

La superposición de una y otra acciones da, pues, lugar a que el momento máximo no se presente con direcciones de viento normales a las caras.

La determinación de las frecuencias de sollicitación por remolinos de von Kármán se realizó también por medios electrónicos, poniéndose de manifiesto la gráfica correspondiente con auxilio de oscilógrafos y registrándose sobre película. Es evidente

el interés del estudio que permite la obtención de una serie de datos imposibles de calcular teóricamente o bien objeto de un cálculo muy laborioso y no seguro.

Deseamos que las ideas expuestas puedan ser de alguna utilidad, habiéndonos extendido, quizá en demasía, pero ello ha sido con el exclusivo fin de una mejor comprensión.

III. ESTUDIOS EXPERIMENTALES EN MODELOS HIDRAULICOS

Con la colaboración de

FELIPE FERNANDEZ BOLLO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

1. Estudio experimental de las presiones rápidamente variables.

En los ensayos realizados para el estudio en modelo reducido de las chimeneas de equilibrio, es necesario la determinación de presiones y su variación, con dispositivos que tengan la menor inercia posible.

De acuerdo con estas necesidades, se ha construido un equipo, formado por un oscilógrafo para el registro de las variaciones de presión y una célula para toma de presión; para lograr una inercia mínima, se ha reducido la parte móvil de la membrana y armadura de un condensador, de manera que, al actuar la presión sobre la membrana, varía la capacidad del condensador. También se ha logrado reducir el tamaño de la célula, aun incluyendo el circuito de amplificación en su interior.

El empleo de equipos múltiples permite el registro simultáneo de las presiones en diversos puntos del modelo ensayado. La película fotográfica obtenida del registro de presiones, facilita el estudio para las variaciones rápidas del régimen de utilización de la chimenea. Otra aplicación interesante de estos equipos es el estudio de cavitaciones, tanto en los ensayos realizados a presión normal, como en los realizados con presión modificada.

En la figura 1.^a aparece la fotografía de un equipo de registro de presiones, utilizándose en un modelo de chimenea de equilibrio construido en plástico.

2. Estudio sobre vertederos.

En el estudio en modelo reducido sobre vertederos; tendremos en cuenta que las acciones predo-

minantes, tanto para la circulación como para el lanzamiento en el caso de trampolines, son las derivadas de la gravedad y de la inercia; por consi-

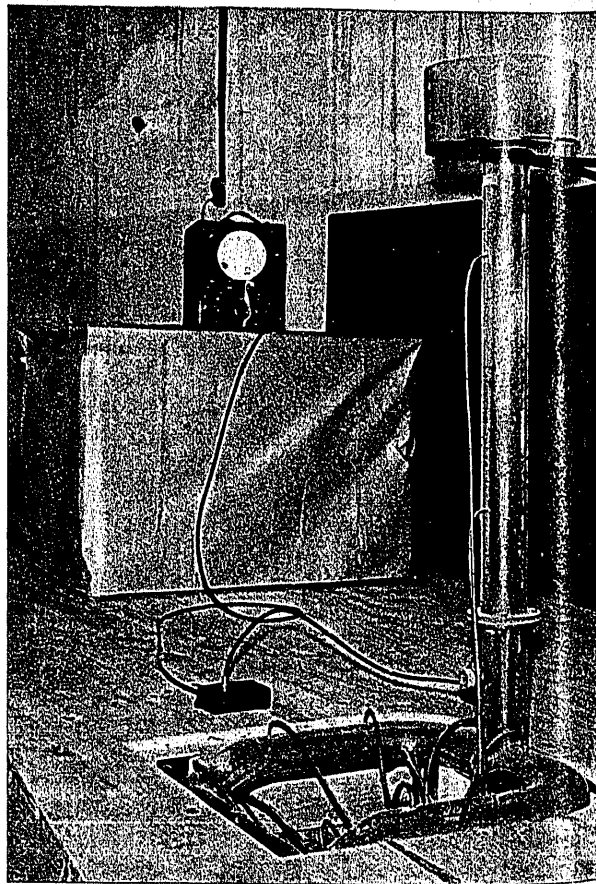


Figura 1.^a

guiente, debemos estudiar la semejanza por la ley de Froude.

Una vez establecida la semejanza, pasamos a la elección de escala en que se realizará el modelo.



Fig. 2.^a—Presa de Bembezar. Vertido del caudal máximo en la solución final.

Una primera limitación la encontramos en la rugosidad, pues aplicando la fórmula Manning para una escala 1/50 a un coeficiente en la realidad comprendido entre 0,016 y 0,020, le corresponde un coeficiente de 0,010 en el modelo; esta rugosidad se puede obtener con un enlucido muy cuidado y tratado superficialmente.

Para eliminar la influencia de la tensión superficial, tenemos que adoptar una escala suficientemente grande para que el número de Weber se mantenga inferior al valor crítico $W_c = 50 \nu$, para los vertederos. En otros ensayos se puede comprobar que la celeridad de onda sea superior al valor crítico de 23 cm./seg.

Respecto al efecto de la viscosidad, tenemos que comprobar la escala para que el número de Reynolds en el ensayo sea superior a $R = 10.000$.

En los numerosos ensayos realizados hemos comprobado que, en general, no se logra mantener las condiciones de semejanza con escalas inferiores a 1/50.

Las figuras 2.^a y 3.^a muestran un ensayo de vertedero del embalse de Bembezar; en este modelo se adoptó una escala 1/50, comprobándose las condiciones de semejanza, obteniéndose $W = 32,99$ para el caudal mínimo de ensayo y $R = 12.000$.

3. Ensayos en cauce con lecho movable.

Comencemos recordando cómo se produce el movimiento de erosión en el lecho de una corriente. Cuando sometemos a la acción de la corriente un fondo formado por un árido de composición granulométrica amplia, comienza produciéndose un arrastre de elementos finos, pasando posteriormente a establecerse una superficie formada por elementos de mayor tamaño, que resisten a la acción de la tensión tangencial. En este momento el lecho presenta una constitución diferente en la superficie que en el resto del espesor, circunstancia que habrá que tenerse en cuenta tanto en la realidad como en el laboratorio.

Al aumentar la velocidad y el espesor hidráulico de la corriente, alcanzamos un primer valor crítico, en que se inician los movimientos de algunos elementos aislados. Esta situación se mantiene al aumentar el caudal hasta alcanzar un segundo valor crítico, que produce movimientos de grupos de elementos en distintas zonas del cauce.

En los ensayos de ríos de cauce erosionable, nos encontramos con una primera dificultad en las dimensiones del modelo para escalas suficientemente grandes, por lo que, en general, estos ensayos se hacen con distorsión de escalas para lograr un espesor hidráulico suficiente, para que la influencia de la viscosidad no afecte a los resultados del ensayo.

La elección del árido que se empleará en el modelo se hace de manera que las curvas de velocidades críticas se correspondan en la realidad y en el ensayo. Para la obtención de los valores críticos se recurre a un ensayo intermedio en canal, después de la clasificación de los áridos, aplicando las fórmulas de J. Allen (1), que nos permiten reducir al mínimo los tanteos.

En la práctica del laboratorio se dispone de una colección de áridos, clasificados por sus curvas de valores críticos, y también la variación de estas curvas para mezcla de los áridos tipo.

(1) "An Investigation of the Stability of Bed Materials in a Stream of Water". Allen. *Journ. Inst. C. E. March*, 1942.

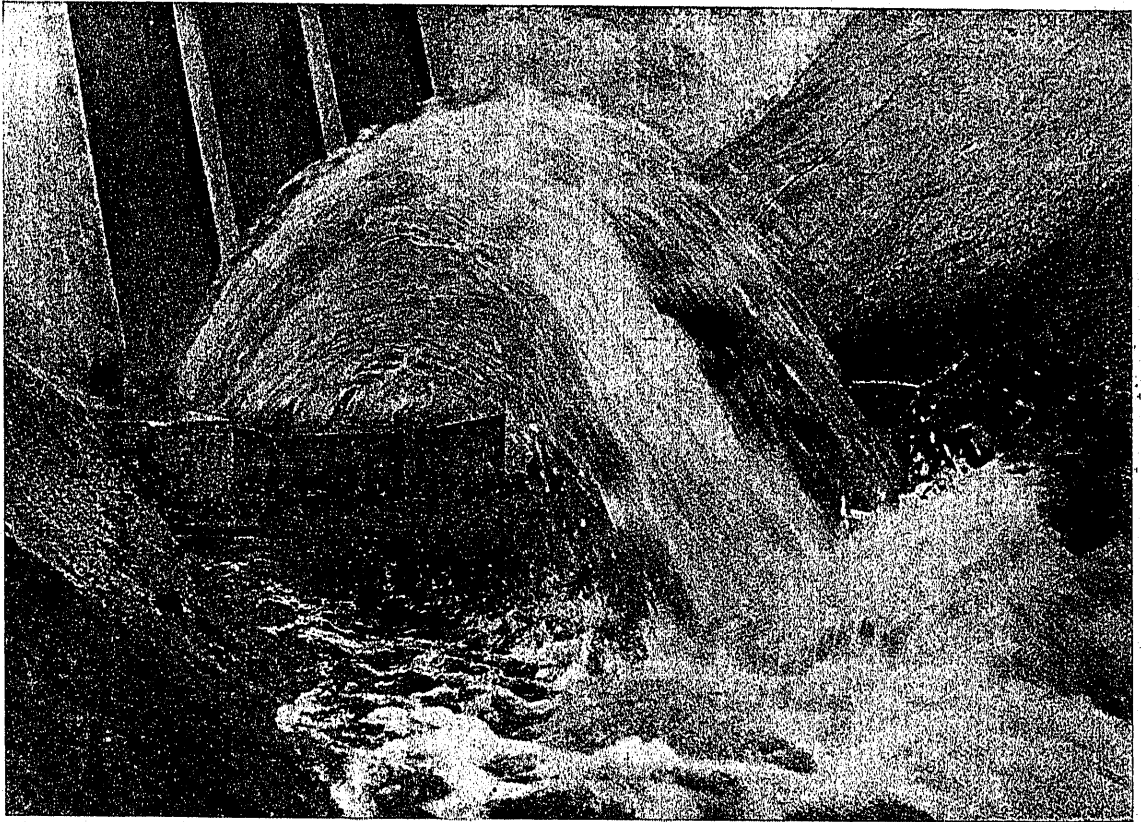


Fig. 3.^a—Presa de Bembezar, Vertido del caudal máximo en la primera solución.

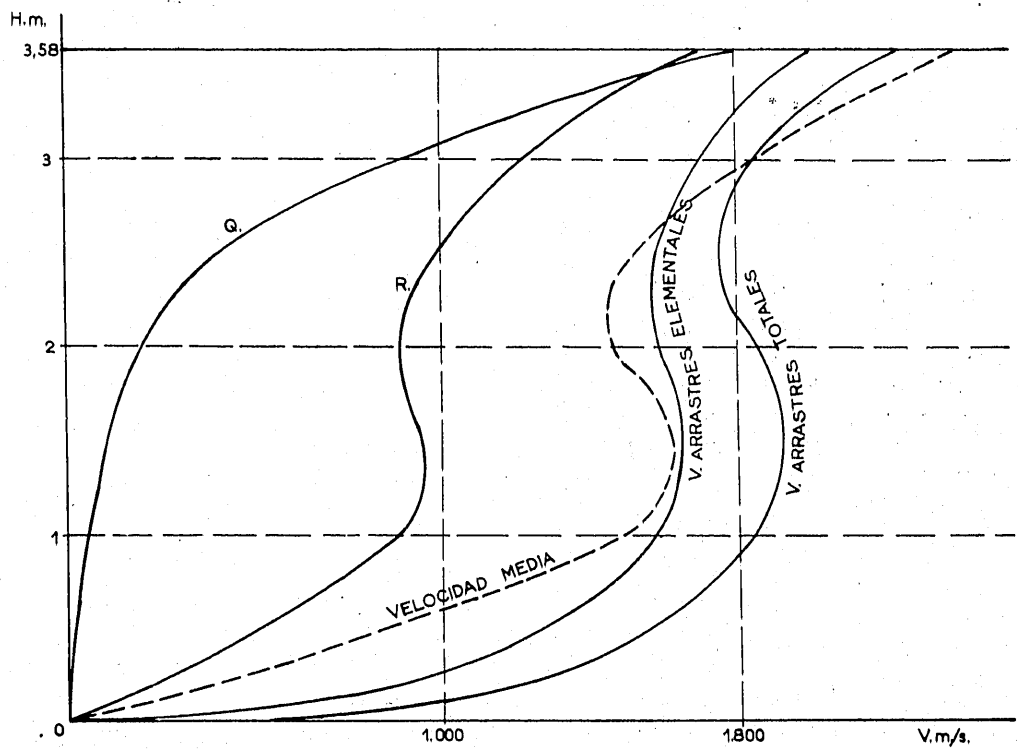


Figura 1.^a

Los valores críticos de la realidad se obtienen con los datos suministrados por las estaciones de aforo y vigilancia de arrastres.

En caso de no disponer de datos concretos, se puede hacer un estudio bastante aproximado, determinando los siguientes datos: 1.º Estudio de los fondos del río, obteniendo un coeficiente de forma de la superficie del lecho. 2.º Coeficientes de forma del árido subyacente. 3.º Módulo de uniformidad. 4.º Densidad del árido. Con estos datos se calcula la forma de velocidad crítica.

En la figura 4.º se representan las curvas críticas para un tramo del río Narcea, obtenidas con los datos tomados en el cauce del río.

Fórmula para fondos planos:

$$v = K \left(\frac{L + A}{2l} \right)^{0,44} (\sigma' - \sigma)^{0,22} l^{0,22} M^{-0,22} H^{0,06} R^{0,22},$$

en que:

v = velocidad media de la corriente.

L = longitud media del árido.

A = ancho medio.

σ' y σ = densidades del árido y agua.

l = arista del cubo equivalente al elemento de árido de peso medio.

M = módulo de uniformidad.

H = espesor hidráulico.

R = radio hidráulico.