

UN MODELO SIMPLIFICADO DE LA INFLUENCIA DE SEDIMENTOS POROSOS SATURADOS EN LA RESPUESTA SISMICA DE PRESAS.

M.A. Millán Muñoz & J. Domínguez Abascal
Escuela Superior de Ingenieros.
Camino de los Descubrimientos, s/n.
41092, Sevilla
E-mail: pepon@cica.es
Fax: 95 4487295

RESUMEN

La influencia de los sedimentos de fondo en la respuesta sísmica de presas es bien conocida a partir de los modelos numéricos desarrollados en los últimos años. Esta influencia depende fundamentalmente de las propiedades del sedimento y de la flexibilidad de la base del embalse, y se traduce principalmente en la absorción de parte de la energía de las ondas que se producen en el embalse durante un terremoto. En dichos modelos se considera el sedimento como un material poroelástico saturado o cuasi-saturado, obteniendo una representación rigurosa de su comportamiento, aunque con importantes limitaciones desde el punto de vista numérico: complicada implementación, alto número de variables por nodo, así como la necesidad de una discretización con un elevado número de elementos, con el consiguiente coste de modelización y tiempo de cálculo. Para reducir estos inconvenientes, se propone un modelo simplificado para el sedimento, consistente en un medio monofásico, con unas propiedades tales que represente adecuadamente el comportamiento del medio poroelástico. Se describen diferentes modelos, en los que la principal variable es la velocidad de propagación de las ondas en el medio monofásico, obteniéndose para ellos un grado diferente de aproximación al modelo riguroso, lo que permite proponer la adopción del más adecuado. Se calculan los resultados para una geometría simple de presa, con diferentes espesores de sedimentos de fondo y diferentes hipótesis de flexibilidad del fondo del embalse, teniendo en cuenta tanto el caso de sedimento saturado como el cuasi-saturado.

1.- INTRODUCCION.

El análisis de la interacción dinámica suelo - agua - estructura en la respuesta sísmica de presas, incluyendo o no sedimentos de fondo, ha sido objeto de un estudio intensivo en los últimos años. Son claves los estudios en este sentido de Fenves y Chopra (1985), Lofti (1986), Cheng (1986), Medina, Domínguez and Tassoulas (1990), Bouchaga and Tassoulas (1991) y Domínguez, Gallego and Japón (1997). A partir de todos estos estudios, se ha llegado a un conocimiento riguroso de la influencia del sedimento en el comportamiento dinámico del sistema conjunto.

2.- PROPUESTA DE MODELO SIMPLIFICADO.

Del análisis de las características físicas usuales de los sedimentos saturados de fondo de embalse, pueden obtenerse las siguientes conclusiones:

- El sedimento es un material poco compresible, con compresibilidad similar a la del agua. Por otra parte, tiene muy poca resistencia tangencial, pudiéndose considerar el efecto de las ondas es despreciable.
- La velocidad de propagación de las ondas c'_{p1} (ondas dilatacionales largas) en el sedimento son parecidas a las del agua, aunque con una ligera variación función de la frecuencia, y la velocidad de propagación de las ondas c_{p2} (ondas dilatacionales cortas) en el sedimento es mucho menor que las de las ondas c_{p1} , por lo que su efecto será poco significativo frente al de estas últimas.

Teniendo en cuenta lo anterior, el medio equivalente buscado puede definirse como un fluido, ya que éste transmite únicamente ondas dilatacionales (correspondientes a las ondas del tipo c_{p1} del medio poroso). Cabe plantearse los siguientes modelos simplificados alternativos al medio bifásico:

Modelo 1 (M1).- Medio monofásico con velocidad c igual a la velocidad c_{p1} de la onda larga del medio poroso. En el cálculo de c_{p1} se incluye el amortiguamiento que la onda sufre en el medio poroso. La velocidad será por tanto compleja y variable con la frecuencia.

Modelo 2 (M2).- Medio monofásico con velocidad c independiente de la frecuencia. Teniendo en cuenta que, para el caso dinámico con las frecuencias que se manejan en este problema, el drenaje de la matriz porosa es mínimo y el medio poroso se comporta como si fuese no drenado. El cálculo de la velocidad de la onda en dicho medio se realiza de la siguiente forma:

$$e^2 = \frac{Au + 2G'}{p} \quad p = (1 - f)P_s + \rho p f \quad \lambda_u = \frac{2G'v_u}{1 - 2v_u}$$

donde v' : coeficiente de Poisson no drenado, G' : módulo de elasticidad transversal complejo obtenido a partir del G real con la expresión $e = C/(1 + 2\delta)$; δ siendo δ el amortiguamiento, supuesto igual al 5%, f : porosidad, P_s y P_f : densidades de la matriz sólida y del fluido, respectivamente. El coeficiente de Poisson no drenado v_{11} puede obtenerse de la expresión:

$$v_u = \frac{\frac{2G'v}{1-2v} - (Q+R)}{2 \frac{G'(Q-R) + R}{1-2v}}$$

donde v : coeficiente de Poisson drenado. Q y R : constantes de Biot, G : módulo de elasticidad transversal real.

3.- RESULTADOS.

Modelo

Se ha realizado, con elementos de contorno parabólicos, un modelo simplificado del sistema presa de gravedad - embalse sedimento - cimentación. Las geometrías de presa y sedimento, así como las propiedades de los materiales, se incluyen en la Figura I y en la Tabla I. Se dispone una capa de sedimentos de espesor $a.H.$ que tomará los valores $0.1H$, $0.2H$ y $0.3H$.

Agua del embalse	velocidad de onda	$e = 1,440 \text{ m/s}$
	densidad	$\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3$
Hormigón de la presa	mod. elast. transversal	$G = 1.149 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
	mod. Poisson	$\nu = 0.20$
	densidad	$\rho = 2.483 \text{ kg/m}^3$
	amortiguamiento	$\delta = 0.05$
Material de cimentación (granito)	mod. elast. transversal	$G = 1.149 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
	mod. Poisson	$\nu = 0.33$
	densidad	$\rho = 2.643 \text{ kg/m}^3$
	amortiguamiento	$\delta = 0.05$
Sedimento poroelástico	mod. elast. transversal	$G = 7.7037 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
	mod. Poisson	$\nu = 0.35$
	densidad sólido	$\rho = 2.640.2 \text{ kg/m}^3$
	densidad líquido	$\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3$
	porosidad	$f = 0.6$
	cte. disipación	$b = 3.5 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
	ctes Biot sedimento saturado	$Q = 8.2944 \times 10^7 \text{ N/m}^2$
		$R = 1.24416 \times 10^7 \text{ N/m}^2$
	ctes Biot sedimento parcialm. saturado 99.5 %	$Q = 8.2944 \times 10^7 \text{ N/m}^2$
$R = 1.24416 \times 10^7 \text{ N/m}^2$		

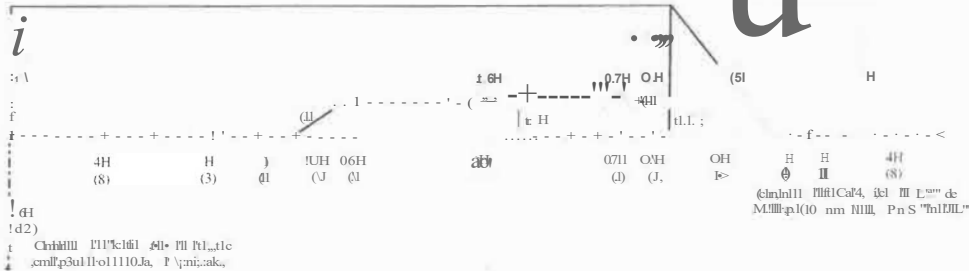


Fig. 1. Modelo de elementos de contorno para el sistema Presa-embalse-sedimento.

Como respuesta del sistema, se representa el movimiento relativo de la coronación de la presa con respecto al suelo (horizontal y vertical) en relación a la frecuencia (normalizada con la frecuencia fundamental de la presa con embalse vacío y base rígida). Se han considerado dos tipos de cimentación: base rígida y semiespacio viscoelástico uniforme. El movimiento del suelo en este último caso se ha considerado producido por ondas de corle S (movimiento horizontal del suelo) o bien ondas de presión P (movimiento vertical del suelo). propagándose ambas verticalmente

Resultados del cálculo y conclusiones.

En las Fig. 2 y 3 que se incluyen, pueden observarse algunas de las aproximaciones obtenidas para cada modelo de sedimento en cada uno de los casos estudiados. En general, puede verse que dicha aproximación es bastante buena con los dos modelos de medio monofásico escalar. con errores pequeños respecto al modelo poroelástico, salvo casos concretos. La influencia de las variables consideradas (grado de saturación del sedimento, espesor del sedimento, tipo de excitación y condiciones de cimentación) en la aproximación es pequeña.

Nótese que las escalas verticales de las gráficas son diferentes. En tocios de las gráficas representadas las diferencias entre modelos se mantienen en un orden de dos o tres unidades de movimiento horizontal de coronación de la presa, magnitud muy pequeña respecto al valor de la respuesta máxima de la presa, que se situa en valores superiores a 40 para el caso representado.

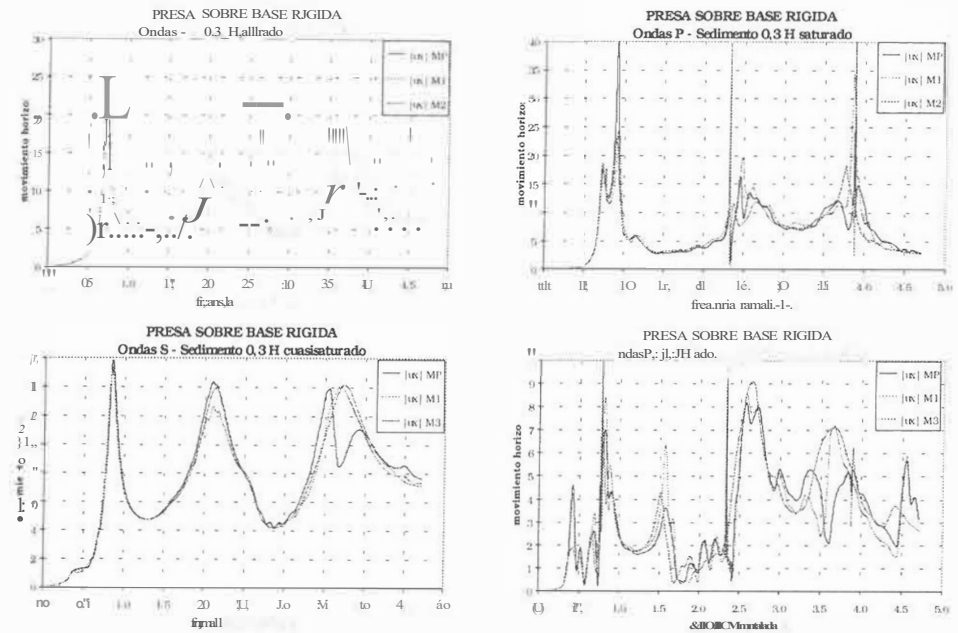


Fig. 2.- Presa sobre base rígida. Movimiento horizontal y vertical de la base. Sedimento saturado y cuasi-saturado de espesor 0.3H. (MP: mod. poroso, MI y M2: mod. simplificados.)

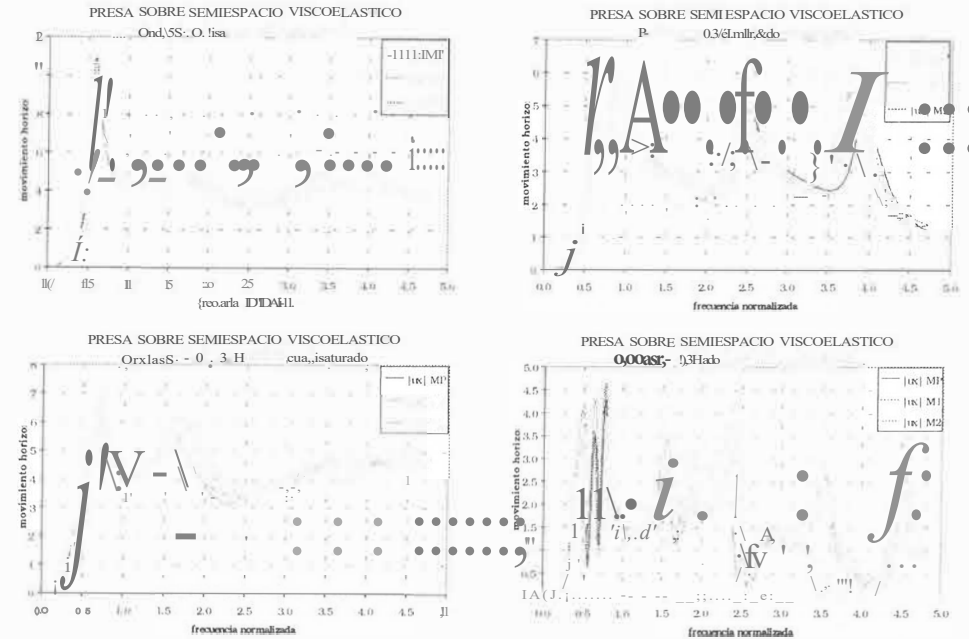


Fig. 3.- Presa sobre base deformable (semiespacio infinito). Movimiento horizontal y vertical de la base. Sedimento saturado y cuasi-saturado de espesor 0.3H. (MP: mod. poroso, MI y M2: mod. simplificados.)

La conclusión fundamental del presente trabajo es que se dispone de un modelo simple en 2 dimensiones que es capaz de representar adecuadamente el comportamiento del sedimento poroelástico en la respuesta sísmica de presas. Cualquiera de los dos modelos estudiados puede utilizarse, con resultados muy parecidos entre sí y gran concordancia con el modelo poroelástico.

BIBLIOGRAFIA

1. Bouchaga, S and Tassoulas, J.L. (1991a). "Seismic analysis of gravity dams. I: Modelling of sediments." *J. Engrg. Mech.*, ASCE, 117(8), 1826-1837.
2. Bouchaga, S and Tassoulas, J.L. (1991 a)...Seismic analysis of gravity dams. II: Effects of sediments." *J. Engrg. Mech.*, ASCE, 117(8), 1839-1850.
3. Cheng, A. H.-D. (1986). 'Effects of sediments on earthquake induced reservoir hydrodynamic response." *J. Engrg. Mech.*, ASCE, 112(7), 654-665.
4. Dominguez, J. and Gallego, R. (1997) 'Effects of porous sediments on seismic response of concrete gravity dams". *J. Engrg. Mech.*, ASCE, 123(4), 302-310.
5. Fenves, G. and Chopra, A.K. (1985). "Effects of reservoir bottom absorption and dam-water-foundation rock interaction on frequency response functions for concrete gravity dams." *Earthquake Engrg. Struct. Dyn.*, 13(1), 13-31.
6. Lofti, V. (1986). "Analysis of the response of dams to earthquakes." *Geotech. Engrg. Rep. GR86-2*, Dept. of Civ. Engrg., Univ. of Texas, Austin, Tex.
7. Medina, F., Dominguez, J. and Tassoulas, J.L. (1990). "Response of dams to earthquakes including effects of sediments." *J. Engrg. Mech.*, ASCE, 116(1), 3108-3121.

AGRADECIMIENTOS: A la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología por los proyectos PB96-1380 y PB96-1322-C03-01.