

LA INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DEL TERRENO EN EL ACELEROGRAMA DE DISEÑO Y LA RESPUESTA DE LAS ESTRUCTURAS (1)

JOSE LUIS DE JUSTO ALPAÑES (*)
ANTONIO JARAMILLO MORILLA (**)
ROSA GARCIA BARQUIN (***)

RESUMEN. Se ha estudiado con detalle la influencia de las condiciones del terreno sobre las acciones sísmicas y la respuesta de las estructuras. El factor fundamental en dicha respuesta es la relación entre el llamado período de «resonancia» del terremoto y el período fundamental de la estructura. El período de resonancia del terremoto depende principalmente de las condiciones del terreno (figuras 2 y 4).

Un estrato blando y profundo aumenta la duración del terremoto (figura 3) y ésta es, a menudo, la razón por la que se incrementan los daños.

Se ha estudiado el comportamiento sísmico de la Giralda, un minarete árabe, de 100 m de altura, cuya construcción se terminó en Sevilla en 1198. Para un modelado aceptable, los cimientos deben ser incluidos en la discretización por elementos finitos. De este modo, los desplazamientos se incrementan, pero las tensiones disminuyen.

ABSTRACT. *The influence of ground conditions upon the seismic input and structural response has been studied in detail. The fundamental fact in structural response is the relationship between the so-called «resonance» period of the earthquake and the fundamental period of the structure. The resonance period of the earthquake depends mainly upon ground conditions (fig. 2 & 4). A soft deep ground increases the duration of the earthquake (fig. 3) and this is, frequently, the reason for an increased damage.*

The seismic behaviour of the 100 m high Giralda, an arab minaret ended in Seville in 1198, has been studied. For an acceptable modelling, the foundation soil should be included in the FE discretization of the structure. In this way displacements increase, but stresses decrease.

1. INTRODUCCION

Se ha almacenado en soporte magnético un conjunto de parámetros seleccionados de 2.000 terremotos y 5.000 registros para formar la base de datos de un estudio de riesgo sísmico, cuyos resultados preliminares han sido descritos con anterioridad (Justo et al., 1977 y 1978; Jaramillo, 1983; Justo y Jaramillo, 1984).

Se han considerado los tipos de suelo indicados en la tabla 1, para estudiar la influencia de las condiciones del terreno en las acciones de proyecto.

En una primera fase se distinguieron los estratos del 1 al 4, de más duro a más blando. Cuando se dispuso de más acelerogramas y más datos sobre las estaciones, la capa 1 se subdividió en los estratos 5 y 6.

En este artículo sólo se estudiará la influencia del terreno en los diferentes parámetros que definen un acelerograma.

2. ESTADO DEL CONOCIMIENTO

La influencia de las condiciones del terreno en el comportamiento de las estructuras sometidas a un terremoto ha sido resumida por Justo (1974) y Seed e Idriss (1982).

Como principio general, el daño mayor se produce en terreno blando y el menor en terreno duro. Esto resulta obvio cuando se produce licuefacción en suelos saturados sin cohesión.

Los edificios altos sufren más daños que los bajos en suelos blandos y profundos.

En otros casos, parece que el daño es máximo cuan-

(1) Comunicación presentada al Congreso Internacional de la SIMSPE celebrado en Rio de Janeiro, 1990

(*) Catedrático del Área de Ingeniería del Terreno. Director del Departamento de Mecánica de Medios Continuos, Teoría de Estructuras e Ingeniería del Terreno. Universidad de Sevilla.

(**) Profesor Titular del Área de Ingeniería del Terreno. Universidad de Sevilla.

(***) Arquitecta. Universidad de Sevilla.

TIPO DE SUELO	DESCRIPCION
1	ROCA (SIN ESPECIFICAR)
2	SUELO DURO O PLEISTOCENO
3	SUELO DE CONSISTENCIA MEDIA O ALUVIONES
4	FUERTE ESPESOR DE SUELO MUY BLANDO
5	ROCA DURA
6	ROCA BLANDA

TABLA 1. Tipos de suelo.

do el «período de resonancia del terremoto» se aproxima al período fundamental de la estructura.

Como veremos posteriormente, el llamado período de resonancia del terremoto está muy relacionado con las condiciones del terreno. Este efecto de resonancia es la causa por la que en algunos casos los edificios bajos sufren más daños en terreno firme que en suelo blando.

Westermo y Trifunac (1978) han encontrado que la duración aumenta con la profundidad de los sedimentos.

Trifunac y Lee (1978 y 1985 a y b) han estudiado la influencia del espesor de sedimentos y su consistencia

en los espectros de Fourier y de pseudoveliocidad. Encontraron que la amplitud de los espectros aumenta algo, para períodos comprendidos entre 0,3 y 8 segundos, al aumentar el espesor de sedimentos o al disminuir la consistencia del suelo. Para otros períodos, la dependencia es pequeña o de sentido contrario.

Repetto et al. (1980) han descubierto que la grava de densa a muy densa se comporta como roca. En Lima la aceleración máxima del terreno, para un terremoto dado, es mayor en áreas de espesor importante de sedimentos firmes que en grava compacta, aunque esto no es cierto en otros lugares (Seed e Idriss, 1982). La relación espectral es mayor para $T > 0,15$ s en zonas de espesor importante de sedimentos firmes. Ambos resultados explican por qué en Lima los desperfectos son mucho mayores en zonas de espesor importante de sedimentos firmes que en grava compacta.

Seed e Idriss (1982) han encontrado que para períodos $> 0,5$ s la relación espectral (v. sección 3) disminuye al aumentar la compacidad del suelo.

3. INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DEL TERRENO SOBRE LOS DIFERENTES PARAMETROS QUE DEFINEN LA ACCION SISMICA

Los siguientes resultados han sido obtenidos en nuestro estudio:

La figura 1 muestra la probabilidad de sobrepasar

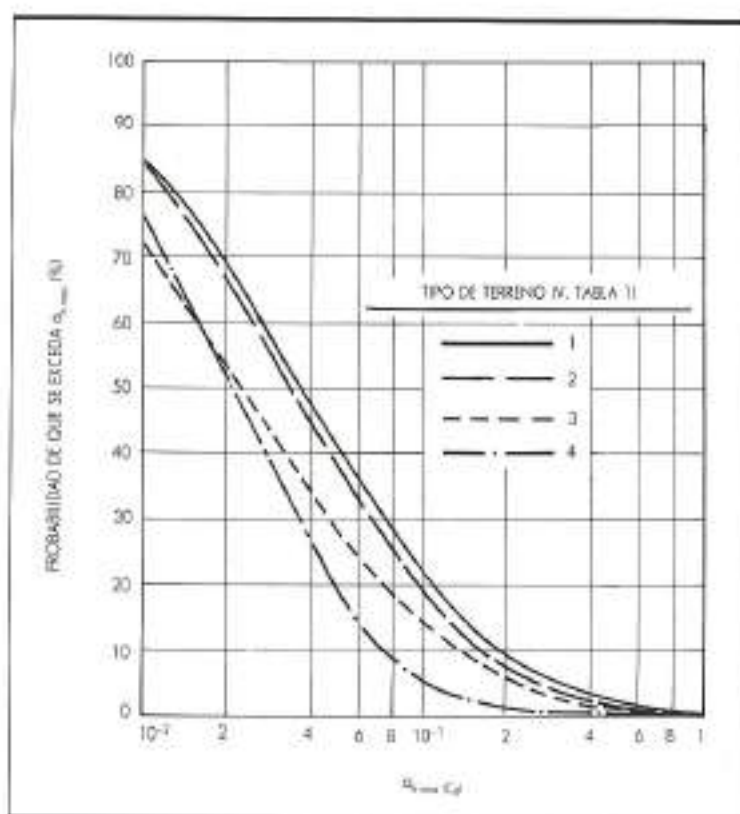


FIGURA 1. Probabilidad de exceder cada aceleración de pico.

MMI	C
II \leq I < IX	1
II \leq I < IV	0,35
IV \leq I < V	0,40
V \leq I < VI	0,67
VI \leq I < VII	1,07
VII \leq I < VIII	4,70
VIII \leq I < IX	7,98

TABLA 2.

cada aceleración de pico horizontal. Para cada tipo de suelo existe una curva diferente.

La escala de abscisas C depende de la Intensidad de Mercalli Modificada, según indica la tabla 2.

Vemos que, para un riesgo sísmico dado, la aceleración de pico horizontal aumenta con la dureza del terreno, especialmente desde el tipo de suelo 4 al 2. Esto también es cierto para la aceleración vertical (v. Jaramillo, 1983).

El período de resonancia de aceleraciones es el período que corresponde a la máxima aceleración del espec-

tro. Aunque hay alguna dependencia con el coeficiente de amortiguación, esta dependencia es pequeña (v. Jaramillo, 1983).

La figura 2 muestra la probabilidad de sobrepasar cada período de resonancia de aceleración horizontal. Existe una curva diferente para cada tipo de suelo. Se observa que, para una probabilidad dada, el período de resonancia para aceleración horizontal aumenta al disminuir la consistencia del terreno, especialmente al pasar del tipo 3 al 4. También se incrementa con la distancia a la falla (v. Justo et al., 1977). Resultados similares fueron alcanzados por Seed e Idriss (1982). La duración ha sido definida según Trifunac y Brady (1975).

La figura 3 nos muestra la probabilidad de sobrepasar cada duración de aceleración horizontal. Existe una curva diferente para cada tipo de suelo. Al igual que ocurre con el período de resonancia, la duración de la aceleración horizontal aumenta al disminuir la consistencia del terreno, para un determinado riesgo sísmico. La duración decrece también algo al aumentar la Intensidad (MM) (Jaramillo, 1983).

El período de resonancia de velocidades se define como el de aceleraciones, pero referido al espectro de velocidad relativa. La figura 4 muestra la probabilidad de sobrepasar cada período de resonancia de velocidad horizontal. Este período de resonancia aumenta al disminuir la consistencia del terreno para una determinada probabilidad. Aumenta también con el coeficiente de amortiguación (Jaramillo, 1983).

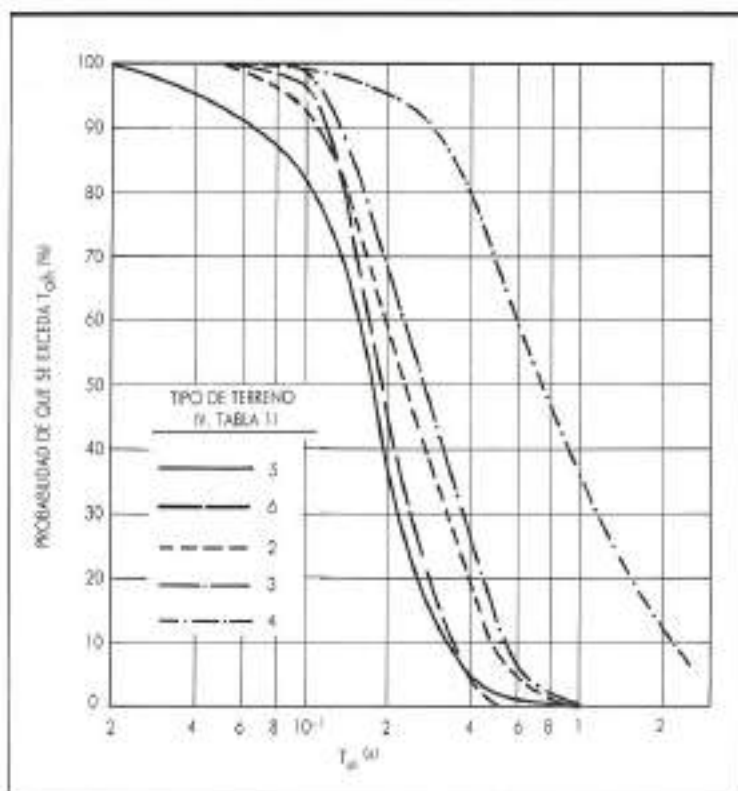


FIGURA 2. Probabilidad de exceder cada período de resonancia de aceleración horizontal.

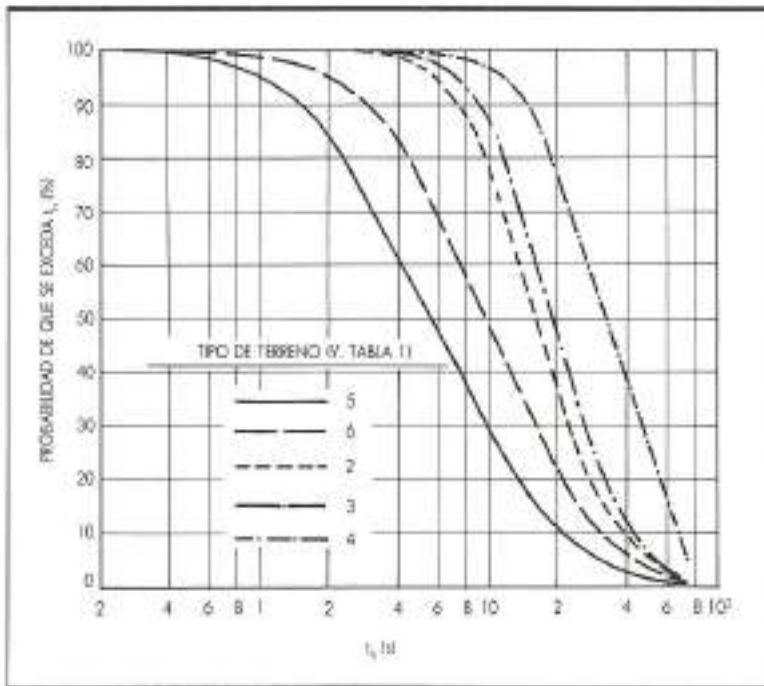


FIGURA 3. Probabilidad de exceder cada duración de la aceleración horizontal.

Podemos observar que el período de resonancia de velocidades es mucho mayor que el de las aceleraciones. Una estructura se verá más afectada por los contenidos de frecuencia que aparecen en los diagramas de aceleración o velocidad, según sea su período fundamental.

Aunque la dependencia sea menos fuerte, la misma tendencia se observa para períodos de resonancia de aceleración y velocidad verticales, así como para la duración (vertical).

Las relaciones espectrales para aceleración horizon-

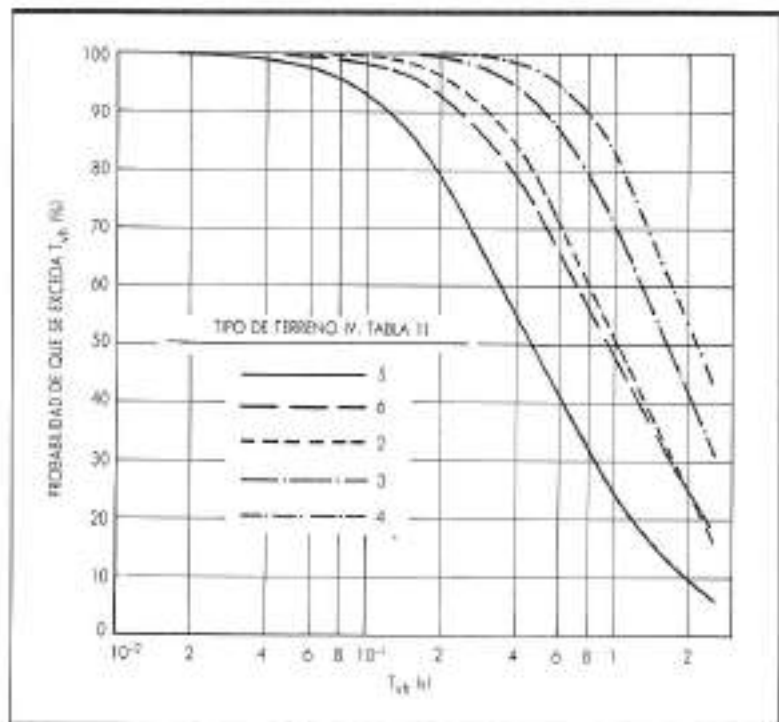


FIGURA 4. Probabilidad de exceder cada período de resonancia de velocidad horizontal.

tal (SA/a_{max}) son casi independientes de la clase de suelo. Por otro lado, para aceleración vertical, la relación generalmente decrece al disminuir la consistencia del terreno.

La mayor parte de lo que aquí se indica es consecuente con el estado del conocimiento recogido en el apartado 2:

Para una intensidad dada, es decir, para un daño dado, se requiere una mayor aceleración de pico en suelo duro que en suelo blando.

Un suelo profundo y blando tiene un período de resonancia mayor que un suelo duro (fig. 2 y 4), y por ello afecta más a los edificios altos.

Para un terremoto dado, la duración en suelo blando será mayor (fig. 3), y el daño, generalmente, también será mayor.

La influencia del tipo de suelo en la regresión de la aceleración de pico en función de la magnitud y distancia a la falla es pequeña (v. Justo et al., 1978; Seed and Idriss, 1982; Jaramillo, 1983), como se indica en la figura 5.

4. ESTUDIO DINAMICO DE MONUMENTOS ANTIGUOS

Nuestro estudio de riesgo sísmico nos conduce a varios acelerogramas de diseño, deducidos de un catálogo de acelerogramas reales, aunque con ciertos cambios de escala.

Para comprobar la idoneidad de los acelerogramas seleccionados, algunos monumentos antiguos de Sevilla, cuyo comportamiento frente a terremotos históricos es conocido, serán sometidos a los acelerogramas de diseño.

Hasta ahora, tres monumentos mundialmente famosos de Sevilla han sido sometidos a un estudio dinámico: dos torres árabes de los siglos XII y XIII y la Catedral, comenzada a principios del siglo XV.

Una de las torres árabes es la Giralda, un minarete de 100 m de altura finalizado en 1198. Se han llevado a cabo dos estudios dinámicos: uno considerando la torre empotrada en la superficie del terreno, y el segundo discretizando un bloque de terreno de cimentación bajo la base de la torre (fig. 6). En éste segundo caso los desplazamientos son mayores y las tensiones menores. Se debe seguir este segundo procedimiento para tener un modelo realista de la torre.

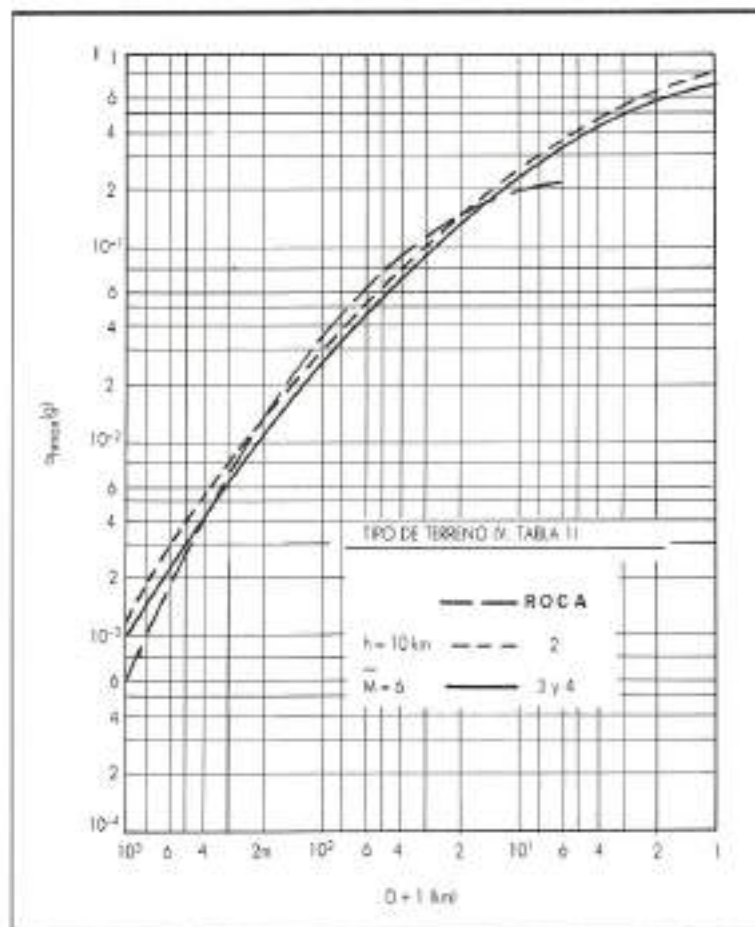


FIGURA 5. Atenuación de la aceleración horizontal de pico para diferentes terrenos en el punto de medida.

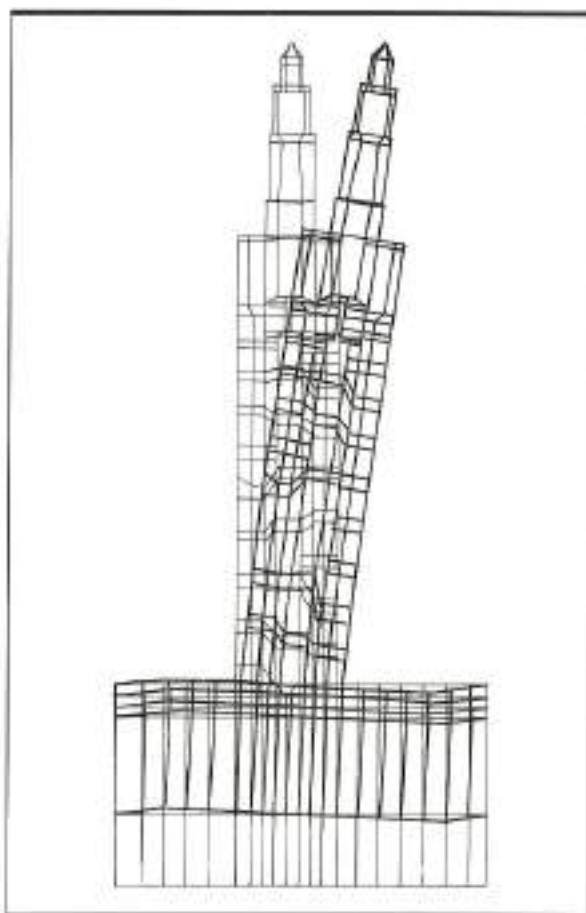


FIGURA 6. Primer modo de vibración de la Giraldotower a un terreno.

5. CONCLUSIONES

El período de resonancia de un terremoto aumenta al disminuir la consistencia y aumentar la profundidad del suelo. El comportamiento de una estructura depende fuertemente de la relación entre el período de resonancia del terremoto y el período fundamental de la estructura.

La duración también se incrementa al disminuir la consistencia del terreno (fig. 8), y esto explica el daño que a menudo se produce en suelo blando y profundo.

Para modelar una estructura para un estudio dinámico resulta importante introducir las deformaciones del terreno de cimentación.



Isidoro Sánchez, S. A.

Viviendo el Futuro



- VENTAS
- ALQUILER
- SERVICIO TECNICO
- SERVICIO TOPOGRAFICO
- CENTRO DE FORMACION Y ASESORAMIENTO TECNICO
- DIVISION INFORMATICA



Isidoro Sánchez, S. A., Topografía.

Ronda de Atocha, 16 - 28012 MADRID Tel: 467.53.63. Fax: (91) 239 22 16

LOS 4 TIPOS MAS DUROS DE LA CIUDAD

GRACIAS A EL SE ACABARON LAS CASUALIDADES

Stadip Antiagresión: Dirigido a los escaparates de cualquier tipo de comercio. Porque nadie está libre de una pedrada o un balonazo. Por eso, en caso de rotura, el vidrio permanece en el bastidor, sin acceso al interior.



EL DURO MAS TIERNO CON LAS PERSONAS

Stadip Seguridad Física: Dos lunas de alta seguridad que, en caso de rotura, no permiten que los trozos de vidrio se desprendan, evitando el riesgo de accidente.

Especialmente indicado para el hogar, escuelas, guarderías, centros deportivos, centros sanitarios...



IMPETURBABLE INCLUSO ANTE LAS BALAS

Stadip Antibala: Obligatorio para los establecimientos en los que se manejan fondos, drogas u objetos de gran valor. No sólo impide el paso de las balas, sino que evita la proyección de esquirlas de vidrio al interior del local. Imprescindible en instalaciones policiales y militares.



EL AZOTE DE LOS AMIGOS DE LO AJENO

Stadip Antirrobo: El que exige la ley para joyerías o locales continuamente expuestos a robos. Tres lunas de alta resistencia, capaces de hacer frente a ataques reiterativos.

El primer vidrio diseñado para decir adiós de una vez por todas al riesgo de robo.

