

Federación
Iberoamericana
de Ingeniería
Mecánica



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA

IX Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica

17 – 20 de Noviembre de 2009

Las Palmas de Gran Canaria – Islas Canarias – España



cibim9





IX CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA MECÁNICA

17 - 20 de noviembre de 2009

Las Palmas de Gran Canaria

LIBRO DE PONENCIAS



**Colegio Oficial de
Ingenieros Industriales de Canarias**

Depósito legal: GC - 1208 - 2009
ISBN.: 978 - 84 - 692 - 8516 - 9

Comité Ejecutivo

Presidente

D. Roque Calero Pérez

Miembros

D. Pedro Hernández Castellano
D. José Antonio Carta González
Dña. María Dolores Marrero Alemán
D. Oscar Martel Fuentes
D. Mario Monzón Verona
D. Alejandro Yáñez Santana

Comité Científico

Dr. Horacio Aguilar	UNSJ	Dr. Vicente Henríquez Concepción	ULPGC
Dr. Jorge Aisa Arenaz	UNIZAR	Dr. Pedro M. Hernández Castellano	ULPGC
Dr. Francisco Alba Juez	UNSJ	Dr. María Jesús López Boada	UC3M
Dr. José Albelda Vitoria	UPV	Dr. Beatriz López Boada	UC3M
Dr. Luis Álvarez Álvarez	ULPGC	Dr. Orlando Maeso Fortuny	ULPGC
Dr. Enrique Amezua San Martín	EHU	Dr. M. Dolores Marrero Aleman	ULPGC
Dr. Francisco Aparicio Izquierdo	UPM	Dr. Oscar Martel Fuentes	ULPGC
Dr. Mariano Artés Gómez	UNED	Dr. Raúl Martín García	UCA
Dr. Rafael Avilés Gonzalez	EHU	Dr. Miguel Martínez Melgarejo	ULPGC
Dr. Juan José Aznárez González	ULPGC	Dr. Vicente Mata Amela	UPV
Dr. Luis Baeza González	UPV	Dr. Julia C. Mirza Rosca	ULPGC
Dr. Javier Ballester Castañer	UNIZAR	Dr. Mario D. Monzón Verona	ULPGC
Dr. Paulo Bartolo	IP LEIRIA	Dr. José Luis Ocaña Moreno	UPM
Dr. Nizardo Benitez Vega	ULPGC	Dr. José Ignacio Pedrero Moya	UNED
Dr. Antonio Besa González	UPV	Dr. Osvaldo Penisi	UNSJ
Dr. Ana M ^a Blanco Marigorta	ULPGC	Dr. Jesús Pintor Borobia	UPNA
Dr. Roque A. Calero Pérez	ULPGC	Dr. José Manuel Quintana Santana	ULPGC
Dr. Ana M. Camacho López	UNED	Dr. Alejandro Ramos Martín	ULPGC
Dr. Salvador Cardona Foix	UPC	Dr. José Luis San Román García	UC3M
Dr. José Antonio Carta González	ULPGC	Dr. Manuel A. Sanchez	UNSJ
Dr. Marco Ceccarelli	UNICAS	Dr. Manuel Sanchez Carrilero	UCA
Dr. Francisco Chirino Godoy	ULPGC	Dr. Ángel María Sánchez Pérez	UPM
Dr. Luis Conde Cid	ULPGC	Dr. Carlos Santolaria Morros	UNIOVI
Dr. Antonio Crespo Martínez	UPM	Dr. Miguel Angel Sebastián Pérez	UNED
Dr. Juan Ignacio Cuadrado Iglesias	UPV	Dr. José Enrique Tarancón Caro	UPV
Dr. Quim de Ciurana i Gay	UDG	Dr. Manuel Tur Valiente	UPV
Dr. Silvia De la Flor López	URV	Dr. Francisco Valero Chuliá	UPV
Dr. Vicente Díaz López	UC3M	Dr. Pedro Vera Luna	UPV
Dr. Jesús Félez Mindán	UPM	Dr. José Miguel Veza Iglesias	ULPGC
Dr. Angel Fernández Cuello	UNIZAR	Dr. Fernando Viadero Rueda	UNICAN
Dr. Esteban Fernández Rico	UNIOVI	Dr. Ricardo Vijande Díaz	UNIOVI
Dr. Francesc Ferrando Piera	URV	Dr. José Antonio Vilán Vilán	UVIGO
Dr. F. Javier Fuenmayor Fernández	UPV	Dr. Joan Vivancos Calvet	UPC
Dr. Jesús Fuentelsaz Gallego	UNIZAR	Dr. Antonio Vizán Idoipe	UPM
Dr. Jaime González Hernández	ULPGC	Dr. Alejandro Yáñez Santana	ULPGC
Dr. Carlos Guevara	UNSJ		

METODOLOGIA DE CICLO DE VIDA PARA EDIFICAÇÕES: AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE CASO DE ANÁLISE COMPARATIVA ENERGÉTICA E AMBIENTAL.

Nascimento, M. A., Torres, E. A.

Pág. 07 - 253

08 - Sistemas de representación - CADPág. 08 - 1

ELABORACIÓN DE UN ALGORITMO PARA LA APLICACIÓN DE UN MÉTODO GEOMÉTRICO DE DISEÑO DE ÁLABES

Rodríguez Velazquez O.E., Pietersz Carrizo F.

Pág. 08 - 2

09 - EstructurasPág. 09 - 1

FORMULACIÓN EXACTA DE LOS COEFICIENTES DE RIGIDEZ Y TRANSMISIÓN EN BARRAS IPE DE SECCIÓN VARIABLE

Enrique J. Nieto García , Beatriz Hortigón Fuentes , Fernando Fernández Ancio

Pág. 09 - 2

ANÁLISIS DEL ERROR DEL PROCEDIMIENTO DE NUDOS FICTICIOS EN BARRAS IPE DE SECCIÓN VARIABLE

Nieto García, E. J. , Ordóñez Sánchez, M.

Pág. 09 - 10

OPTIMIZACIÓN DE ESTRUCTURAS A TRAVÉS DE DISEÑO CONCEPTUAL PLÁSTICO Y NO LINEALIDAD GEOMÉTRICA

Fernández Ancio, F., Nieto García, E.J., Hortigón Fuentes, B.

Pág. 09 - 18

RESISTENCIA A COMPRESION DE TUBOS FABRICADOS CON METAL EXPANDIDO

Dimas Smith, Carlos Graciano, Gabriela Martinez

Pág. 09 - 26

SIMULACIÓN MEDIANTE MEF DEL COMPORTAMIENTO DE UNA TORRE DE ALTA TENSIÓN AL SER MODIFICADA SU ESTRUCTURA.

Chagoyen Méndez, C. A., Pérez de la Paz, L., Chagoyen Méndez, E. L. Illana Martos, A. Calvente Márquez, L. M.

Pág. 09 - 34

DISEÑO DE VIVIENDAS SISMORRESISTENTES DE ADOBE REFORZADO

Torrealva Dávila D. , Solís Muñoz, M. , Espinoza Y., Jaramillo Morilla, A. , Morell Sastre, J. , Vargas Neumann, J.

Pág. 09 - 43

DETERMINACIÓN DE LAS DEFLEXIONES DE LÁMINAS DE METAL EXPANDIDO SOMETIDAS A CARGAS TRANSVERSALES

Matute, José Ángel, Graciano, Carlos, Martínez, Gabriela

Pág. 09 - 51

COMPORTAMIENTO PLÁSTICO DE BARRAS DE ACERO CORRUGADO EN EL ENSAYO DE ROTURA A TRACCIÓN

Beatriz Hortigón Fuentes, Enrique J. Nieto García, Fernando Fernández Ancio

Pág. 09 - 59

FALLO PROGRESIVO DE UNIONES ADHESIVAS EN MATERIAL COMPUESTO

Javier San Millán Fiel, Lourdes Vázquez Arribas, Francisca Martínez Hergueta

Pág. 09 - 67

ESTUDIO Y SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO VIBRATORIO DE UN FORJADO DE MATERIAL COMPUESTO

Fernando Viadero Rueda, Alfonso Fdez del Rincón, Pablo García Fernández, Ana M. de-Juan de Luna, Ramón Sancibrían Herrera, Diego Gómez Cisneros

Pág. 09 - 75

DISEÑO RESISTENTE A TORSIÓN EN UN SEGUIDOR SOLAR DE 160 M² DE VELA

Carazo Álvarez J.D., Jiménez de Cisneros y Fonfría J.J., Carazo Álvarez D., Camacho Sampedro J.

Pág. 09 - 83

DISCUSIONES SOBRE UNIONES ARTICULADAS CON CAPACIDAD DE ROTACIÓN (PINNED CONNECTIONS)

Jiménez de Cisneros y Fonfría J. J., Carazo Álvarez D., Carazo Álvarez J. D.

Pág. 09 - 91

INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS DINÁMICA DEL EMBALSE EN LA RESPUESTA SÍSMICA DE PRESAS BÓVEDA

Fidel García, Juan J. Aznárez y Orlando Maeso

Pág. 09 - 99

MODELO SIMPLE PARA EL CÁLCULO DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE UNA ESTRUCTURA ENTERRADA

Aznárez González J.J., Santana Naranjo A., Padrón Hernández L.A., Maeso Fortuny O.

Pág. 09 - 106

DEFORMACIÓN PLÁSTICA EN NODOS ESTRUCTURALES DE PLATAFORMAS MARINAS

Félix Hernández, J. L. y Santos Reyes, J. R.

Pág. 09 - 114

COMPARAÇÃO ENTRE ESFORÇOS DEVIDOS AO VENTO EM TORRES DE TRANSMISSÃO SEGUNDO DIFERENTES METODOLOGIAS

Hermes Carvalho, Gilson Queiroz, Ramón M. Valle, Carlos A. M. do Nascimento, Thadeu A. Furtado

Pág. 09 - 122

10 - Mecatrónica - electromecánica - automáticaPág. 10 - 1

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE SERVO MOTORES LINEARES EM POSICIONADORES DE PRECISÃO SUBMICROMÉTRICA

Gilva Altair Rossi de Jesus , José Maria Galvez

Pág. 10 - 2

UM SISTEMA DE TEMPORIZAÇÃO, AUTOMAÇÃO E CONTROLE DE UMA AUTOCLAVE PARA USO CLÍNICO UTILIZANDO UM CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

Gleberon Marques Humia, José Maria Galvez, Gilva Altair Rossi de Jesus

Pág. 10 - 9

CONTROL DE MOVIMIENTO EN TIEMPO REAL DE UNA PLATAFORMA XY

Curay Julio C., Tafur Julio C.

Pág. 10 - 17

INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS DINÁMICA DEL EMBALSE EN LA RESPUESTA SÍSMICA DE PRESAS BÓVEDA

Fidel García, Juan J. Aznárez y Orlando Maeso

Instituto Universitario de Sistemas Inteligentes y Aplicaciones Numéricas en Ingeniería (SIANI).
Edificio Central del Parque Científico y Tecnológico. Campus Universitario de Tafira.
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 35017 Las Palmas de Gran Canaria. España.
fgarcia@dic.ulpgc.es, jjaznarez@siani.es, omaeso@siani.es

Área Temática: Estructuras

RESUMEN

Utilizando un modelo MEC 3-D previamente desarrollado, se estudia la influencia de diversos factores en el comportamiento dinámico de una presa bóveda: nivel de llenado del embalse y presencia de sedimentos de fondo. El modelo incluye los efectos de interacción suelo-agua-sedimento estructura, la naturaleza ondulatoria de la excitación y los fenómenos de amortiguamiento por radiación. Presa y suelo se modelan como medios viscoelásticos. El agua como un medio escalar compresible. El sedimento como medio poroelástico según la teoría de Biot. Las interacciones entre presa, suelo, agua y sedimento se establecen a través de ecuaciones de compatibilidad y equilibrio. El análisis se realiza en el dominio de la frecuencia.

PALABRAS CLAVE: Presas bóveda, dinámica de estructuras, ingeniería sísmica, interacción suelo-agua-sedimentos-estructura, elementos de contorno

INTRODUCCIÓN

Entre los factores que afectan la respuesta sísmica de una presa bóveda destacan aquellos que tienen que ver con: los efectos de interacción suelo-estructura; la naturaleza espacial y temporal de la excitación sísmica; y todos aquellos que afectan al campo de presiones hidrodinámicas en el embalse y, por tanto, al estado de presiones en el paramento aguas arriba de la presa.

Dentro del tercer grupo podemos citar la compresibilidad del agua, la geometría del embalse, su nivel de llenado, así como las propiedades mecánicas del vaso rocoso y la posible presencia de sedimentos de fondo en el embalse, por cuanto modifican los efectos de interacción dinámica entre la masa de agua con el suelo y con la propia presa. La importancia de algunos de estos factores ha sido analizada en diferentes trabajos: Hall y Chopra [1,2], Fennes y Chopra [3], Fok y Chopra[4], Tan y Chopra [5], Domínguez y Maeso [6], Maeso et al. [7,8] y Aznárez et al. [9].

En esta comunicación, los autores, haciendo uso de un modelo numérico desarrollado previamente [6-9,10] basado en el Método de los Elementos de Contorno (MEC), concentran su atención en el estudio de la influencia del nivel de llenado del embalse en el comportamiento dinámico de la presa y la existencia de una capa de sedimentos de fondo en el embalse.

El nivel de llenado del embalse juega un doble papel. Por un lado afecta a la masa global del conjunto. Por otro, altera la geometría del embalse. El resultado es que el comportamiento dinámico global, en términos de las frecuencias propias y las amplificaciones de respuesta correspondientes, se ve sensiblemente alterado por la altura del embalse, y así queda reflejado en los resultados obtenidos.

Por otro lado, durante el proceso de sedimentación y debido a la acción de la gravedad, los sedimentos de fondo pueden llegar a adquirir cierto grado de consolidación creciente con la profundidad. Por tanto el sedimento es un material con unas propiedades que pueden ser variables con la profundidad, y que son distintas a las del agua del embalse. La influencia del sedimento es doble: por un lado su presencia modifica la geometría del fondo; por otro, el sedimento absorbe energía de las ondas hidrodinámicas y por tanto aumenta el grado de amortiguamiento del sistema acoplado presa-suelo-embalse.

Dependiendo de su nivel de consolidación, el sedimento puede ser modelizado como un medio escalar con densidad creciente con la profundidad, o como un medio poroelástico saturado cuyo esqueleto ha adquirido cierta capacidad elástica. En este trabajo, y siguiendo trabajos previos de los mismos y otros autores (Cheng [13], Bougacha y Tassoulas [14], Domínguez et al. [15], Maeso et al. [8] y Aznárez et al. [9]) el comportamiento dinámico del sedimento se asimila al de medio poroelástico saturado o cuasi-saturado de acuerdo a la formulación de Biot [16]. Todos estos trabajos coinciden en que los sedimentos de fondo, en función de su compresibilidad, pueden modificar sensiblemente el comportamiento dinámico global, especialmente en el caso de sedimentos parcialmente saturados.

En esta comunicación se presenta un estudio de la influencia del nivel de llenado del embalse en la respuesta sísmica de una presa bóveda. Se realiza un estudio de la sensibilidad de la respuesta de la presa ante el nivel de agua en dos circunstancias distintas: embalse sin sedimento, y embalse con una capa de sedimento cuasisaturado cuyo espesor es la quinta parte de la altura máxima de la presa. Para ello se hace uso de un modelo de Elementos de Contorno. El modelo incluye la realidad tridimensional del problema, los efectos de interacción suelo-agua-estructura, la naturaleza ondulatoria de la excitación y los fenómenos de amortiguamiento por radiación. La presa y el suelo se modelan como medios viscoelásticos lineales. El agua como un medio compresible y comportamiento lineal. La posible existencia de sedimentos de fondo en el embalse se ha incluido a través de una región poroelástica. Las interacciones entre las diferentes regiones (presa, suelo, agua, sedimento) se establecen a través de ecuaciones de compatibilidad y equilibrio.

MODELO ACOPLADO DE ELEMENTOS DE CONTORNO

Para el análisis se ha elegido la presa de Morrow Point (de 142 m de altura) que ya ha sido estudiada anteriormente por diferentes autores. Datos sobre la geometría de la presa y el embalse pueden encontrarse en [2]. La presa de hormigón y el suelo de cimentación se consideran medios viscoelásticos lineales e isótropos. El hormigón tiene densidad $\rho = 2481.5 \text{ kg/m}^3$, coeficiente de Poisson $\nu = 0.2$, módulo de elasticidad transversal $G = 11500 \text{ MPa}$, y coeficiente de amortiguamiento interno $\beta = 0.05$. El suelo tiene una densidad $\rho = 2641.65 \text{ kg/m}^3$, y el mismo módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson y amortiguamiento interno que el hormigón. El agua está caracterizada por la velocidad de propagación de las ondas de presión $c = 1438 \text{ m/s}$ y una densidad $\rho^a = 1000 \text{ kg/m}^3$.

En los problemas que incluye la presencia de sedimentos, éstos tiene un espesor de 28 m (la quinta parte de la altura de la presa). El sedimento se ha considerado como un medio poroelástico con porosidad $\phi = 0.6$, módulo de elasticidad transversal del esqueleto sólido $G = 7.7037 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, coeficiente de Poisson $\nu = 0.35$, coeficiente de amortiguamiento interno del esqueleto $\beta = 0.05$, densidad del esqueleto drenado $\rho^s = 2640 \text{ kg/m}^3$, densidad del agua intersticial $\rho^a = 1000 \text{ kg/m}^3$, y constantes de Biot $b = 3.5316 \times 10^6 \text{ Ns/m}^4$ (constante de disipación que corresponde a una permeabilidad de 10^{-3} m/s), $Q = 8.2944 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ y $R = 1.24416 \times 10^9 \text{ N/m}^2$, correspondiendo estos valores a un sedimento completamente saturado de agua. En todos los casos mostrados los sedimentos se han considerado parcialmente saturados con grado de saturación del 99.5%, viniendo dado el coeficiente de compresibilidad del fluido por la fórmula de Verruijt [17]. Para el grado de saturación considerado se obtienen los valores $Q = 8.9328 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ y $R = 1.3399 \times 10^8 \text{ N/m}^2$.

En el agua se ha empleado una solución fundamental que satisface automáticamente la condición de presión nula en su superficie, por lo que sólo es necesario discretizar las interfases agua-presa, agua-terreno y agua-sedimento.

La discretización de elementos de contorno empleada es como la mostrada en la figura 1. Se han usado elementos de contorno cuadriláteros y triangulares, de nueve y de seis nodos, respectivamente, con aproximación parabólica tanto de la geometría como de las variables en el contorno.

La excitación sísmica en el dominio de la frecuencia se modela a través de un tren de ondas armónicas SH que inciden hacia la presa desde el infinito con ángulo de incidencia vertical (Fig. 1a). Las ecuaciones del MEC se plantean en el suelo en términos del campo difractado [10], que satisface automáticamente las condiciones de radiación por lo que a cierta distancia de la presa se habrá amortiguado. Sólo es necesario, pues, discretizar superficie libre del terreno hasta una cierta distancia, que en los modelos presentados es del orden de 2.5 veces la altura de la presa.

El tamaño de los elementos de contorno está determinado por la longitud de las ondas en cada medio. Las propiedades del sedimento empleado en este estudio fuerzan a utilizar elementos de menor tamaño para los contornos de sedimentos que para los de suelo, presa o agua.

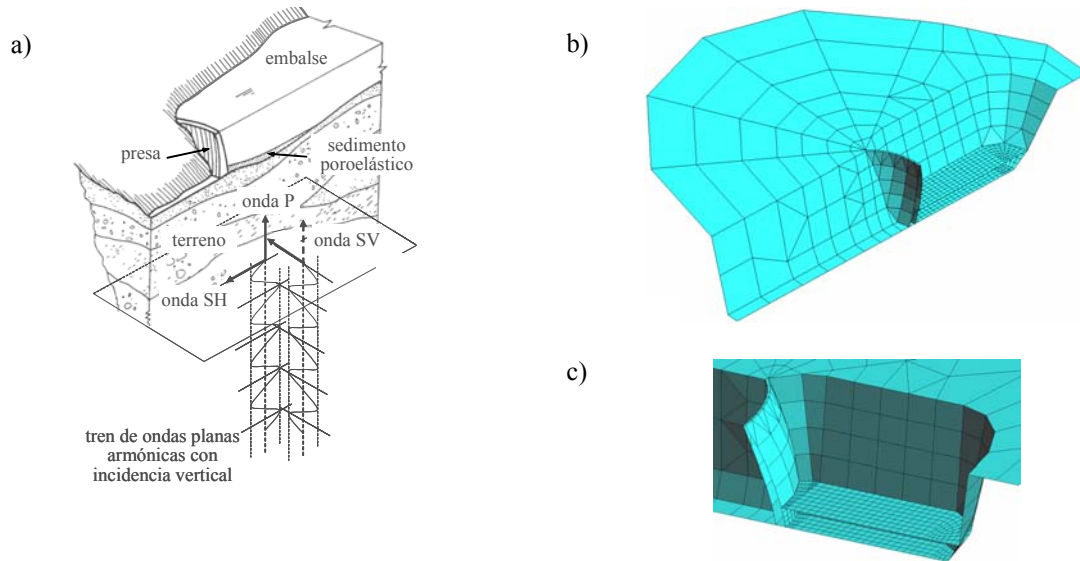


Fig. 1. Detalles del modelo empleado. a) Esquema del problema. b) Discretización de elementos de contorno. c) Detalle de la discretización en la zona del embalse.

Como excitación del sistema en el dominio del tiempo se ha utilizado un acelerograma sintético generado mediante el programa Simqke [18] compatible con el espectro de respuesta elástica horizontal tipo "1" para suelos tipo "A" indicado en el Eurocódigo 8 (EN 1998-1:2004) para un amortiguamiento del 5%. Los parámetros del espectro indicado son: $S=1.0$; $T_B=0.15$ s; $T_B=0.40$ s; $T_D=2.0$ s. En la figura 1 se muestra el acelerograma generado tomando una aceleración pico de diseño del suelo $a_g=0.35g$ y una duración de 30 s.

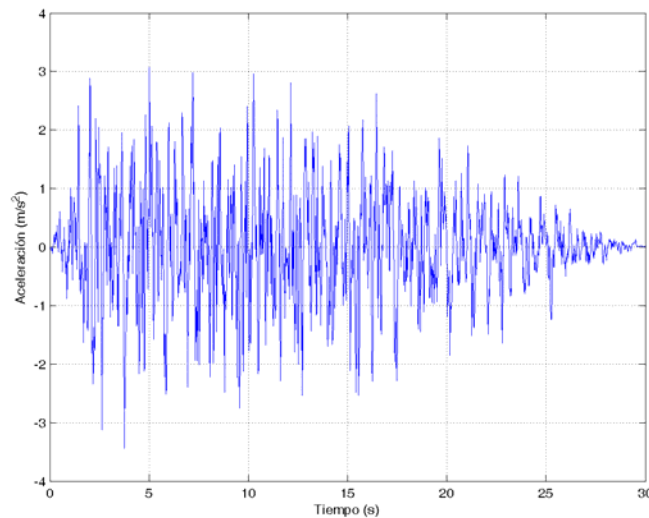


Fig. 2. Acelerograma sintético empleado como excitación del sistema.

RESULTADOS

Se presentan resultados en cinco puntos de la presa en términos de espectro de respuesta máxima de aceleración en dirección anteroposterior (dirección a lo largo del cañón). Los resultados se han adimensionalizado dividiendo por la aceleración pico de diseño del suelo $a_g=0.35g$. Dos de los puntos escogidos están ubicados en el estribo de la presa, uno a la altura de la coronación y otro en el fondo del embalse en la intersección con el plano de simetría del modelo. Los tres restantes pertenecen a la cara húmeda de la presa en la intersección con el plano de simetría cada uno a una cota superior al anterior. El procedimiento seguido para la obtención de los espectros mostrados se puede observar en el esquema (Fig. 3).

Para ver la influencia de los distintos factores se han analizado los siguientes casos: Cañón sin embalse (sin presa) sólo en el caso de los nodos del estribo, embalse vacío, embalse lleno de agua y embalse con una capa de sedimentos cuasi-saturado lleno de agua. Además se han incluido el espectro correspondientes al campo incidente del semiespacio y el espectro de diseño empleado para generar el acelerograma sintético usado como excitación temporal.

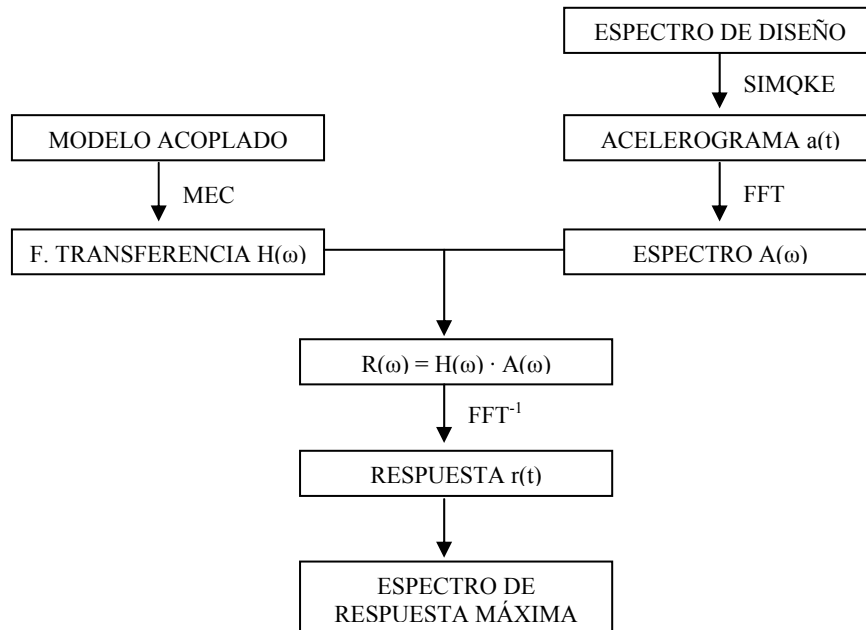


Fig. 3. Esquema para obtener la respuesta del sistema en términos de espectro de respuesta máxima.

Lo primero que destaca a la vista del conjunto de las cinco figuras (Fig. 4-9) es la gran diferencia que existe en la magnitud de la respuesta entre los puntos que están en el suelo o próximo a éste (tres primeras gráficas) y los que están a una cierta distancia sobre la presa. Obviamente esto es consecuencia del factor de amplificación que supone la gran flexibilidad de la presa frente a la rigidez del suelo. Tanto es así que en los puntos del estribo en los que no interviene para nada la flexibilidad indicada, la rigidez del suelo hace que la respuesta para los distintos casos sea muy semejante (la respuesta es prácticamente insensible al nivel de llenado del embalse y a la presencia o no de sedimentos de fondo). Todas las curvas son similares a la correspondiente al cañón sin embalse que representa el efecto local que supone la presencia del cañón (Fig. 4-5). Así, en el punto situado en el estribo a la altura de la coronación (Fig. 4) la respuesta se ve ligeramente amplificada con respecto al espectro de diseño siguiendo un patrón muy similar; la meseta en las que se producen las mayores amplificaciones está comprendida entre periodos de 0.15s a 0.40s. Del mismo modo, en el caso del punto del estribo en el fondo del embalse (Fig. 5), salvo en periodos próximos a 0.15s en los que existe una pequeña amplificación, el espectro queda situado por debajo del espectro de diseño.

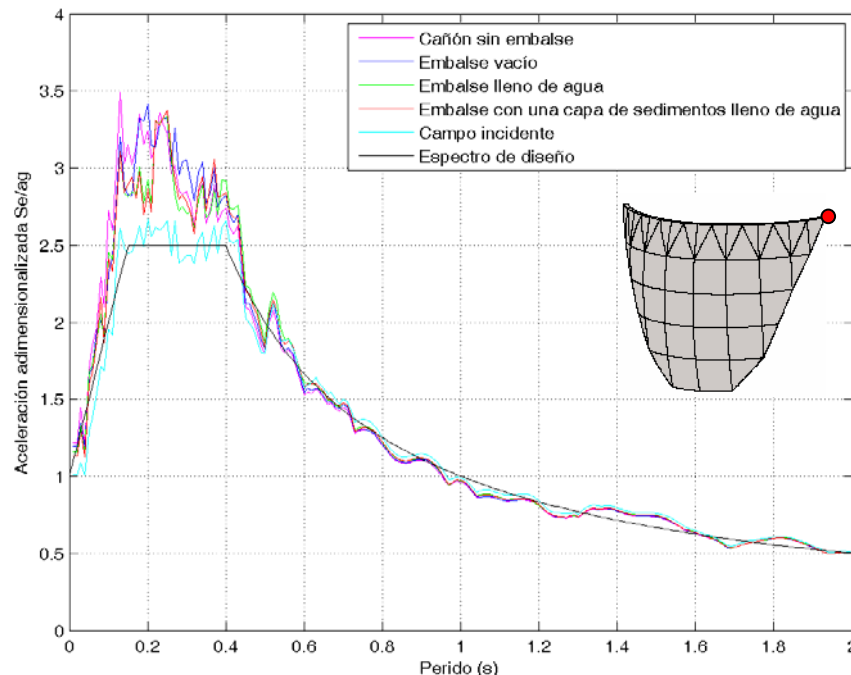


Fig. 4. Espectro de respuesta máxima en dirección anteroposterior. Onda SH con incidencia vertical.

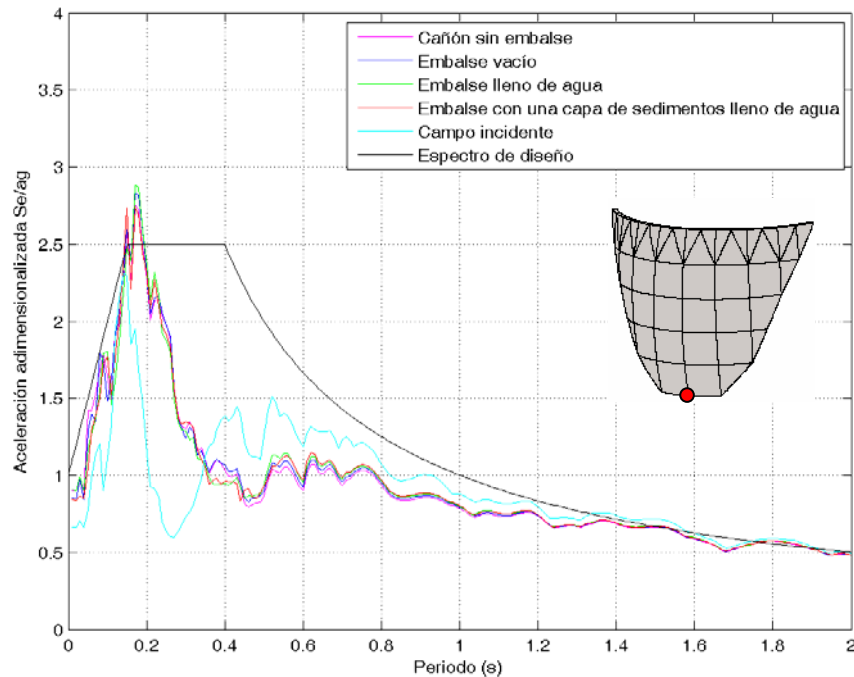


Fig. 5. Espectro de respuesta máxima en dirección anteroposterior. Onda SH con incidencia vertical

En los nodos de la presa si son apreciables en la respuesta las distintas condiciones del embalse. En los tres casos mostrados (Fig. 6-8) los resultados son análogos si bien los valores que se alcanzan son cada vez mayores a medida que nos acercamos a la coronación debido a la flexibilidad que introduce la bóveda.

El efecto inercial que supone la masa del agua en el caso del embalse lleno frente al embalse vacío provoca un desplazamiento de la curva del espectro de respuesta máxima hacia periodos más elevados. Así mismo al comparar la curva del embalse lleno con y sin sedimentos de fondo se aprecia el efecto amortiguador que introducen los sedimentos.

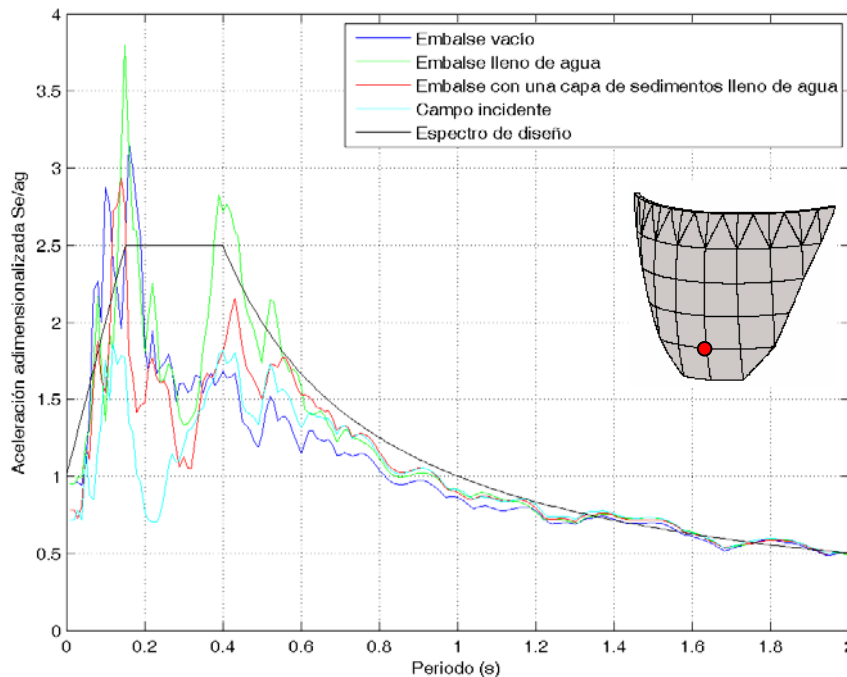


Fig. 6. Espectro de respuesta máxima en dirección anteroposterior. Onda SH con incidencia vertical

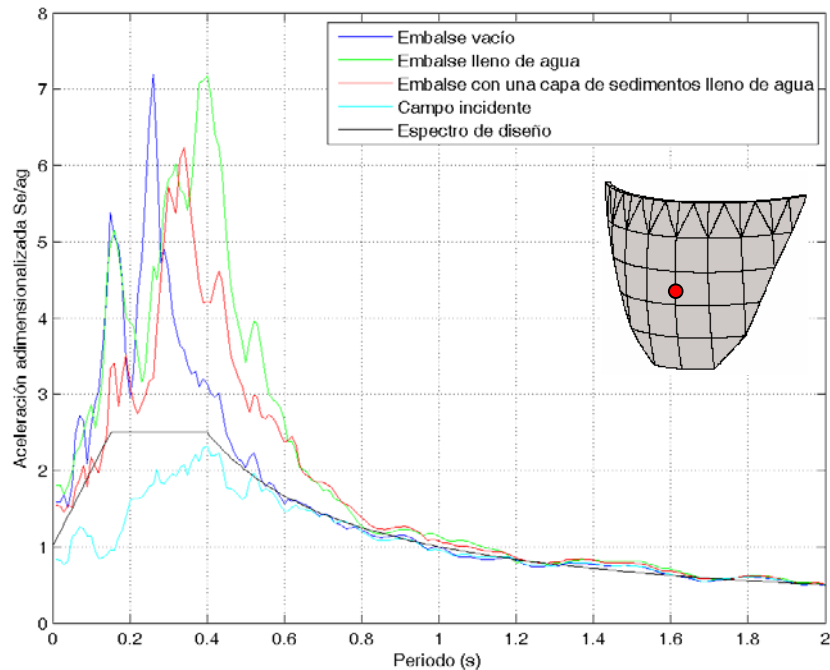


Fig. 7. Espectro de respuesta máxima en dirección anteroposterior. Onda SH con incidencia vertical

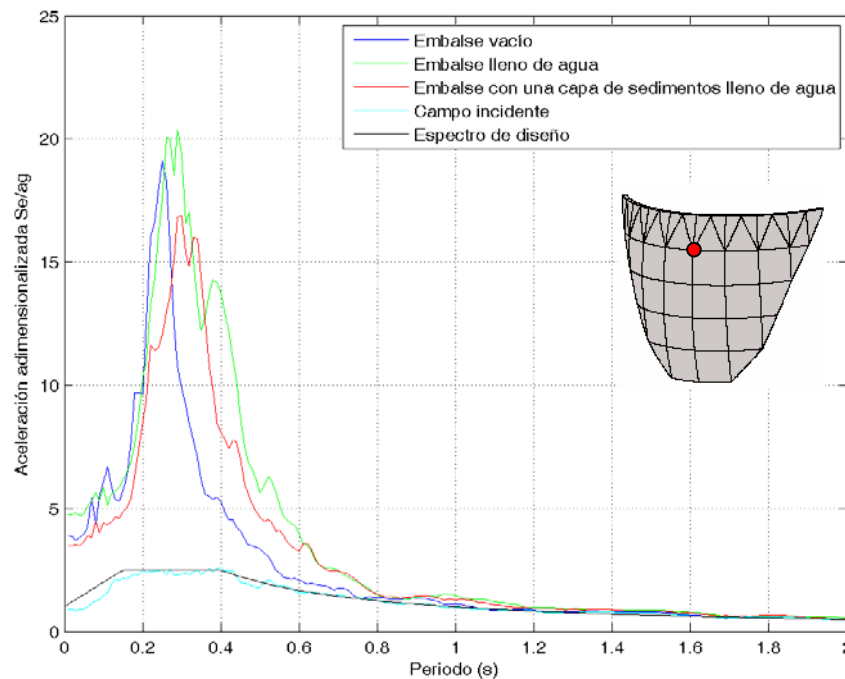


Fig. 8. Espectro de respuesta máxima en dirección anteroposterior. Onda SH con incidencia vertical

CONCLUSIONES

Se ha presentado un estudio de la influencia del nivel de llenado del embalse y de la presencia de sedimentos de fondo en la respuesta sísmica de una presa bóveda. Para ello se ha hecho uso de un modelo de Elementos de Contorno previamente desarrollado por los autores. El modelo incluye la realidad tridimensional del problema, los efectos de interacción suelo-agua-sedimento-estructura, la naturaleza espacial de la excitación y los fenómenos de amortiguamiento por radiación. El análisis se ha realizado en el dominio de la frecuencia y se estudia paramétricamente la influencia de la altura del agua y la presencia de sedimentos en la respuesta para los casos de ondas SH con incidencia vertical.

Los resultados se han presentado en términos de espectros de respuesta máxima de aceleraciones para cinco puntos de la presa. De los resultados mostrados se desprende que los puntos próximos al suelo, debido a la rigidez del mismo, son bastante insensibles a las condiciones que puedan existir en el embalse. Sin embargo los

puntos situados en la presa, a cierta distancia del suelo, si son sensibles al nivel de llenado y a la presencia o no de sedimentos. La presencia de agua desplaza las curvas de los espectros hacia periodos más altos. Los sedimentos, que pueden acumularse progresivamente en el fondo del embalse, introducen un notable efecto amortiguador.

Como conclusión final puede afirmarse que la influencia del nivel de llenado del embalse y la presencia de sedimentos en la respuesta sísmica de presas bóveda es muy importante y debe ser tenida en cuenta en cualquier análisis dinámico o sísmico. Se hacen necesarios estudios más detallados de este efecto que permitan obtener conclusiones de aplicación para la buena práctica ingenieril.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado con financiación del Ministerio de Ciencia y Tecnología así como por fondos FEDER, a través del Proyecto de Investigación BIA2007-67612-C02-01. Los autores agradecen la financiación recibida.

REFERENCIAS

1. J.F. Hall y A.K. Chopra, "Hydrodynamic effects in the response of concrete gravity dams", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*; **10**(2):333-345 (1982)
2. J.F. Hall y A.K. Chopra, "Dynamic analysis of arch dams including hydrodynamic effects", *J. Engrg. Mech., ASCE*, **19**(3), 496-512 (1983).
3. G. Fenves y A.K. Chopra. "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 (1985).
4. K. Fok y A. K. Chopra, "Water compressibility in earthquake response of arch dams". *Journal of Structural Engineering* (ASCE); **113**(5):958-975 (1987)
5. H. Tan y A. K. Chopra, "Earthquake analysis of arch dam including dam-water-foundation rock interaction". *Earthquake Engrg. Struct. Dyn.*, **24**, 1453-1474 (1995)
6. J. Domínguez y O. Maeso, "Earthquake analysis of arch dams II: Dam-water-foundation interaction". *J. Engrg. Mech., ASCE*, **119**(3), 513-530 (1993).
7. O. Maeso, J. Aznárez y J. Domínguez. "Effects of the space distribution of the excitation on the seismic response of arch dams". *J. Engrg. Mech., ASCE*; **128**(7), 759-768 (2002)
8. O. Maeso, J.J. Aznárez y J. Domínguez, "Three-dimensional models of reservoir sediment and effects on seismic response of arch dams", *Earthquake Engrg Struct. Dyn.*; **33**: 1103-1123 (2004).
9. J.J. Aznárez, O. Maeso y J. Domínguez, "BE analysis of bottom sediments in dynamic fluid-structure interaction problems", *Engineering Analysis with Boundary Elements*; **30**: 124-136 (2006).
10. O. Maeso y J. Domínguez, "Earthquake analysis of arch dams I: Dam-foundation interaction". *J. Engrg. Mech., ASCE*, **119**(3), 496-512 (1993).
11. G.R. Dabre, C.A.M. de Smet y C. Fraemer, "Natural frequencies measured from vibration response of the arch dam of Mauvoisin", *Earthquake Engrg Struct. Dyn.*; **29**: 577-586 (2000).
12. J. Proulx, P. Paultre, J. Rheault y Y. Robert, "An experimental investigation of water level effects on the dynamic behaviour of a large arch dam", *Earthquake Engrg Struct. Dyn.*; **30**: 1147-1166 (2001).
13. A.H.D. Cheng. "Effects of sediments on earthquake induced reservoir hydrodynamic response". *J. Engrg. Mech., ASCE*, **112**(7), 645-665 (1986).
14. S. Bougacha y J.L Tassoulas. "Seismic response of gravity dams II: Modelling of sediments". *J. Engrg. Mech., ASCE*, **117**(8), 1826-1837 (1991).
15. J. Domínguez, R. Gallego y B.R. Japón. "Effects of porous sediments on seismic response of concrete gravity dams". *J. Engrg. Mech., ASCE*, **123**(4), 302-311 (1997)
16. M.A. Biot. "Theory of propagation of elastic waves in fluid saturated porous solid I. Low frequency range". *J. Acoust. Soc. Am.*, **28**(2), 168-178 (1956).
17. A. Verruijt, "Elastic storage of aquifers". *Flow through porous media*, R.J.M.De Weist Ed., San Diego (1969).
18. D. Gasparini y E. Vanmarcke, "SIMQKE: A Program for Artificial Motion Generation", Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge (1976).