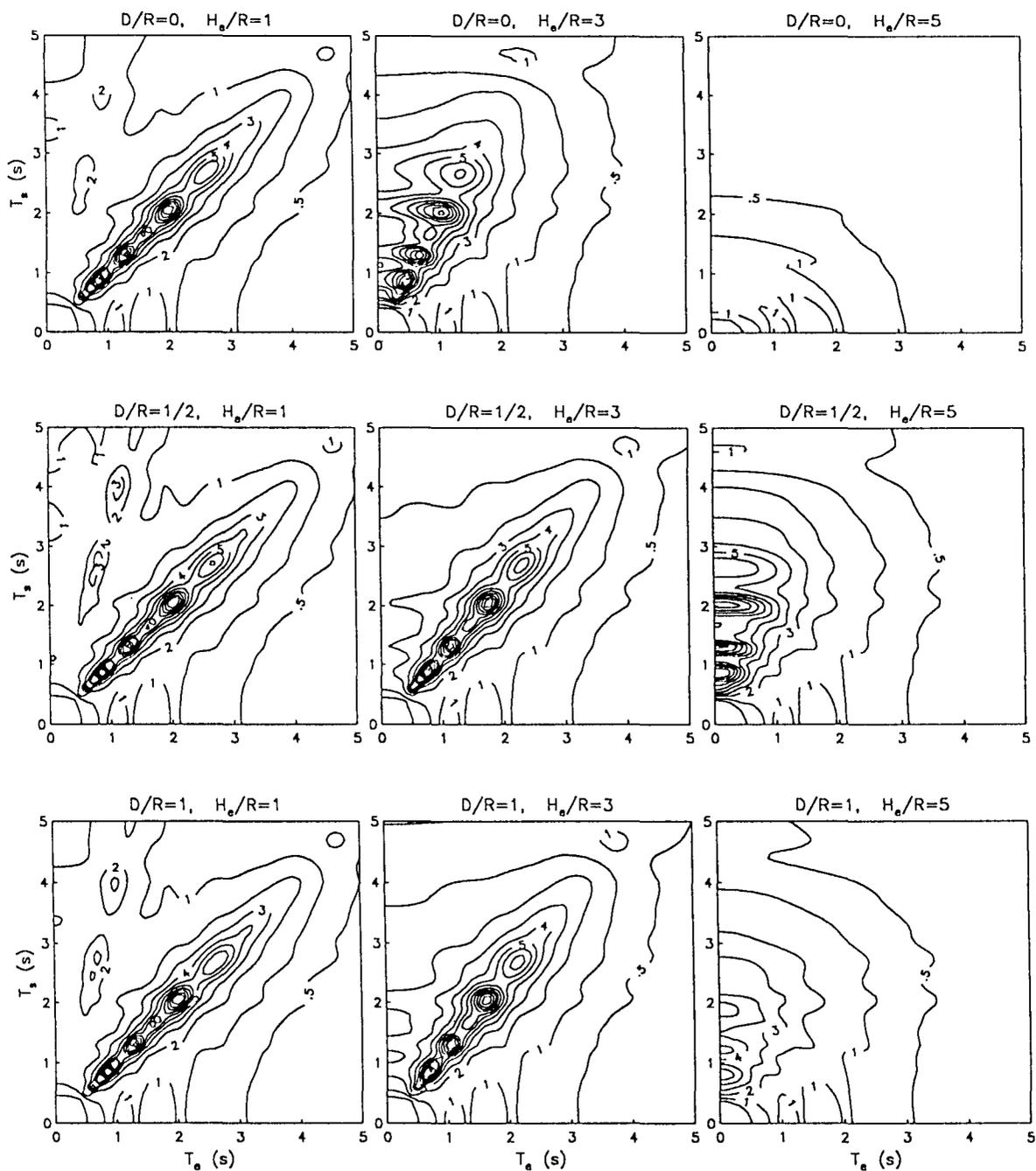


Fig 4. Contornos de respuesta con interacción ( $m/s^2$ ) para  $H_g/R=3$ ; cada recuadro corresponde a diferentes valores de  $D/R$  y  $H_g/R$

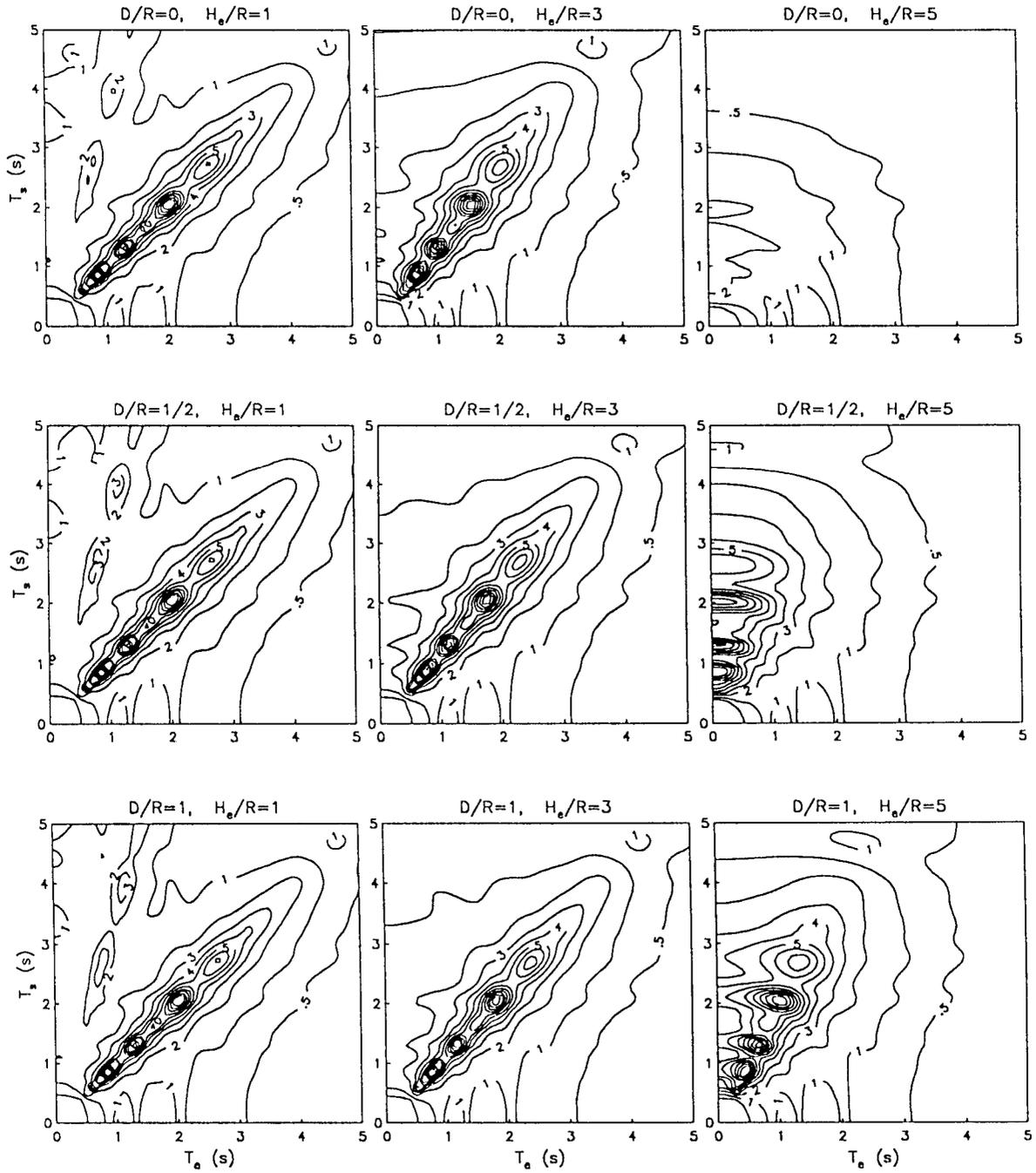


Fig 5. Contornos de respuesta con interacción ( $m/s^2$ ) para  $H_e/R=4$ ; cada recuadro corresponde a diferentes valores de  $D/R$  y  $H_e/R$

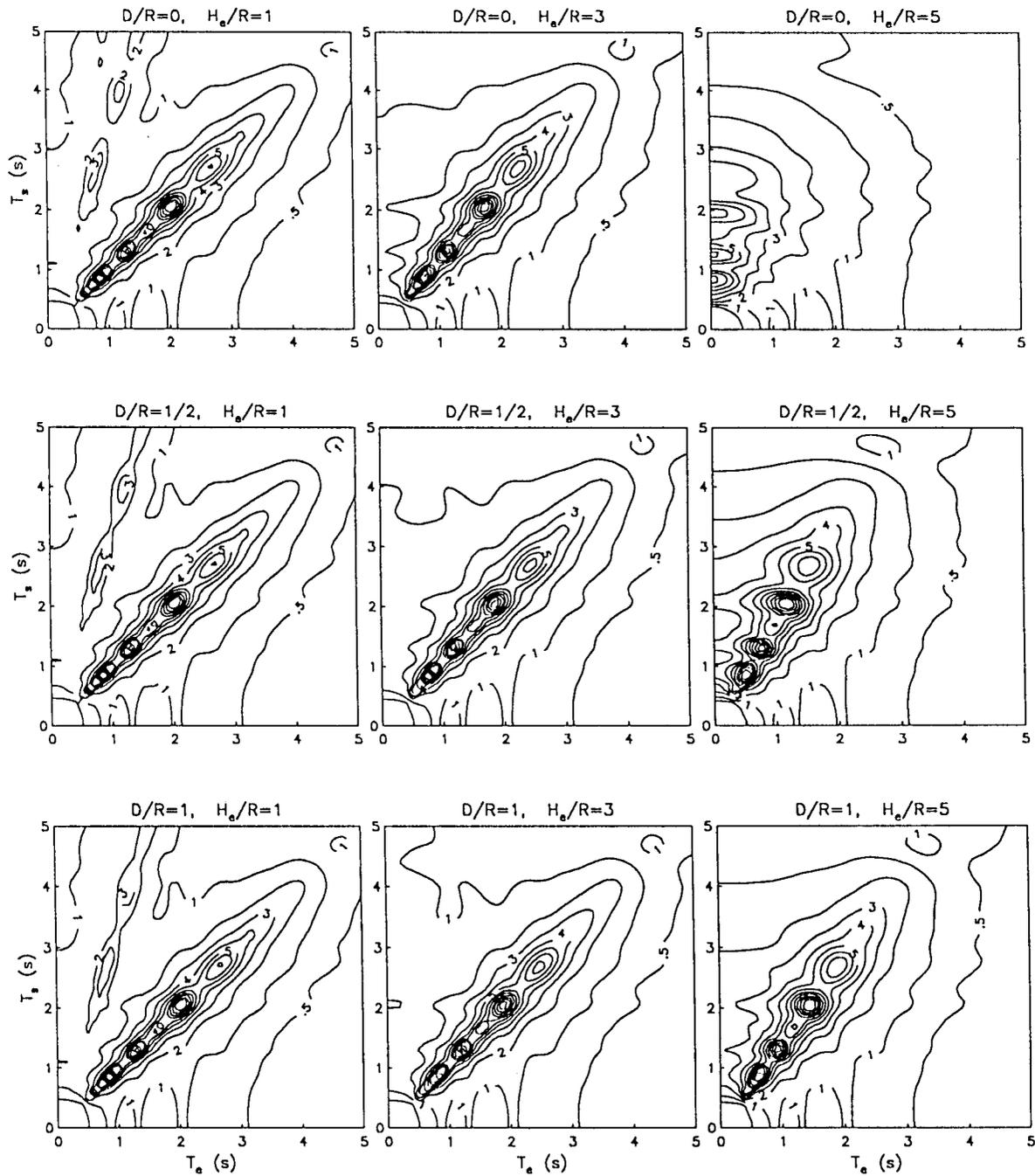


Fig 6. Contornos de respuesta con interacción ( $m/s^2$ ) para  $H_0/R=5$ ; cada recuadro corresponde a diferentes valores de  $D/R$  y  $H_0/R$

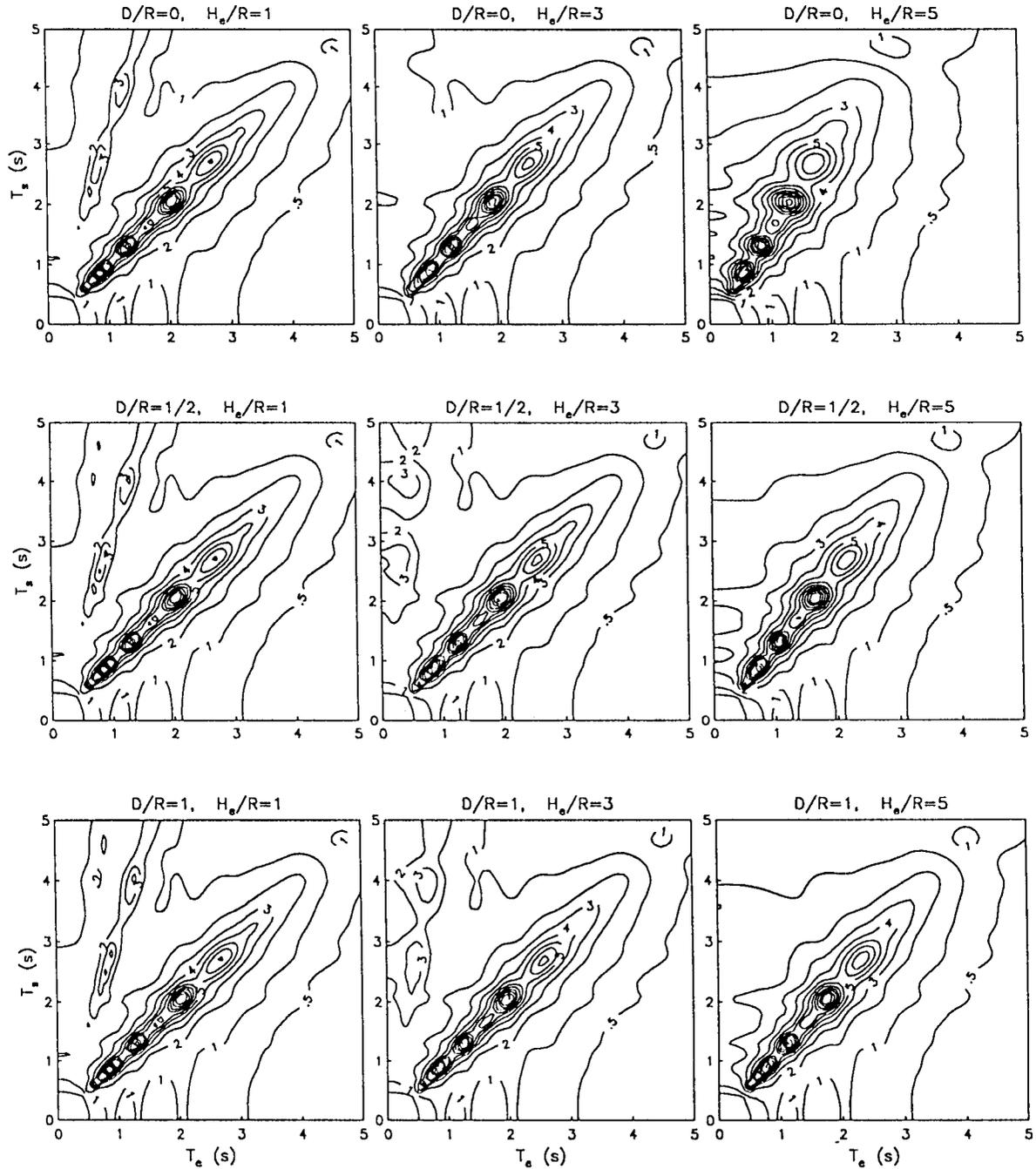


Fig 7. Contornos de respuesta con interacción ( $m/s^2$ ) para  $H_s/R=7$ ; cada recuadro corresponde a diferentes valores de  $D/R$  y  $H_e/R$

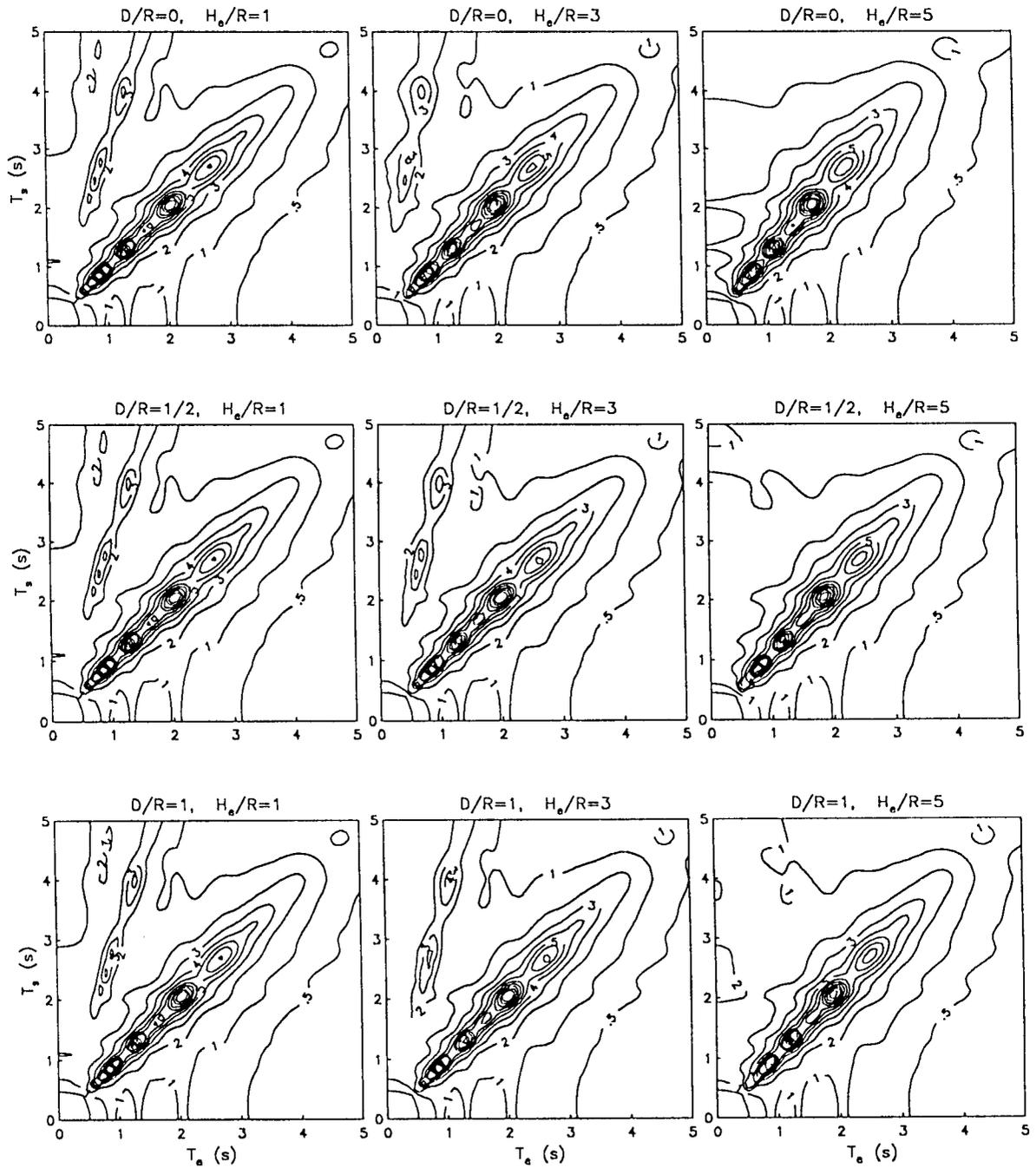


Fig 8. Contornos de respuesta con interacción ( $m/s^2$ ) para  $H_v/R=10$ ; cada recuadro corresponde a diferentes valores de  $D/R$  y  $H_e/R$

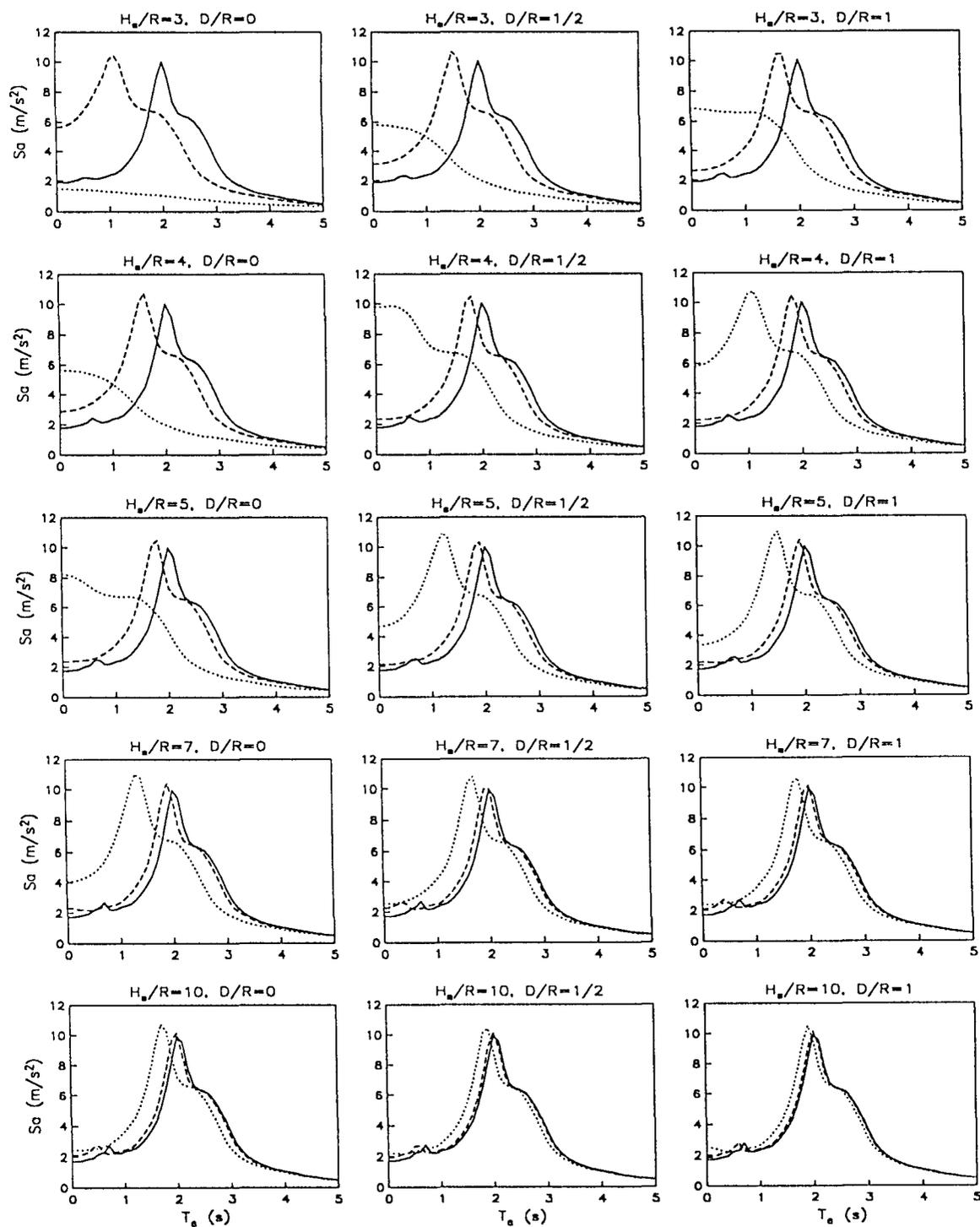


Fig 9. Espectros de respuesta con interacción para el sitio SCT y diferentes valores de  $D/R$  y  $H_g/R$ ; en cada recuadro se muestran espectros para  $H_g/R=1$ (—),  $3$ (---) y  $5$ (.....)

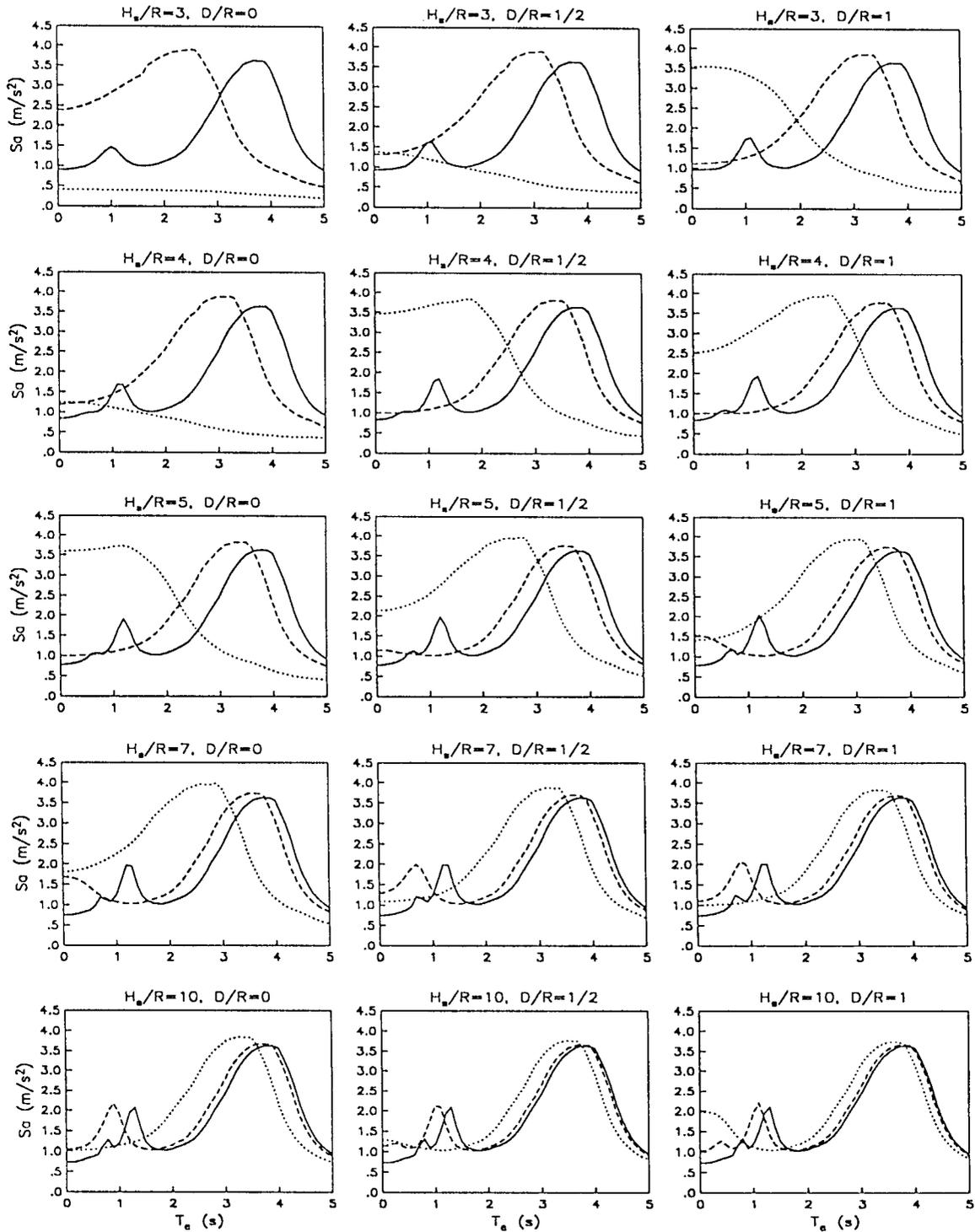


Fig 10. Espectros de respuesta con interacción para el sitio CAO y diferentes valores de  $D/R$  y  $H_s/R$ ; en cada recuadro se muestran espectros para  $H_s/R=1$ (—), 3(---) y 5(-·-·-)

guamiento, respectivamente, a la vez que se corren hacia periodos menores como consecuencia del alargamiento del periodo. Las ordenadas espectrales para periodo cero son diferentes de la correspondiente a la condición de base indeformable, ya que representan la aceleración de un sistema acoplado formado por una estructura rígida desplantada en un suelo flexible.

#### IV. CONCLUSIONES

Aquí se ha presentado un procedimiento aproximado para representar los efectos de interacción suelo-estructura en el periodo y amortiguamiento del modo fundamental de vibración, teniendo en cuenta los efectos de sitio, el cual se aplicó a diferentes configuraciones de sitio y estructura representativas de sistemas acoplados típicos del valle de México.

Se formuló el concepto de contornos espectrales mediante los cuales se pueden representar los efectos de sitio e interacción suelo-estructura simultáneamente, en términos del periodo dominante del sitio y el periodo fundamental de la estructura. Se mostró asimismo que a partir de estos contornos es posible conocer los espectros de sitio con interacción, para cualquiera que sea el sitio de interés.

Se calcularon contornos espectrales variando aquellos parámetros característicos que controlan la respuesta de sistemas acoplados. Estos contornos permiten predecir el escenario de respuestas máximas que se presentarían en estructuras de edificios desplantadas en sitios del valle de México, ante un temblor característico postulado en terreno firme. En general, se encontró que los efectos de interacción suelo-estructura se intensifican cuando aumentan tanto la altura de la estructura como la superficie de desplante de la cimentación y cuando disminuye la profundidad de desplante de la cimentación.

#### V. RECONOCIMIENTOS

Se agradecen las revisiones críticas de J M Roesset y F J Sánchez-Sesma, cuyos valiosos comentarios contribuyeron a mejorar el contenido de este trabajo.

#### VI. REFERENCIAS

- Avilés J y Pérez-Rocha E** (1992), 'Resortes y amortiguadores equivalentes del suelo', *Boletín del Centro de Investigación Sísmica*, FJBS, Vol. 2, No. 1, pp. 22-81.
- Avilés J, Pérez-Rocha E y Aguilar R** (1992), 'Periodos y amortiguamientos efectivos de sistemas suelo estructura', *Boletín del Centro de Investigación Sísmica*, FJBS, Vol. 2, No. 2, pp. 17-62.
- Boore D** (1983), 'Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra', *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 73, No. 6, pp. 1865-1894.
- Boore D y Joyner W** (1984), 'A note on the use of random vibration theory to predict peak amplitudes of transient signals', *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 74, No. 1, pp. 2035-2039.
- Clough R y Penzien J** (1975), *Dynamics of Structures*, McGraw-Hill, Inc., Nueva York.
- Newmark N y Rosenblueth E** (1971), *Fundamentals of Earthquake Engineering*, Prentice-Hall, Inc., Nueva Jersey.
- NTCDS** (1987), 'Normas técnicas complementarias para diseño por sismo', *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*, Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal.
- Rosenblueth E y Reséndiz D** (1988), 'Disposiciones reglamentarias de 1987 para tener en cuenta interacción dinámica suelo-estructura', *Series del Instituto de Ingeniería*, UNAM, No. 509.
- Veletsos A y Meek J** (1974), 'Dynamic behaviour of building-foundation systems', *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 3, pp. 121-138.
- Wolf J** (1985), *Dynamic Soil-Structure Interaction*, Prentice-Hall, Inc., Nueva Jersey.