Influencia del grado de inmersión de modelos de compuertas sobre sus frecuencias propias.

J. Cabrera Gómez.
Centro de Estudios Innovación y Mantenimiento.
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.
Calle 114 s/n, CUJAE, Marianao 15, Ciudad de la Habana, Cuba.
E-Mail: jcabrera@ceim.cujae.edu.cu

(Recibido el 20 de Abril del 2003; aceptado el 12 de Septiembre del 2003)

Resumen.

Se presentan los resultados obtenidos para las frecuencias propias en dependencia del grado de inmersión de modelos de compuertas con sus respectivos sistemas de suspensión e izaje pertenecientes a una presa en construcción, los cuales por su configuración son sistemas simples pero con un contorno de trabajo complejo que puede ocasionar variaciones del comportamiento dinámico.

Palabras claves: Vibraciones mecánicas, comportamiento dinámico, frecuencias propias, modelación dinámica, ensayos de impacto.

1. Introducción.

Uno de los problemas que pueden presentarse en el diseño de las estructuras de compuertas que regulan el paso de agua en una presa, es la aparición de fuerzas perturbadoras inherentes al sistema hidráulico capaces de excitar frecuencias propias que provoquen vibraciones significativas en las mismas, las cuales pueden afectar las prestaciones del sistema o ser causa de averías. En la práctica, aún cuando una compuerta puede vibrar en correspondencia con un gran número de grados de libertad, la más importante suele ser la vibración en la dirección vertical asociada al sistema de suspensión elástico de dicha compuerta [5, 6].

Los resultados que se presentan forman parte del estudio del comportamiento hidrodinámico de los conductos de desvío de una importante presa actualmente en proyecto y construcción [1, 2]. Para acometer dicho estudio, se construyó un modelo reducido (escala 1:20) de uno de los 18 conductos de desvío proyectados para dicha presa. En la figura 1 se presenta un esquema simplificado de este modelo experimental.

Desde el punto de vista del estudio de su comportamiento dinámico, las compuertas y sus respectivos sistemas de suspensión y apertura son sistemas relativamente simples y su cálculo modal en el aire resulta sencillo. Sin embargo, se trata de una estructura que, aunque simple, trabaja en un contorno complejo, ya que cuando la compuerta se sumerge para cumplir con su función reguladora, sus propiedades dinámicas pueden variar significativamente debido a los efectos de masa, rigidez y amortiguamiento añadidos por la interacción entre la compuerta y el fluido circundante. El efecto anteriormente mencionado se debe a que, cuando un cuerpo vibra dentro de un fluido, este último ejerce una fuerza sobre el cuerpo. La presencia de este fenómeno puede tener consecuencias importantes sobre el comportamiento modal del cuerpo que vibra [3, 4].

Si el cuerpo en cuestión se mueve en el fluido con cierta aceleración, arrastra conjuntamente con él una parte del fluido que lo rodea, incrementando de esta forma su inercia. La masa del fluido que sigue el movimiento del cuerpo se denomina masa añadida o masa hidrodinámica "m_h" y se define como la masa del fluido que se mueve con la misma aceleración del cuerpo tal y como ocurriría si esta masa estuviera rígidamente unida al cuerpo. Esta masa añadida suele ser despreciable para cuerpos que vibran en el aire, pero alcanza magnitudes importantes para cuerpos que vibran en líquidos. La masa añadida dependerá de la forma del cuerpo, de las condiciones de contorno, del comportamiento del fluido y de las características de la vibración. La proximidad a una superficie libre del líquido tiende a reducir la masa añadida debido a la radiación de ondas superficiales. Por otra parte, la proximidad a un contorno rígido incrementa la masa añadida [3].

© 2003 – Ediciones MECANICA.

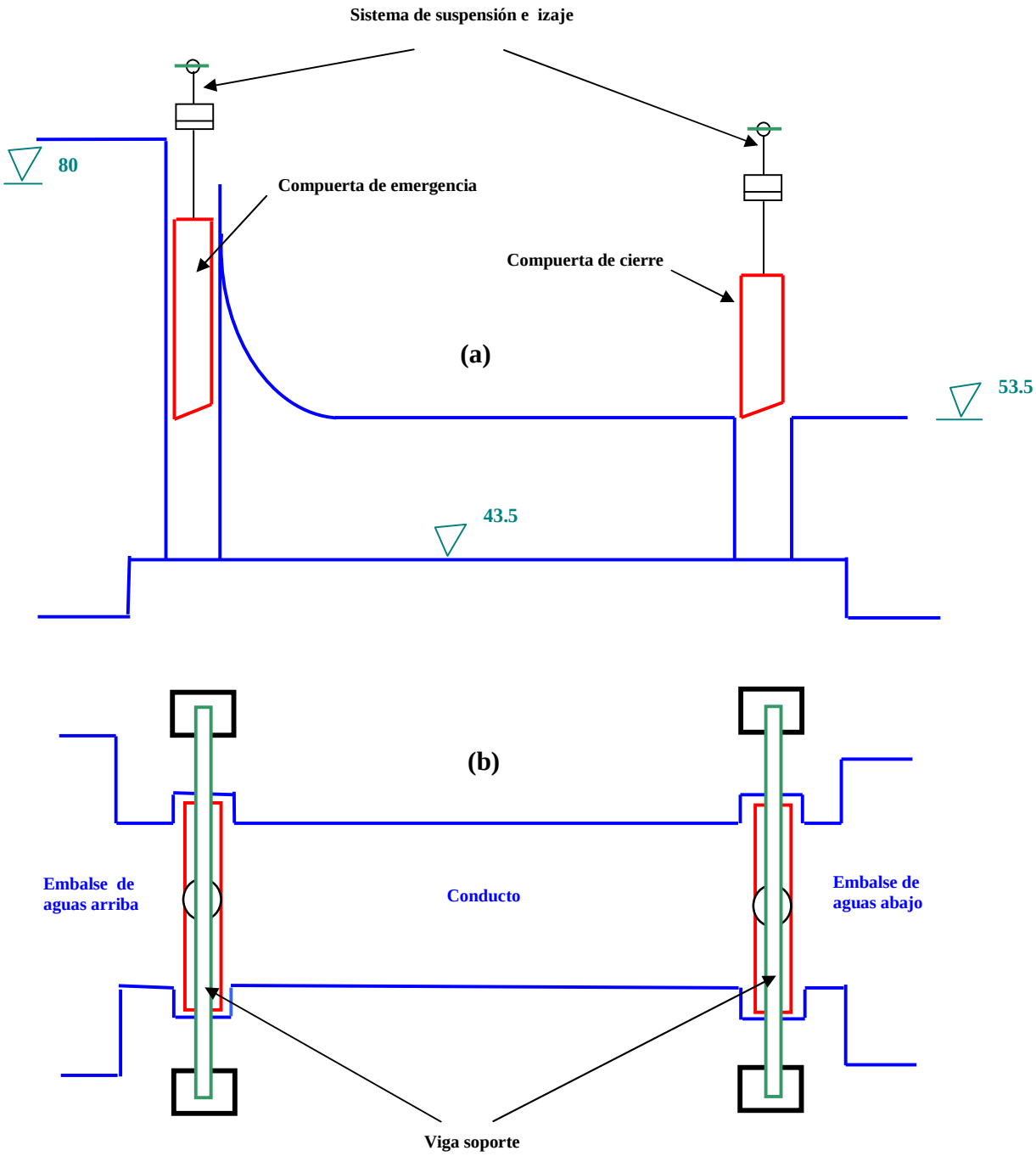

Figura 1. Esquema simplificado del modelo del conducto y las compuertas.
(a) Vista lateral. (b) Vista superior.

Para las compuertas que son objeto de estudio, no se conoce en qué medida varían las frecuencias propias en dependencia de sus condiciones de operación, por lo que se realizaron ensayos con la finalidad de arrojar luz sobre este problema y evaluar además la posible presencia de estados de resonancia que afecten su normal funcionamiento.

2. Desarrollo del experimento.

En la figura 2 se muestra un esquema de la instalación experimental empleada tanto para la realización de los ensayos impulsivos como para el análisis de las señales registradas. Se efectuaron impactos sobre ambas compuertas estando las mismas fuera de sus guías y sumergidas en aguas calmadas. Se registró la fuerza del impacto excitador, la aceleración de la respuesta del sistema estudiado y el peso del mismo.

Estimación experimental de frecuencias propias.
Se pretende investigar la influencia de la rigidez del conjunto formado por las compuertas y sus respectivos sistemas de suspensión y del grado de inmersión de las compuertas en sus frecuencias propias, por lo que se adoptaron como variables experimentales la distancia entre apoyos "L" de la viga que actúa como soporte de los modelos y el nivel de inmersión de éstos. Una vez efectuadas las mediciones y el posterior procesamiento de las señales, se identificaron en los espectros los valores de frecuencias propias para cada variante. El resumen de estos resultados se presenta en las tablas 1 y 2. Así mismo, se muestran los respectivos comportamientos de las frecuencias propias en las figuras 3 y 4.

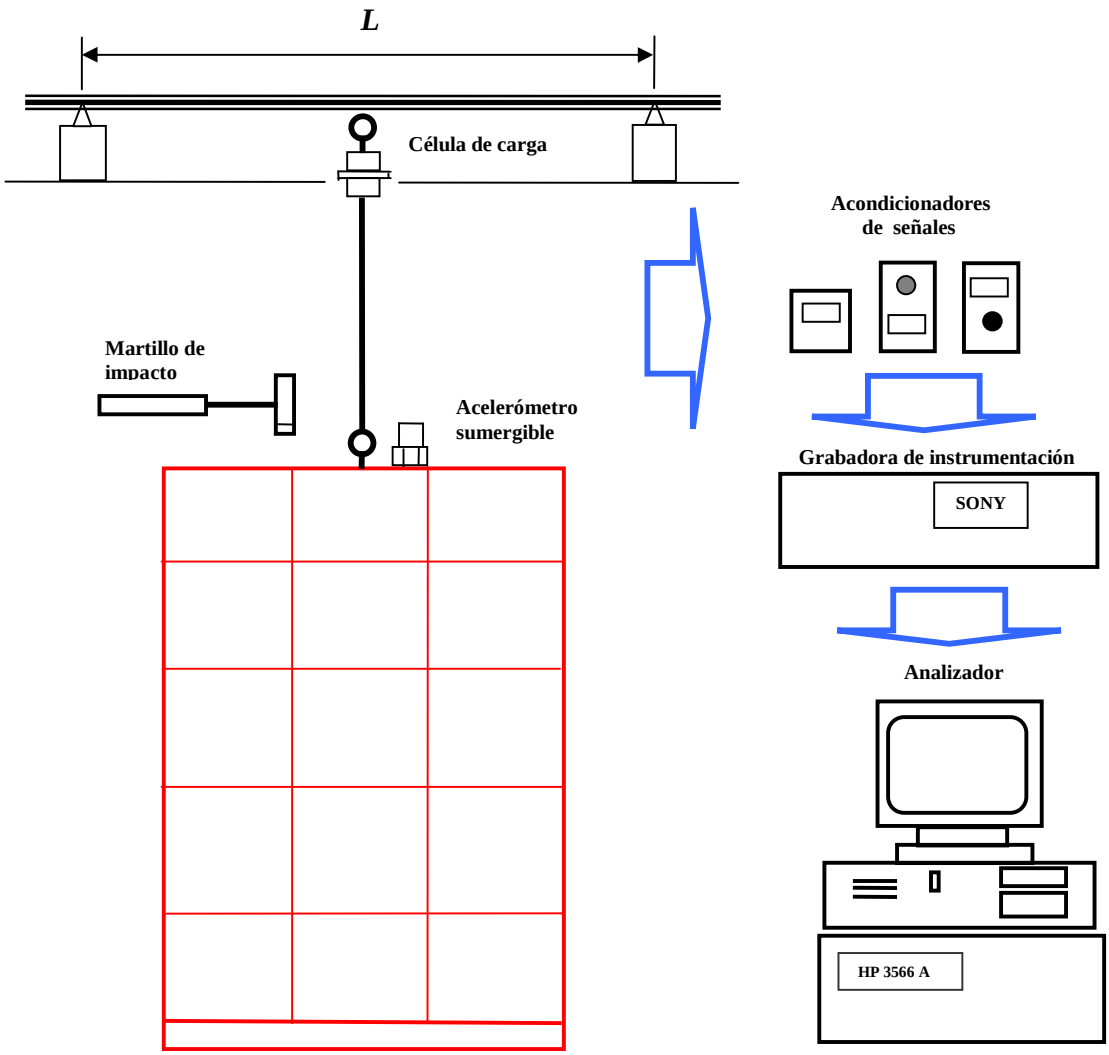

Figura 2. Representación esquemática de la plataforma experimental empleada en la realización de ensayos impulsivos sobre ambas compuertas.

Tabla 1 Frecuencias propias experimentales de la compuerta de cierre [Hz]

Inmersión de la compuerta [%]	Distancia entre apoyos de la viga soporte [mm]			
	560	660	760	860
0	6.000	5.250	4.500	3.375
25	5.875	5.000	4.375	3.000
50	5.625	4.625	4.250	2.875
75	5.375	4.500	3.625	2.625
100	5.125	4.375	3.375	2.500

Tabla2 Frecuencias propias experimentales de la compuerta de emergencia [Hz]

Inmersión de la compuerta [%]	Distancia entre apoyos de la viga soporte [mm]			
	560	660	760	860
0	5.000	4.625	3.500	3.000
25	4.875	4.500	3.250	2.875
50	4.750	4.125	3.125	2.625
75	4.500	4.000	3.000	2.375
100	4.375	3.875	2.875	2.125

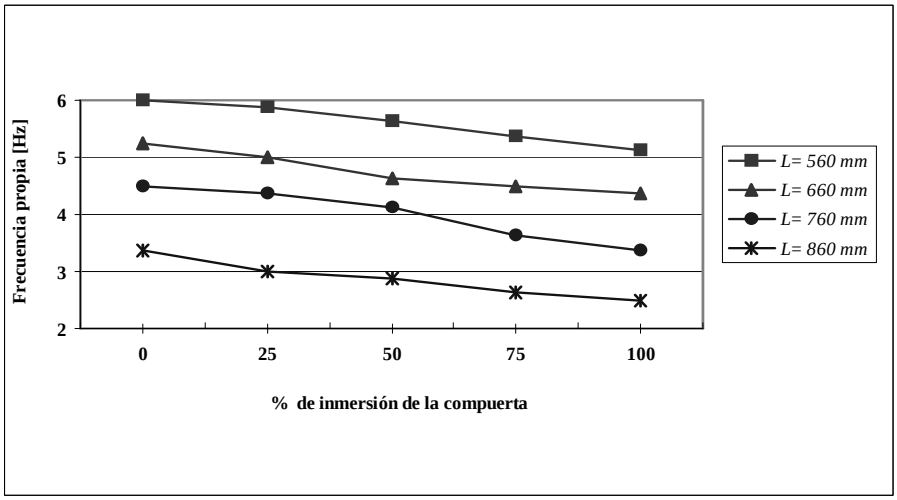

Figura 3. Comportamiento de las frecuencias propias para el modelo de la compuerta de cierre dependiendo de la inmersión.

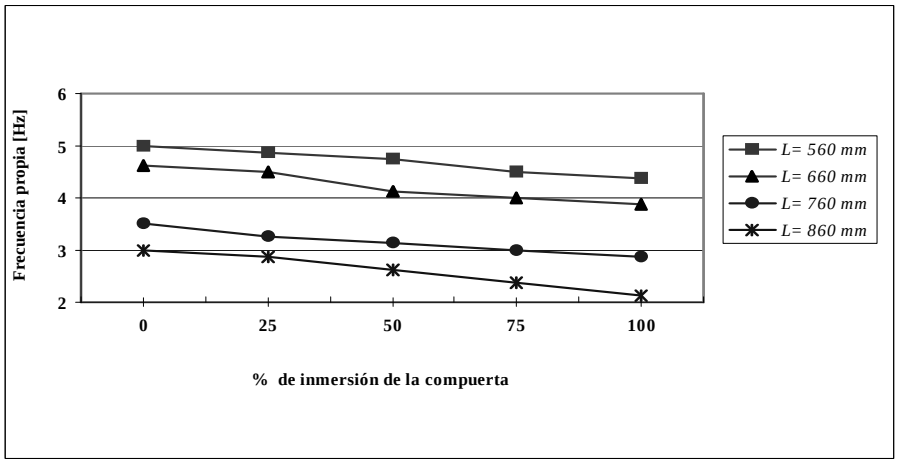

Figura 4. Comportamiento de las frecuencias propias para el modelo de la compuerta de emergencia dependiendo de la inmersión.

3. Modelación teórica.

El conjunto formado por la compuerta, el cable de izaje y la viga soporte, puede modelarse con una buena aproximación mediante un sistema masa resorte típico de un grado de libertad, teniendo en cuenta además el hecho de que sólo interesa estudiar las vibraciones en la dirección vertical. En tal caso, para las condiciones de apoyo empleadas, se puede llegar a que la frecuencia de las vibraciones libres estará dada por la relación (1). Sustituyendo en esta ecuación los datos disponibles, se obtuvieron los valores de frecuencias para las vibraciones libres que se presentan en la tabla 3. En la figura 5 se aprecia la representación gráfica de las frecuencias propias obtenidas analítica y experimentalmente para ambas compuertas.

$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{48\ g\ E\ I}{L^3\ W}} \quad [Hz] \qquad (1)$$

Tabla 3 Frecuencias propias teóricas para los modelos [Hz].

% de inmersión	Compuerta	Distancia entre apoyos de la viga soporte [mm]			
		560	660	760	860
0	Cierre	6.482	5.306	4.100	3.406
	Emergencia	5.804	4.536	3.671	3.049

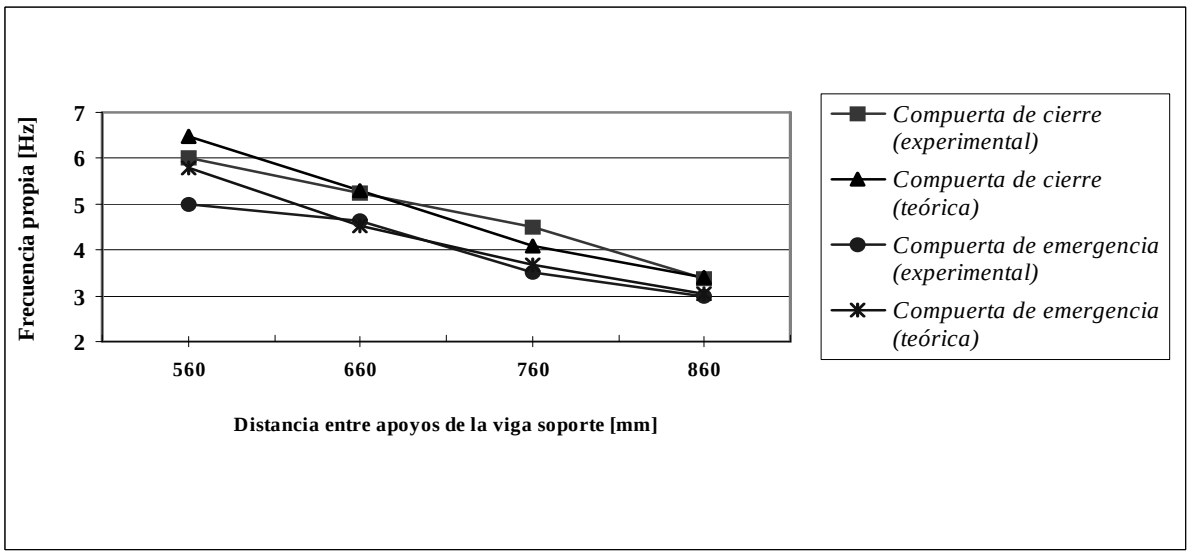

Figura 5. Frecuencias propias de los modelos obtenidas analítica y experimentalmente.

4. Conclusiones.

- La significativa coincidencia entre los valores analíticos y experimentales de las frecuencias propias halladas para los conjuntos formados por cada compuerta y su respectivo sistema de suspensión, así como la observación de sus respuestas en el dominio de las frecuencias, indican claramente que, para las condiciones planteadas, tales conjuntos se comportan como sistemas de un grado de libertad en los que la masa se puede considerar básicamente concentrada en la compuerta y la rigidez está determinada fundamentalmente por las condiciones de contorno de la viga soporte.
- Se puede apreciar una tendencia bien definida a la disminución de la frecuencia propia de los sistemas estudiados en la medida en que el grado de inmersión es mayor. En ambos modelos, al estar completamente sumergidas las compuertas, la frecuencia propia disminuye aproximadamente entre un 15 y un 25 % de su valor determinado inicialmente en el aire. Este fenómeno se explica por la presencia del efecto de masa añadida.

5. Bibliografía.

1. Cabrera J., "Estimación del comportamiento modal de sistemas mecánicos*", Tesis doctoral*, Centro de Estudios Innovación y Mantenimiento, CUJAE, La Habana, 2000.
2. Cabrera J., Estévez A., Egusquiza E., "Estimación del comportamiento hidrodinámico de modelos de compuertas para conductos de desvío de la presa Caruachi", *Informe técnico*, Departament de Mecànica de Fluids, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1999.
3. Egusquiza E., "Flow Induced Vibrations", en, Krishna R. (Editor), *Hydraulic Design of Hydraulic Machinery*, Avebury Technical Press, UK, 1996, pp 187-217.
4. Egusquiza E., "Vibraciones fluidodinámicas", *Curso para doctorantes*, Departament de Mecànica de Fluids, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1999.
5. Hydraulic Design Criteria, *Gate Vibration*, Sheets 060-1 to 060-1/5.
6. Kolkman P., "Flow Induced Gate Vibrations*"*, *Delft Hydraulics*, 1976, Lab. Report No 164.

Influence of inmersion gate models on their natural frequencies.

Abstract.

Results obtained for natural frequencies depending on the submergence level in gate models and their respective supporting and raising systems are presented. Attending to its configuration, a gate is a simple system, but with a very complex working contour that is able to change its dynamic behaviour.

Key words: Mechanical vibrations, dynamic behavior, natural frequencies, dynamic modeling, impact testing.