

El trabajo de investigación en la Escuela de Caminos

En los últimos *Anuarios* de la Escuela de Caminos se ha visto la importancia que en este Centro de enseñanza se concede a los trabajos de investigación profesional que en el Reglamento vigente figuran como uno de los procedimientos normales de enseñanza.

Para realizar tan interesante finalidad no limita su acción al campo exclusivo de la enseñanza, en el que actúan profesores y alumnos, utilizando el material de que la Escuela dispone (laboratorio, biblioteca, etc.). Sabe que su misión no es tan sólo dar la enseñanza completa de la profesión, sino prestar también colaboraciones científicas y técnicas al Estado, a las Corporaciones públicas y a las Empresas privadas, con lo que su acción social se ensancha y eleva.

Como muestra de esta labor vamos—adelantando a nuestros lectores lo que se consignará sumariamente en el *Anuario* de 1927-28—a mencionar los trabajos de investigación realizados en este curso a instancia de la Sociedad «Saltos del Alberche», para determinar experimentalmente la forma y dimensiones del aliviadero de superficie que proyecta construir en su aprovechamiento del «Charco del Cura».

Las investigaciones hidrodinámicas en modelos reducidos con aplicación inmediata a casos particulares son auxiliar imprescindible de la moderna construcción hidráulica, y fundándose en las leyes de semejanza es posible evitar en la práctica de la Ingeniería errores, y aun fracasos, de consideración, sometiendo al análisis experimental los fenómenos más frecuentes que escapan al cálculo.

Son ya muchos los Institutos extranjeros de Ingeniería que poseen instalaciones perfeccionadas y muy completas para la realización de tales ensayos. Así, el año pasado, la Sociedad «Canalización y fuerzas del Guadalquivir» recurrió al laboratorio de Karlsruhe, en el que se realizaron, bajo la alta dirección del doctor Rehbock, una serie de experimentos para determinar las dimensiones del aliviadero del Jándula.

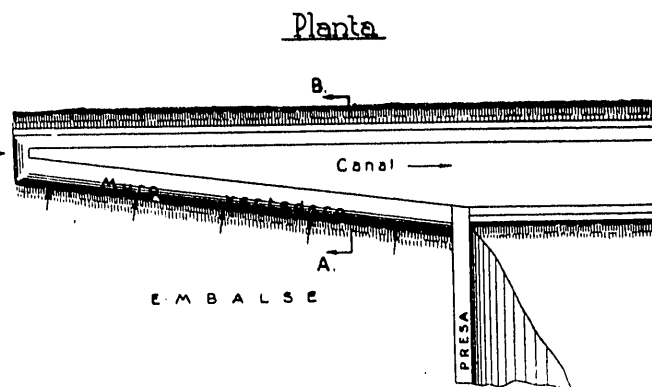
Instituto de Ingeniería tan importante como el de Zurich se dispone a montar esta clase de instalaciones, y la Escuela de Caminos, siempre a la vanguardia, en lo que estima que es un deber de su misión cultural, tiene el propósito de montar, en el plazo más breve posible, un laboratorio especial para ensayos e investigaciones de esta naturaleza.

Aparte de la dificultad económica que siempre presenta la realización de instalaciones de esta importancia, existía otra que parecía insuperable: la de disponer de terreno suficiente, por lo menos en las inmediaciones del edificio de la Escuela, por estar actualmente aprovechadas todas las parcelas disponibles; mas felizmente parece que van a tener satisfactorio término las gestiones realizadas para incorporar a la Escuela terrenos contiguos del Parque de Madrid. Acuerdos recientes del Municipio de la capital conceden, si no todo, parte, por lo menos, de la que para estas necesidades de la ense-

ñanza y del progreso de la técnica solicitaba la Escuela. Sólo falta que el acuerdo reciba la sanción del Gobierno y se dicte, como consecuencia, el oportuno Real decreto, lo que se espera que sea de un momento a otro.

Entretanto que tengan realidad tan justas aspiraciones de la Escuela de Caminos, no debía ésta dejar desatendidos los requerimientos de la Sociedad «Saltos del Alberche», que en noviembre del año pasado solicitó su auxilio científico y técnico para ensayar un aliviadero de superficie de inmediata realización en la presa antes indicada, y fiel a su misión prestó la Escuela, con los elementos que disponía, su colaboración activa y entusiasta a los deseos expuestos por la dirección técnica de la expresada Sociedad.

A estos efectos existe en el sótano del edificio del laboratorio de Electromecánica un canal de pa-lastro, de dimensiones suficientes para situar dentro de él los modelos reducidos a escala conveniente, para someterlos a los ensayos experimentales, cuyo ob-



Sección A. B.

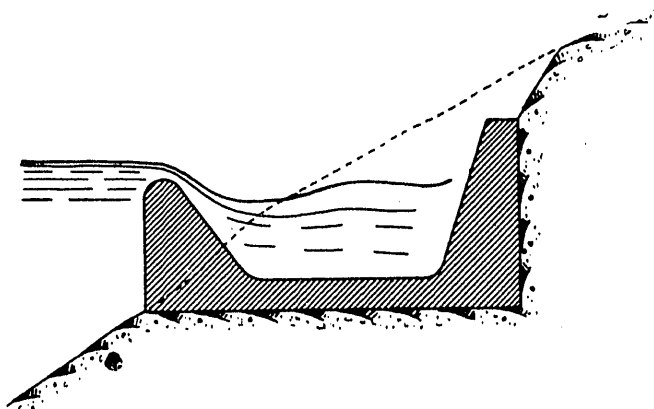


Fig. 1.ª Esquema de un aliviadero lateral.

jeto principal era estudiar las influencias que el cálculo no puede determinar, y particularmente:

- Las que se producen por la forma del muro vertedero.
- El movimiento del agua en planos normales

al eje longitudinal y al canal bajo la acción del caudal vertiente.

c) El paso del régimen de *aliviadero* al de *canal de descarga*.

Sucede, en efecto, con frecuencia en los aliviaderos fijos llamados de labio, que el vertedero constituye uno de los cajeros del canal de descarga, yendo el otro apoyado en la margen. La disposición esquemática es la representada en la figura 1.^a

El caudal que vierte sobre cada elemento del muro aliviadero, se incorpora al que avanza a lo largo del canal de descarga, y hay así una interpo-

el muro, las cosas ocurren como si se tratase del choque de dos cuerpos inelásticos, animado uno de velocidad y en reposo el otro. La fuerza viva de que el caudal está dotado en sentido normal del eje del canal se gasta en remolinos, y la inercia hace que la interposición en el canal de partículas líquidas sin velocidad se manifieste como un freno.

Para compensar esa acción hay que forzar la pendiente superficial en el canal de descarga, hasta un orden de magnitud desproporcionado con lo habitual en canales en que prepondera la acción del rozamiento.

Fácilmente se comprende la dificultad de someter al cálculo problemas de esta complejidad, y por eso se recurre a la experimentación, que, además de su finalidad puramente científica, en la que por la premura e índole del trabajo hecho en este caso no se ha ahondado cuanto fuera deseable, ha tenido por finalidad inmediata, según queda expuesto, la determinación en un aliviadero fijo de la influencia de los choques laterales producidos por el caudal vertiente sobre el agua que discurre a lo largo del canal de evacuación.

Esta influencia ha sido despreciada en el cálculo de numerosos aliviaderos, y, sin embargo, desde los primeros experimentos se comprobó su enorme importancia, manifestada como un enérgico freno del canal evacuado.

No detallaremos en este artículo, descriptivo de simple información, el fundamento mecánico de la experimentación hecha, que seguramente habrá quien lo haga más adelante en esta REVISTA.

Nos limitaremos ahora a decir, que para la realización de estas investigaciones dispone la Escuela de Caminos, además del Canal de ensayos, antes mencionado, un circuito hidráulico completado mediante un depósito a 20 metros de altura, un canal de retorno y una bomba para restituir el agua al depósito.

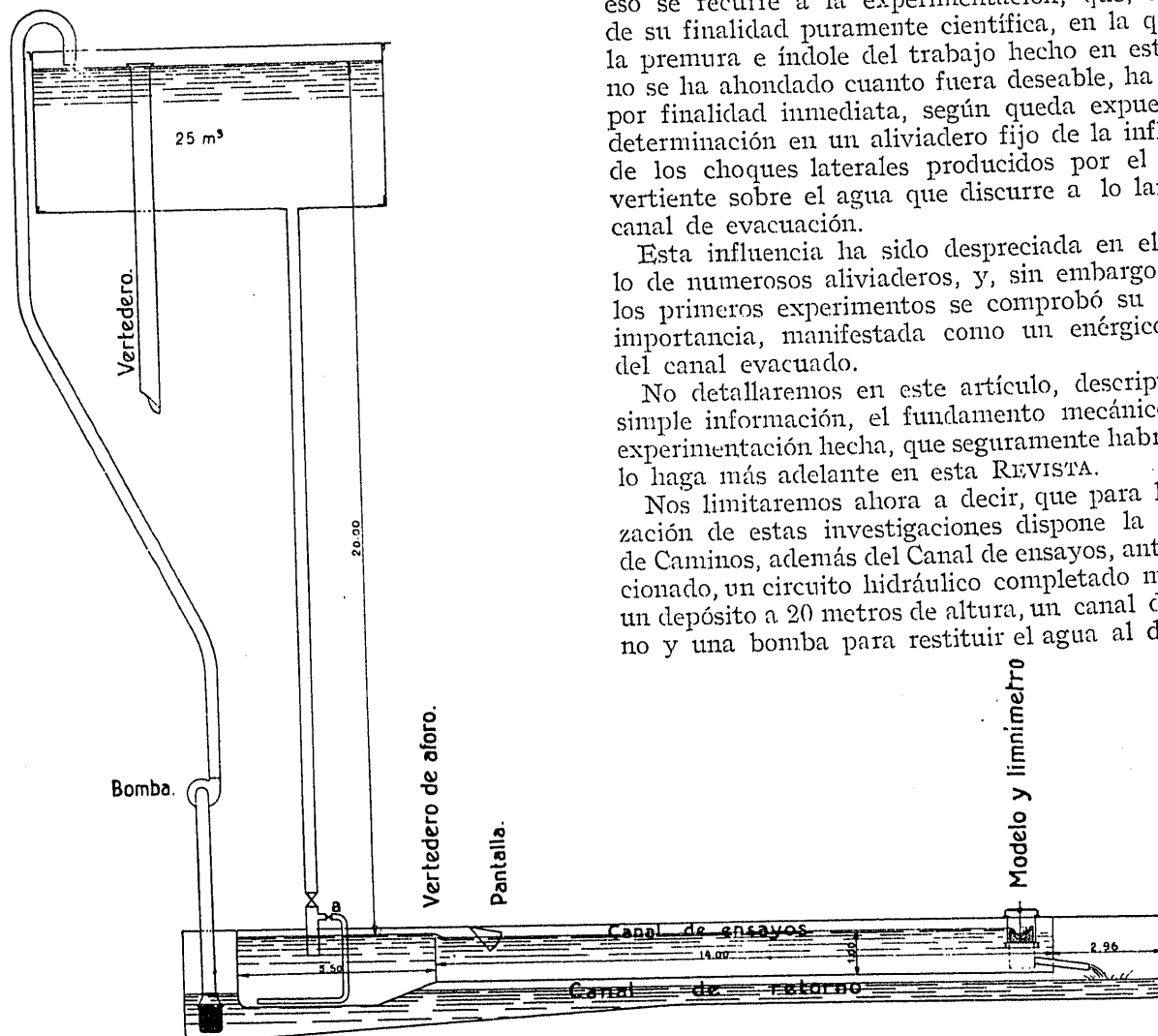


Fig. 2.^a Conjunto de la instalación de ensayos

sición de los filetes líquidos normales al canal, entre los que siguen la dirección de éste, fenómeno que altera por completo las condiciones ordinarias de la circulación.

El régimen no es entonces permanente, sino variable, y en segundo grado, por serlo a la vez la velocidad y el caudal. Las fórmulas de ordinario empleadas en hidráulica, que tienen cuenta del rozamiento y de la transformación de la altura en velocidad o recíprocamente, para caudal constante, no son aplicables, y el problema en general ha de resolverse de otro modo.

Siendo sensiblemente normales las direcciones del caudal en el canal de descarga y del vertiente sobre

Sobre estas instalaciones existentes en el Laboratorio, la Dirección de la Escuela autorizó los gastos consiguientes para adquirir cuanto hiciera falta y montar los aparatos necesarios.

Se pusieron de acuerdo el director del laboratorio, D. Enrique Colás, y los profesores D. José Luis Gómez Nararro y D. Juan Lázaro Urra, con el competente ingeniero de la Sociedad del Alberche, don Antonio Peralba, y mandaron construir un limnómetro y los demás aparatos necesarios.

El esquema de la figura 2 da idea de la instalación montada, y también se reproduce (fig. 3) el dibujo del limnómetro empleado.

El agua procedente del depósito elevado se regu-

labra fácilmente mediante una llave pequeña *a* colocada en una tubería, y del depósito pasaba sobre un vertedero de aforo al canal de ensayos.

Dicho vertedero, de forma rectangular, tiene una longitud de umbral de 20 centímetros, determinada por la condición de que para los caudales normales

La colocación del modelo era bastante difícil. Se decidió situarlo transversalmente al canal y sumergido en éste, apoyándolo sobre un bastidor que sirviera a la vez para nivelarlo y como plano fijo de referencia de las lecturas limnimétricas.

La disposición y detalles de este aparato se ve en

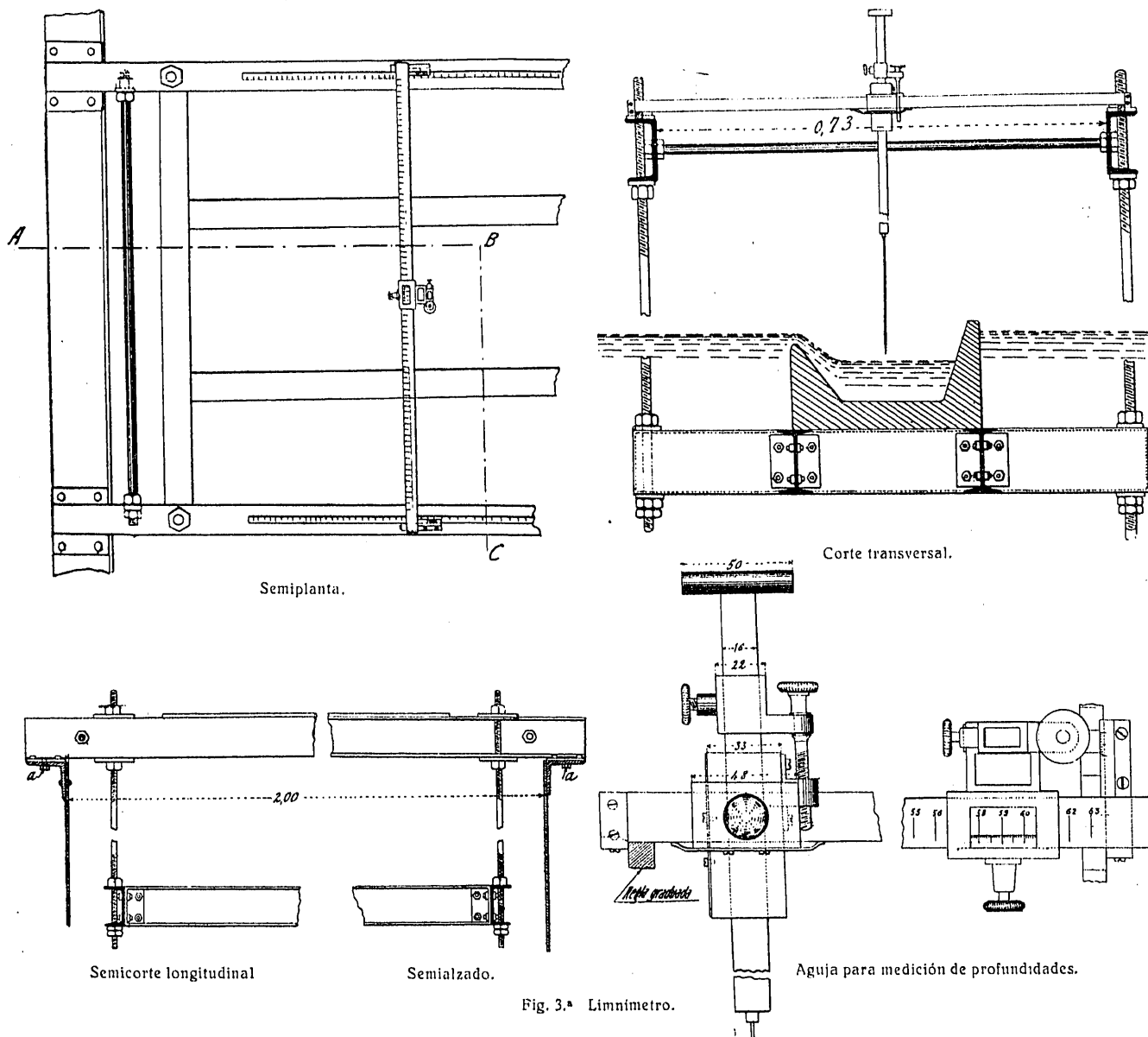


Fig. 3.ª Limnómetro.

cada litro estuviese representado próximamente por un centímetro de altura de lámina.

A fin de suprimir la contracción lateral, sin crear una velocidad inicial, que hubiera perturbado la obtención fácil de las medidas, se dotó al vertedero por la parte de agua-arriba de dos aletas, con lo que se alcanzó un resultado aceptable. A cada una de estas aletas se adosó, por la cara exterior, una escala graduada en milímetros en la misma forma que las miras topográficas, con el cero enrasado a la altura de la arista del umbral.

La fórmula empleada para aforar fué la bien conocida de Rehbock.

En los ensayos previos, hechos mediante un depósito de volumen conocido, no fué posible apreciar diferencias con los resultados de las fórmulas.

En el canal se colocó una pantalla, para cortar la ondulación que en la superficie producía la caída del agua.

la figura 3. En esencia, se trata de un primer bastidor muy rígido, que se apoya, por intermedio de tornillos nivelantes, sobre los bordes del canal. A cada una de las vigas que lo forman, va unido solidariamente un carril graduado en centímetros y cuya superficie es perfectamente plana. Gracias a los tornillos y con auxilio de un nivel se pueden colocar las superficies de estos carriles en un plano horizontal, que será el de referencia.

De este primer bastidor va suspendido, por medio de tornillos y tuercas, otro, que es el que soporta el modelo, cuya nivelación exacta es así fácil.

La operación de *puesta en estación* comprende pues, las operaciones siguientes:

- 1.ª Nivelación del plano de comparación, mediante los tornillos *a*.
- 2.ª Nivelación del modelo con los tornillos *b*.

El aparato descrito se completa, para medir la altura de agua, con una aguja montada sobre un

punto graduado móvil a lo largo de los carriles del bastidor antes citado, y que tiene un movimiento rápido vertical y otro lento con un tornillo de coincidencia, permitiendo apreciar con su nonius décimas de milímetro.

Las graduaciones de los carriles y del puente dan la situación de cada punto en coordenadas rectangulares.

La construcción de los niveles se hizo por el personal de la Escuela, con gran cuidado, pues para que los resultados de los experimentos tuvieran un valor positivo era necesario modelarlos con exactitud, no admitiendo errores superiores a 0,5 milímetros en las alturas, particularmente en la coronación del muro aliviadero.

Fué necesario desechar la escayola, así como el hormigón moldeado, por la dificultad de ejecución de los moldes, y entonces se recurrió, con buen éxito, al procedimiento siguiente:

Dibujados escrupulosamente los perfiles transversales del canal, distantes entre sí de 5 a 10 cm, sirvieron para recortar en zinc unas plantillas, que después eran cuidadosamente repasadas con la lima.

Para el hormigonado se mantenían en posición por medio de unos encofrados, en los que previamente se habían hecho ranuras con ese objeto, montados en una mesa perfectamente plana, sobre la cual se extendía el dibujo en planta del aliviadero, permitiendo así la corrección de pequeñas imperfecciones.

A través de las plantillas de zinc se colocaban varillas de hierro que aumentaban la trabazón.

El hormigonado se hacía en dos etapas: en la primera se daba al modelo una forma aproximada, pero dejando constantemente la masa por dentro del gálibo definitivo, empleándose un hormigón de grava con bastante riqueza (por ejemplo, 350 kilogramos por metro cúbico).

Retirados los moldes, se rellenaba hasta la superficie definitiva con mortero fino y se enlucía con pasta pura de cemento. Las plantillas de zinc garantizaban el acabado del paramento con gran exactitud.

El número de modelos construídos ha sido de tres.

El primer modelo era, cabe decir, que esquemático. Se prescindió en él de la curvatura que, por exigencias del terreno, había que dar al aliviadero, ya que la primera cuestión que interesaba resolver, era la determinación de la influencia del canal vertiente, que pronto se puso de manifiesto.

Las velocidades conseguidas en el modelo eran próximas a las de cálculo, y una experiencia era particularmente decisiva. Si se interrumpía la caída del agua sobre una porción de muro, se veía inmediatamente adquirir gran velocidad al líquido del canal a partir del punto en que cesaba la incorporación del caudal vertiente; la lámina se deprimía en consecuencia, y el régimen se tornaba típicamente torrencial. Pasada la zona de interrupción allí donde la caída del agua sobre el muro comenzaba de nuevo, se notaba que la velocidad disminuía notablemente y se pasaba de nuevo al régimen tranquilo por intermedio del típico resalto, comprobándose así el frenado por el caudal vertiente.

Para estudiar la dirección de los filetes líquidos se hicieron numerosas fotografías, para cuya obtención se instaló un sistema de alumbrado con lámparas eléctricas hasta 7 000 bujías. La iluminación fué casi siempre muy oblicua, a fin de hacer resaltar

los desniveles de la superficie, y para evitar la llegada al objetivo de la máquina de la luz directa de las lámparas se interpuso una pantalla negra que limitaba el campo fotográfico.

Las fotografías hechas fueron en general instantáneas a 1/25 o exposiciones cortas (1/10 de segundo a 1''), echando en este caso previamente en el agua *confetti* blanco.

Entonces las trayectorias están reproducidas por la imagen prolongada de los trocitos de papel, y daban fotografías altamente interesantes. Se reproducen dos correspondientes al segundo modelo. La primera (fig. 4), es una vista de frente, y en ella se observa la alteración que produce el caudal vertiente, manifestada en remolinos y resaltos. Aún más sensible es este fenómeno en la fotografía (fig. 5), en que se han lanzado al canal pequeños trozos de papel, cuyas trayectorias se distinguen perfectamente.

En estos experimentos, profesores y alumnos han trabajado con entusiasmo, juntamente con los ingenieros de la Sociedad «Saltos del Alberche», señores Becerril, Spottorno y Llanos.

Entre los alumnos de la asignatura de Ríos, Canales y Pantanos que en diferentes ocasiones asistieron a ellos y colaboraron a los trabajos, merecen especial mención, por la notable labor desarrollada, el grupo formado por los Sres. Sierra, Martínez Tous, Moya y García Ortega, que se encargaron del estudio de velocidades en los modelos, realizándolo



Fig. 4.



Fig. 5.

con perfecta escrupulosidad y presentado al profesor de la asignatura una interesante Memoria que comprende lo siguiente:

- 1.º Estudio sobre semejanza dinámica.
- 2.º Descripción de algunos experimentos ya realizados en el Extranjero y de los resultados con ellos obtenidos.
- 3.º Datos facilitados por los ingenieros de «Saltos del Alberche, S. A.», acerca de los experimentos por ellos realizados sobre este aliviadero.
- 4.º Estudio realizado por los alumnos que forman el trabajo sobre repartición de velocidades en el modelo en cuestión.

Llamamos muy especialmente la atención de los

ingenieros acerca de la importancia que revisten estas investigaciones hidrodinámicas patrocinadas por la Escuela de Caminos, por ser las primeras hechas en España.

Eta importancia resalta con la sola enunciación de los hechos siguientes:

El proyecto definitivo redactado por la oficina técnica de «Saltos del Alberche» para el aliviadero de que se trata es una reproducción exacta del modelo núm. 3, último de los ensayados, existiendo a su favor una diferencia de presupuesto de unas

200 000 pesetas, respecto al primitivo, y estando garantizada la evacuación, en régimen normal, de una avenida de 870 metros cúbicos por segundo.

Los trabajos de construcción del aliviadero, que debe prestar servicio en el próximo invierno, van ya muy avanzados, y la concordancia, que es de esperar se confirme, con la experimentación del laboratorio, servirá para aumentar la confianza de los técnicos españoles en estos estudios, que tanta importancia han adquirido en diferentes países, y de los que España ya no es una excepción.

V. M.

Diques de abrigo de paramento vertical. - Diques-muros ¹

XIV CONGRESO DE NAVEGACIÓN

Terminaba el anterior artículo diciendo se trataría en éste de los diques de *paramento vertical*, los cuales, según se indicó, son los fundados a profundidad suficiente para no producir alteración sensible en el movimiento ondulatorio de las olas y, al evitar la rompiente de éstas, sea el esfuerzo sobre el dique el debido a la presión hidrostática, adicionado con el del choque consecuencia del movimiento orbitario de las moléculas, esfuerzos estudiados e indicada la forma de su apreciación en artículos anteriores.

Por contraposición con las ventajosas condiciones de adopción del tipo en *talud*, expuestas en el artículo anterior, se puede deducir cuáles sean las de este tipo *vertical*, o sean, entre las más principales: *profundidad suficiente* para evitar la rompiente, *fondo sólido e insocavable* y, en los casos más dudosos, la no existencia de canchales, el disponer de medios auxiliares, menores gastos de conservación, etc.

Ya en el X Congreso, celebrado en Milán en 1905, se indicó como tipo preferible en mares profundos el que entonces se denominaba *tipo mixto*, en realidad tipo vertical; pero la falta de experiencia aconsejaba acogerlos aún con reservas y estudiar más sobre su disposición, estructura y su forma de fundación.

Según se ha hecho al tratar de los diques en *talud*, se indicarán en estos verticales las disposiciones que, como consecuencia de estudios y experiencias, se expusieron como más convenientes en el XIV Congreso, y las estructuras y materiales de estos diques.

En este tipo vertical ya se puede recurrir a determinar más las secciones por el cálculo, y para ello es interesantísimo poder fijar con la mayor exactitud posible la profundidad hasta la cual se hace sentir prácticamente la acción de la ola, o la ola de fondo, para llegar a esa profundidad con el muro vertical. Es indudable la gran dificultad de la fijación de ese límite de acción; por ello es más práctica la norma propuesta por algunos ingenieros relacionada con la altura de la ola, más fácilmente determinable, y así se indica, el llegar a una profundidad mayor de esa altura, o vez y media ésta, dependiendo mucho esa profundidad de fundación de las condiciones de socavabilidad y firmeza del terreno.

Si la profundidad a que se encontrase ese terreno firme fuera igual o poco mayor de la influida por la acción de la ola, se podría apoyar en él el muro-dique; pero si esa profundidad fuese mayor habría de llegarse a este terreno interponiendo un basamento, el cual

puede ser de escollera, y aun ésta de peso relativamente reducido, al no temerse su arrastre. La disposición de este basamento es tan importante, que, en opiniones de muchos ingenieros, ha sido la causa de muchas y las mayores averías.

Ese basamento tendrá naturalmente una sección trapezoidal, siendo su base menor o coronación, de longitud bastante mayor que la base del muro, y tanto mayor, cuanto más se tema que el mar la destruya.

El ingeniero consultor del Gobierno de Mónaco, Mr. Butavand, hace un estudio de la forma y dimensiones a dar a estos basamentos, calculando, a semejanza del procedimiento de Lira, el esfuerzo de las moléculas del fondo en su movimiento orbitario, que se deforma produciendo torbellinos, causa de lo que considera ola de fondo, y con ese estudio llega a determinar las dimensiones del macizo de fundación o basamento, estableciendo que debía ser tal su longitud en la coronación, que el producto de ella por el cuadrado de la altura del muro sea una cantidad constante, y la fija en 3 600 para casos de muros fundados alrededor de -15 m sobre un basamento de unos 5 m de altura en un fondo situado a -20 m; para otras cotas hace variar el valor de esa cifra hasta los $2/3 \cdot 3 600$; indicando que en fondos socavables la longitud de la corona-

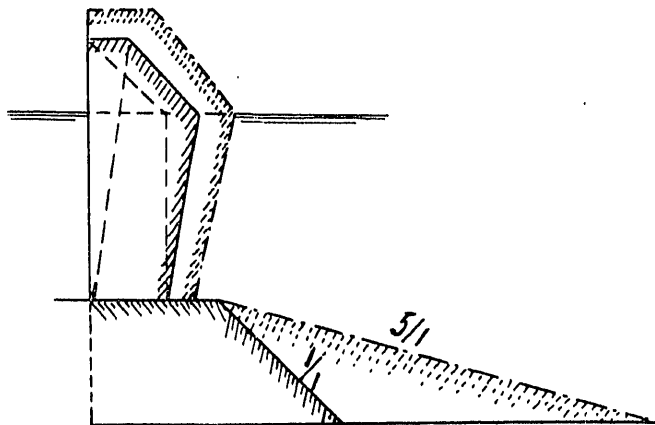


Fig. 1.^a

ción deberá ser la que hubiese de tener, a la profundidad en la cual esa coronación se encuentra, un dique de paramentos inclinados.

Otros ingenieros, como Lira, determinan más, diciendo que, fundado el muro sobre el basamento a vez y media la altura de la ola, debe tener ese macizo de

Véase el número anterior, pág. 337.