

COMENTARIOS AL ARTICULO: "Análisis sísmico de conductos subterráneos",

de G. Labrador Toquero, publicado en
la Revista de Obras Públicas de abril de 1978

Por M. A. HACAR BENITEZ y
E. ALARCON ALVAREZ
Drs. Ingenieros Caminos, Canales y Puertos

Además de felicitar al autor por la claridad y justeza de su exposición, estas líneas pretenden añadir unos comentarios a sus observaciones, que aporten criterios complementarios.

Si una onda incide con un ángulo ψ sobre la estructura lineal en estudio las leyes de desplazamientos transversales y longitudinales son

$$y = A \cos \psi \sin \left[\pi x / \left(\frac{\lambda}{2 \cos \psi} \right) \right]$$

$$u = A \sin \psi \sin \left[\pi x / \left(\frac{\lambda}{2 \cos \psi} \right) \right]$$

a partir de las cuales se pueden calcular las deformaciones como suma de las de flexión ϵ_1 y compresión ϵ_2

$$\epsilon = \epsilon_1 + \epsilon_2 = \frac{\pi A}{\lambda} \left(\frac{\pi}{3} \cos^2 \psi + 2 \sin \psi \cos \psi \right).$$

El valor máximo es

$$\epsilon = 5,2 \frac{A}{\lambda}$$

que puede utilizarse como criterio de diseño.

Para que la teoría de vigas sea aplicable $\lambda \geq 6 h$ de modo que la longitud de onda más desfavorable sería

$$\lambda = 6 h$$

Por otro lado si limitamos ϵ en un valor que permita aplicar la hipótesis elástica completa-
mos la acotación.

Así, si

$$\epsilon \leq 10^{-4}$$

$$A \leq \frac{6}{5,2} 10^{-4} h$$

Por ejemplo, si $h = 3$ m;

$$A \leq \frac{0,6 \times 3}{5,2} \text{ mm} = 0,346 \text{ mm};$$

sería la máxima amplitud de onda resistible en las citadas condiciones.

En (1) y (2) pueden obtenerse datos sobre las relaciones $(A - \lambda)$ en diversos tipos de terrenos. Haciendo la hipótesis $6 H = \lambda$ dichas relaciones son del tipo:

a) En suelos poco rígidos (arcillas blandas, arenas sueltas)

$$A_1 = 8 \times 10^{-6} H^{1,86}$$

b) En suelos rígidos o densos

$$A_2 = 1,16 \times 10^{-6} H^{1,95}$$

En el ejemplo del autor, $h = 3$ m de modo que

$$\left\{ \begin{array}{l} A_1 = 8 \cdot 3^{1,86} \cdot 10^{-6} \text{ m} = 61,7 \cdot 10^{-3} \text{ mm} < 346 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \\ A_2 = 1,16 \cdot 3^{1,95} \cdot 10^{-6} \text{ m} = 9,8 \cdot 10^{-3} \text{ mm} < 346 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \end{array} \right.$$

Es decir la deformabilidad sería suficiente.

Otro punto de interés radica en la deformación de la sección transversal. Existen diversos estudios en castellano sobre este problema. En (3), (4) y (5) usando un enfoque semejante al utilizado en los análisis de interacción terreno-estructura en el campo de la frecuencia y usando el túnel como subestructura lo que implica mayor exactitud para túneles someros ya que la deconvolución del registro en superficie introduce errores. En (6) se estudia un caso real con medios analíticos e integración paso a paso.

Una regla práctica y sencilla para este problema es (ver (1), (2)).

$$0,75 \frac{H}{C_s^2} \leq \frac{1}{5000} \left[\frac{b}{e_b} + \frac{h}{e_h} \right]$$

donde valores típicos de C_s son:

Tipo de suelo	C_s (m/seg)
Suelo granular compacto	300
Arena arcillosa	150
Arcilla	60
Arcilla densa	30

NOTACION

A: amplitud de la onda incidente.
H: potencia del estrato de suelo.
 C_s : celeridad de las ondas S de distorsión.
b: anchura del túnel.
 e_b : espesor de la pared horizontal del túnel.
 e_h : espesor de la pared vertical del túnel.
h: altura del túnel.

u: movimiento longitudinal de una rebanada del túnel.

y: movimiento transversal de una rebanada del túnel.

ϵ : deformación normal.

λ : longitud de onda.

ψ : ángulo de incidencia de la onda.

REFERENCIAS

1. Hacar M. y Alarcón E. Dinámica aplicada a las estructuras. Tomo II Cap. 23.
2. Kussel: "Earthquake design criteria for subways" ASCE. J. Struct. Div. Jun. 1969.
3. Alarcón E.: "Efectos dinámicos aleatorios en túneles y obras subterráneas". Fundación Juan March. 1977.
4. Alarcón E. y García Solís M.: "Efectos dinámicos aleatorios en túneles". Simposio nacional de rocas blandas Madrid 1977.
5. Martín A. y Alarcón E.: "Interacción dinámica de conductos con continuos elásticos". 1.º Congreso de Ingeniería Industrial. Valencia 1977.
6. Martín A.: "Interacción de conductos con continuos elastoplásticos". Tesis doctoral E.T.S. Ing. Industriales. Sevilla Enero 1978.