

Algunas consideraciones sobre el régimen hidráulico al pie de presas y su aplicación a los ensayos del vertedero del Esla

La Sociedad "Saltos del Duero" se dirigió a la Escuela de Ingenieros de Caminos, a fin de que el Laboratorio de Hidráulica ejecutara determinados ensayos que interesaban al Proyecto del Salto del Esla, perteneciente a la primera y que se encuentra hoy en ejecución muy adelantada.

Sin perjuicio de que describamos más adelante dichos ensayos y los resultados alcanzados más in-

esta cuestión y a ellos nos vamos a referir someramente.

Utilizando desde ahora dos figuras que han de servirnos para describir los ensayos realizados del Salto del Esla (figuras 1 y 2), pueden verse en ellas dos regímenes de agua distintos.

La primera representa el caso en que el agua sale del pie de la presa a una velocidad elevada; la se-

Solera VI.-Desagüe con compuerta por el fondo. Régimen rápido aguas abajo de la compuerta.

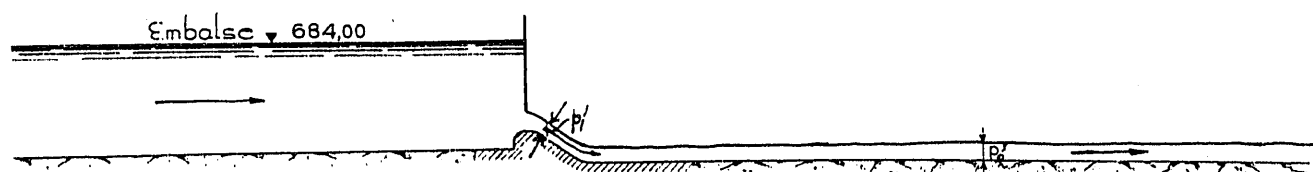


Fig. 1.ª

Solera XXII.-Desagüe con compuerta por el fondo. Rulo hidráulico y régimen que pasa de rápido a lento aguas abajo de la compuerta.

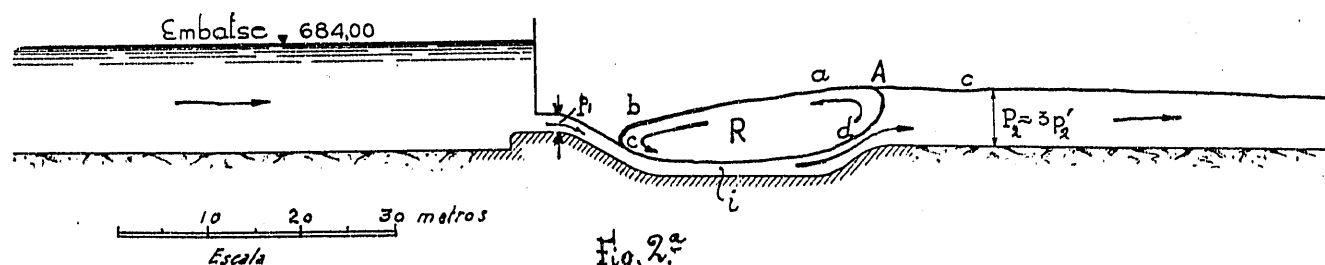


Fig. 2.ª

terezantes, deseamos recoger, con tal motivo, primeramente, algunas orientaciones de carácter teórico, que quizá puedan ser de alguna utilidad para nuestros compañeros.

El problema del paso del agua por las presas era, hasta hace muy poco tiempo, enteramente desconocido; únicamente se apreciaban algunos efectos, como el aumento de velocidad, las socavaciones, la variación general de éstas según los terrenos; pero todo ello en forma puramente empírica y aún muy incompleta e inconexa entre causa y efectos.

El ingeniero carecía de los conocimientos más indispensables para prever las consecuencias del establecimiento de una presa y, desde luego, para proyectar la solera o el pie de aquélla. No tenía otra guía que su buen sentido.

Los Laboratorios de Hidráulica, en los últimos años, han contribuido a aclarar algunos aspectos de

gunda indica una corriente que, teniendo igual caudal por metro lineal de presa, se mueve con velocidad mucho más pequeña que la anterior, siendo, por tanto, su profundidad mucho mayor.

Si se reproducen en un Laboratorio Hidráulico los casos de corriente representados en las figuras de referencia, se observa en la última, mediante la inyección de tintura coloreada, que se forma un gran remolino de eje horizontal R, por debajo del cual se mantiene en movimiento la corriente general. El remolino está permanentemente girando. Este remolino constituye en sí un transformador de energía mecánica en calor. La energía potencial del agua, creada por el desnivel entre el embalse y el de aguas abajo, se transforma inicialmente en energía cinética al salir de la presa (ya por el fondo, como indican los dibujos de las figuras 1 y 2, ya vertiendo por la coronación de la misma en el caso de una presa-verte-

dero). Esta energía cinética, que según la importancia del desnivel y la del caudal, puede tenerla mayor o menor, representa a veces millares y aun millones de caballos, y es la causa productora de las

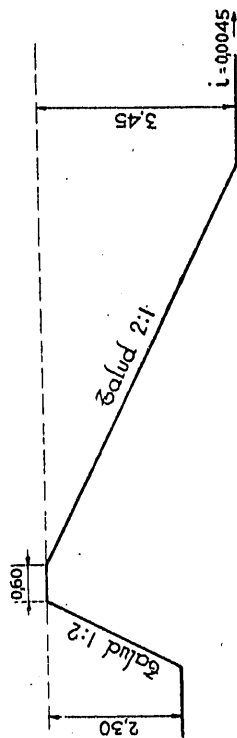
entre los descritos, puede citarse el paso, sin remolino, del régimen rápido al lento. Esto es lo que, recordando a su descubridor, se llama resalto de Bidone.

Perfiles ensayados para solera en el aliviadero del Esca.

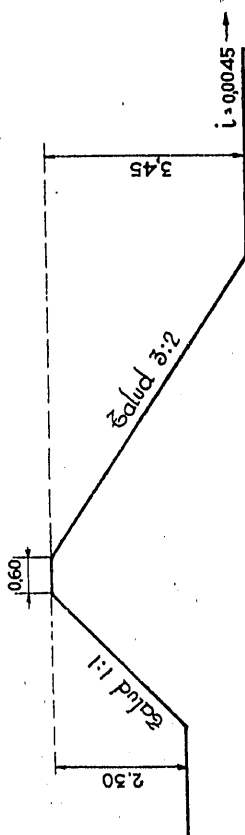
Escala:



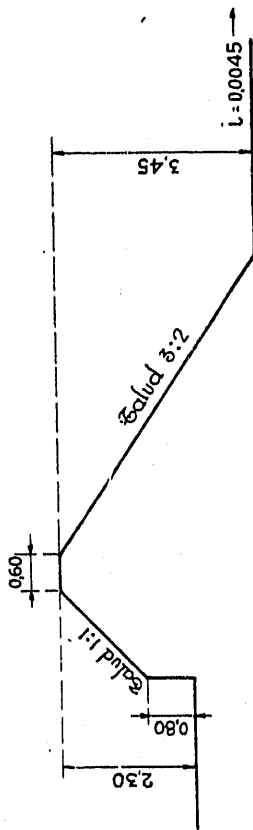
tipo I



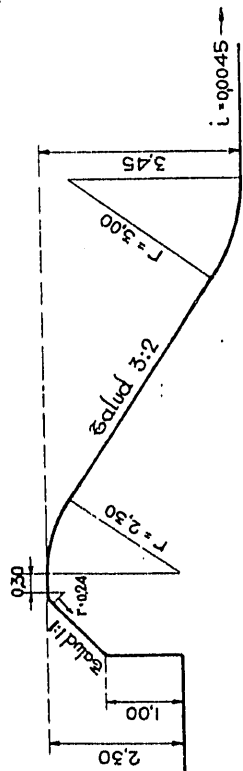
tipo II



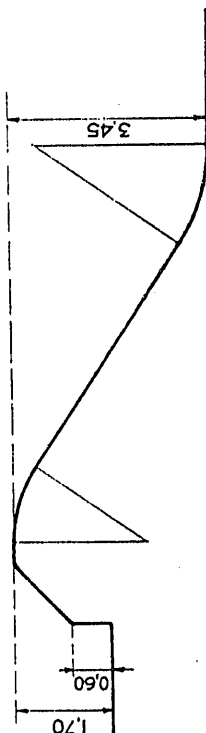
tipo III



tipo IV



tipo V



tipo VI

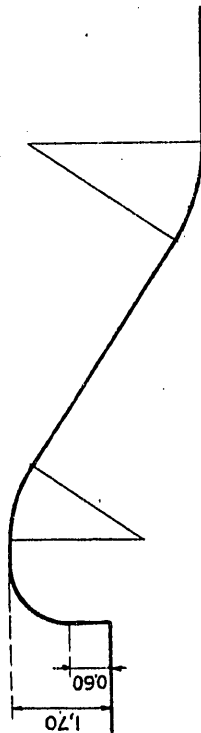


Fig. 3

socavaciones al pie de las presas, de los arrastres, y, en definitiva, el ariete, que ha ocasionado la ruina de muchas obras.

Como variante de la figura 2, o caso intermedio

Los mismos ensayos han demostrado que si se traza la línea de energía (y llamamos línea de energía a la que resulta de sumar al nivel del agua la altura correspondiente a la velocidad media) en es-

tas formas de corriente, su aspecto es totalmente diferente, pues mientras que en la figura 1 la línea de energía se mantiene sensiblemente horizontal, aguas abajo de la presa, en cambio en la figura 2 (o en el simple resalto de Bidone), la línea de energía tiene un descenso brusco y muy importante que alcanza al punto A, en que el remolino citado termina en aguas abajo para iniciarse la corriente normal del agua en el sentido general. Prueba esto que el resalto, o éste y el remolino de referencia, determinan una pérdida de energía importantísima.

Estos hechos, que pusieron de manifiesto los ensayos realizados¹ en los Laboratorios de Hidráulica, son en sí suficientes para comprender el funcionamiento de lo que se viene llamando ordinariamente un "colchón de agua". Un colchón de agua es, como se ve (fig. 2), todo menos colchón, porque el agua que sale de la presa no cae ni pasa sobre el colchón, sino por debajo. No se trata, pues, de un colchón, sino de un remolino o rulo que gravita sobre la corriente, en la que se ha producido un resalto o paso de régimen rápido a lento.

Pero todos estos hechos, aun cuando arrojan luz y explican—en el sentido limitado que tiene este concepto en las Ciencias naturales—el fenómeno físico, no encierra ni alcanza a formular la ley determinante.

En tal sentido, lo más importante a que se ha llegado hoy, que sepamos, es al principio estudiado después por Gibsson y Kock, de las fuerzas de choque, y cuya fórmula matemática es la siguiente:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left[\sqrt{1 + \frac{8g^2}{g h_1^3}} - 1 \right]$$

En ella los símbolos representan:

h_2 = profundidad necesaria, aguas abajo para que se forme el resalto.

h_1 = espesor de la lámina al salir de la compuerta, o si se trata de presa vertedero, el espesor de dicha lámina al pie de la presa.

g = aceleración de la atracción terrestre = 9,80 m/s.

q = caudal desaguado por la presa por metro lineal.

Esta ley indica la profundidad mínima que es necesario que reine aguas abajo de la presa para que se pueda producir el resalto o paso de corriente rápida al régimen de corriente lenta (indicados en la figura 2); y como para que nazca el rulo hidráulico es indispensable que aguas abajo la corriente sea lenta, dicha expresión es, por lo tanto, la que formula la profundidad mínima necesaria que debe disponerse aguas abajo, a fin de que nazca el citado remolino. Siendo, pues, la profundidad real de la corriente mayor que la indicada por dicha fórmula, el rulo puede formarse.

Esta expresión, no obstante la limitación de su contenido, es de un gran valor para servir de guía al ingeniero en proyectos de esta naturaleza y, sobre todo, es hoy por hoy el principal instrumento científico de que dispone. Con ella cabe resolver problemas como el siguiente: ¿A qué altura debe coronarse la solera de una presa para que aparezca el rulo hidráulico; es decir, para que se "mate" la ener-

gía en forma conveniente? La solución del problema fácilmente se comprende de cuanto llevamos dicho: bastará que, calculado el valor de h_2 por la fórmula indicada anteriormente, la solera esté por debajo del nivel del agua correspondiente al caudal de que se trate y cuyo nivel es conocido o se ha fijado por nosotros, si es que podemos hacerlo.

Y no siendo nuestro propósito con estas consideraciones otro que el de dar una guía de carácter general, para comprender el sentido de los ensayos realizados para el Salto del Esia, pasamos a la descripción de éstos.

SERIE PRIMERA DE ENSAYOS DEL ESIA

Esta primera serie de ensayos, amoldados en parte a los deseos de la Sociedad "Saltos del Duero", la cual remitió planta general del canal del vertedero, perfil y cinco formas distintas de soleras, tuvieron por objeto determinar la capacidad de evacuación de cada una de éstas, la de la sección en que se produce el resalto de Bidone, y se ampliaron, a propuesta del Laboratorio, a la determinación de nuevas soleras y sus dimensiones, para que con el nivel normal del embalse se mantuviera con cualquier caudal desaguado un régimen lento en el canal del vertedero; asimismo se determinó el perfil longitudinal del vertedero con algunos tipos de las soleras estudiadas.

No vamos a describir con detalle los ensayos ni a publicar sino aquellos resultados que puedan tener un interés más general o que sirven de comprobación a lo expuesto en la primera parte.

Los tipos de solera ensayados son los que indican la figura 3, proyectados por la Sociedad "Saltos del Duero" y propuestos al objeto de su comprobación experimental; los de la figura 4 fueron sugeridos por el que suscribe.

Capacidad de evacuación de los distintos tipos de solera.—El vertedero de superficie habrá de cerrarse por cuatro puertas iguales, de una luz de 22,50 m, y como en su conjunto debe desaguar 5 000 m³/s, resulta que corresponde por metro lineal de vertedero un desagüe de 55,60 m³/s. El vertedero en planta, según el anteproyecto redactado por la Sociedad "Saltos del Duero", presentaba una curva y una contracurva, a fin de adaptarlo a la configuración del terreno para conseguir su emplazamiento con un mínimo de excavación. Además de esto, la anchura del canal va decreciendo en sentido de la corriente.

Como los ensayos habían de realizarse en el canal de vidrio del Laboratorio, que sólo tiene 0,30 m de anchura, era imposible, a menos de emplear una escala sumamente reducida, desarrollar el vertedero con la forma en planta del Proyecto.

Y como, por otra parte, la influencia hidráulica de las curvas que presenta el trazado es indudablemente menor que el estrechamiento, los obstáculos y rugosidades de las paredes, consideró, el que suscribe, de una aproximación suficiente para la primera serie de ensayos ejecutados, prescindiendo de la curvatura en planta del canal.

Por otra parte, para conocer la capacidad evacuadora de los distintos tipos de solera, con independencia de las otras variables, pareció conveniente empezar por la influencia de ésta en una primera serie de ensayos, pues de esta manera quedaba claramente

¹ Rehbock: Abfluss, Stau und Walzenbildung.

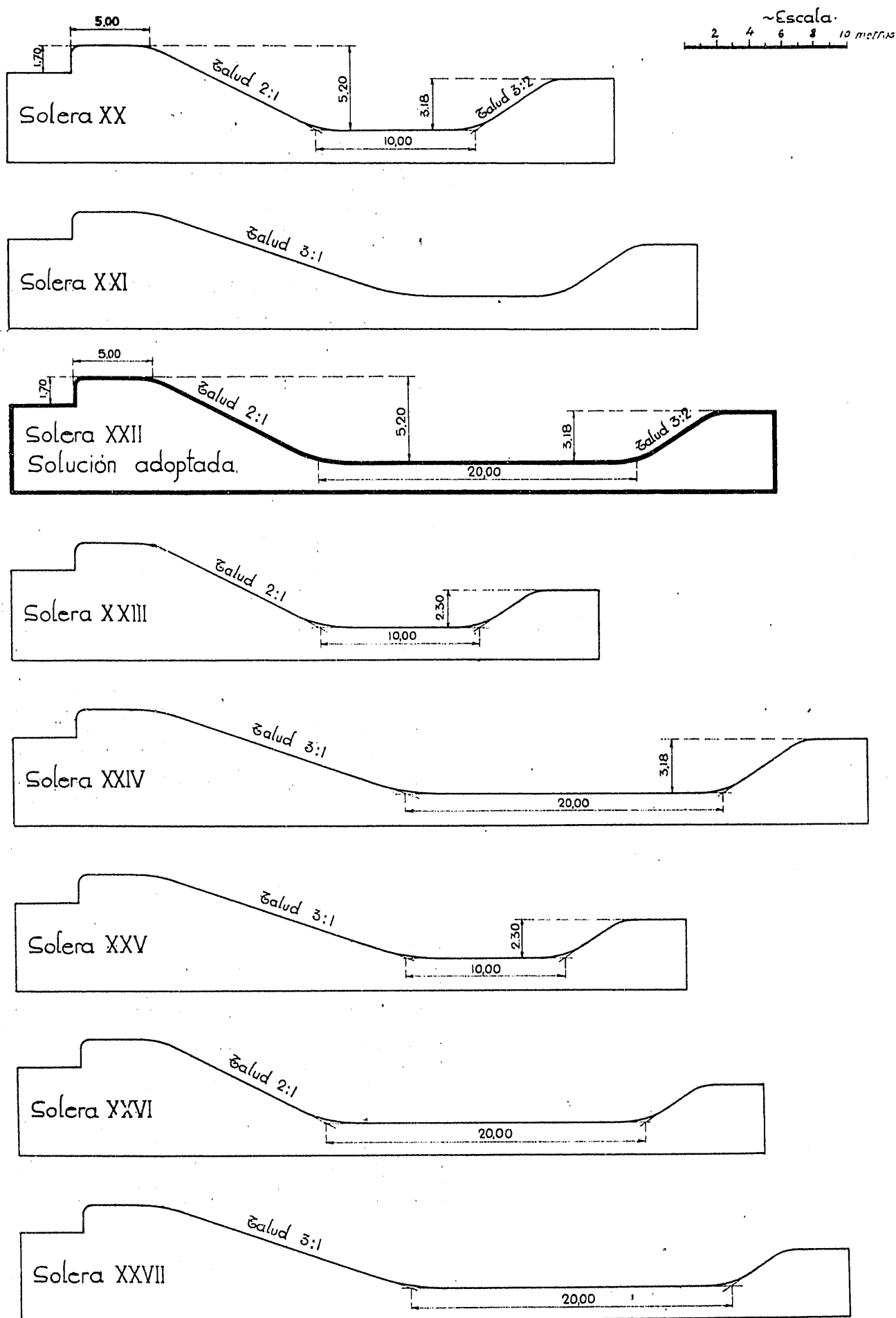


Fig. 4

de manifiesto la influencia que en la capacidad de desagüe del vertedero pudiera tener, como única variable, el tipo de solera que se adoptase. En el cuadro siguiente se detallan los resultados numéricos de tales ensayos y calculado el coeficiente de la fórmula de los vertederos anegados.

$$Q = \frac{2}{3} \mu_1 b \sqrt{2g} \left[(h_3 + K)^{\frac{3}{2}} - K^{\frac{3}{2}} \right] + \mu_2 \sqrt{2g} \cdot b \cdot (h_1 - h_3)(h_3 + K)^{\frac{1}{2}}$$

siendo los símbolos:

- Q = caudal.
 b = longitud del vertedero.
 g = aceleración terrestre.
 K = altura correspondiente a la velocidad.
 h_1 = desnivel entre la coronación del vertedero y el nivel del agua, aguas arriba.
 h_3 = desnivel entre los niveles aguas arriba y aguas abajo del vertedero.
 μ_1, μ_2 = coeficientes.

Cálculo de los coeficientes para los diversos tipos de solera y el caudal máximo de 55,6 m³/s y m l.

Solera	K (m)	h_1 en m	h_3 en m	$\mu_1 = \mu_2$	Observaciones
I.....	1,355	8,47	7,25	0,691	
II.....	1,515	8,075	6,795	0,757	
III.....	1,445	8,505	7,085	0,721	
IV.....	1,425	8,350	6,991	0,737	
V.....	1,95	7,29	5,89	0,835	
VI.....	2,67	6,19	5,04	0,904	Sin estrechamientos, aguas abajo
XX.....	1,49	7,44	3,63	0,829	
XXI.....	1,53	7,78	4,16	0,764	
XXII.....	1,46	7,54	3,69	0,816	
XXV.....	1,53	7,59	3,85	0,797	
XXVI.....	1,54	7,46	3,8	0,814	

En este resumen están deducidos los valores del mencionado coeficiente para los cinco tipos propuestos por la Sociedad "Saltos del Duero" y para un sexto tipo proyectado en el Laboratorio y que es muy parecido al número V, sin más que redondear, por aguas arriba, dicha solera. El mismo resumen contiene también el repetido coeficiente para cinco tipos de la serie XX. Y según puede apreciarse en el cuadro, el coeficiente varía de 0,691 para el tipo I a 0,904 para el tipo VI.

Como era lógico esperar, las soleras redondeadas V y VI, tienen mayor capacidad de desagüe. Las soleras de la serie XX tienen capacidad comprendida entre aquellos límites, y de entre ellos nos conviene destacar la XXII, que tiene también un elevado coeficiente, pues alcanza a 0,816. Si el problema hubiera estado exclusivamente en la determinación de la solera de máximo rendimiento hidráulico, no cabe duda que el tipo preferible es el VI. Pero hay otras razones que se indican más adelante, favorables al XXII, por lo que se apreciará de lo que se dice.

SERIE DE ENSAYOS CON LA SOLERA TIPO VI, CON CAUDALES DISTINTOS, SIN Y CON COMPUERTAS

Las figuras 5, 6, 7 y 8 dan idea de estos ensayos (en los que se han producido estrechamientos naturales del canal de aguas abajo, en forma propor-

nada al del Proyecto). De dichos ensayos nos interesa destacar la forma de la corriente que indican las

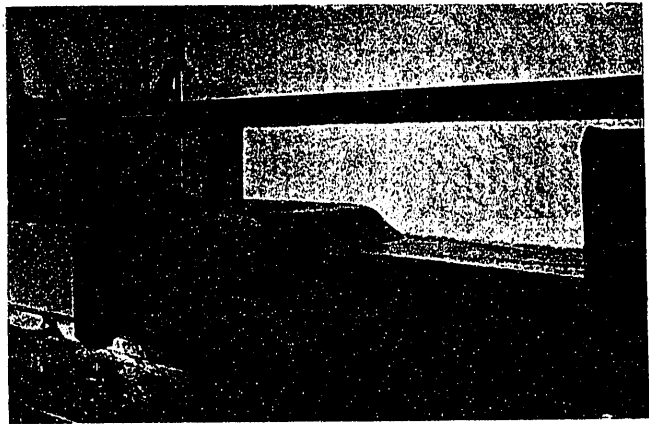


Fig. 5.—Solera VI. Desagüe sin compuertas. Caudal, 20 m³/s y m l

figuras 7 y 8, que, como se puede apreciar en las fotografías, corresponden exactamente con la figu-



Fig. 6.—Solera VI. Desagüe sin compuertas. Caudal, 40 m³/s y m l

ra 1 de este trabajo. La solera VI produce régimen rápido aguas abajo de la presa de cierre del vertede-

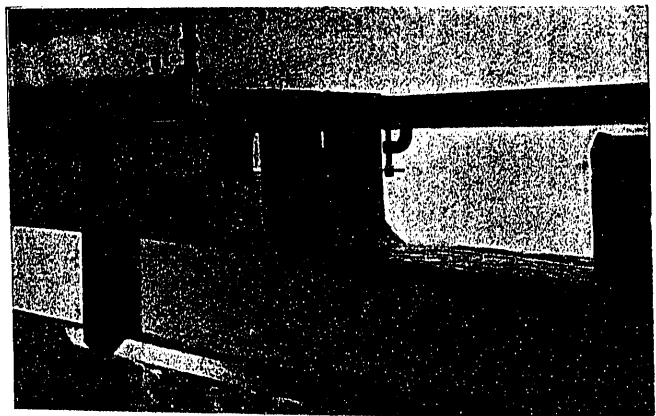


Fig. 7.—Solera VI. Desagüe por compuerta. Embalse a su cota normal máxima (684,00). Caudal, 20 m³/s y m l. El régimen es rápido aguas abajo de la compuerta

ro y velocidades que, según se ha podido determinar en el Laboratorio, son del orden 15 m/s en el canal de dicho vertedero (valor referido al tamaño real).

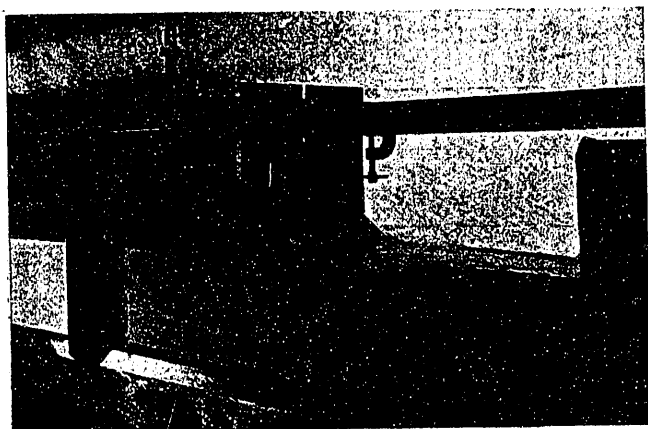


Fig. 8.—Solera VI. Desagüe por compuerta. Embalse a su cota normal máxima (684,00). Caudal, 40 m³/s y m l. El régimen es rápido aguas abajo de la compuerta

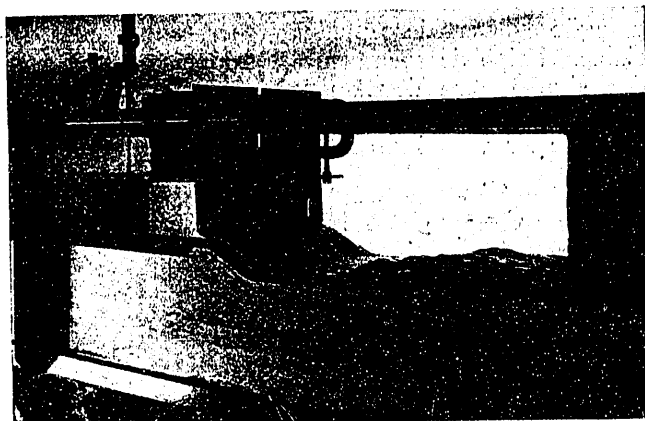


Fig. 11.—Solera XXVI. Desagüe por compuerta. Embalse normal máximo (684,00). Caudal, 20 m³/s y m l. Como en el caso de las soleras VI y XX, el régimen aguas abajo de la compuerta es rápido

Ensayos de las soleras XX y XXVI, que resultan insuficientes.—La solera XX, no obstante la profundización que crea, tampoco es capaz de transformar el régimen rápido en lento, como puede apreciarse

idéntica manera funciona la solera XXVI, según demuestran las figuras 11 y 12. Aquí la solera es menos profunda que la anterior, pero mucho más larga, en sentido de la corriente. A la solera XX le falta

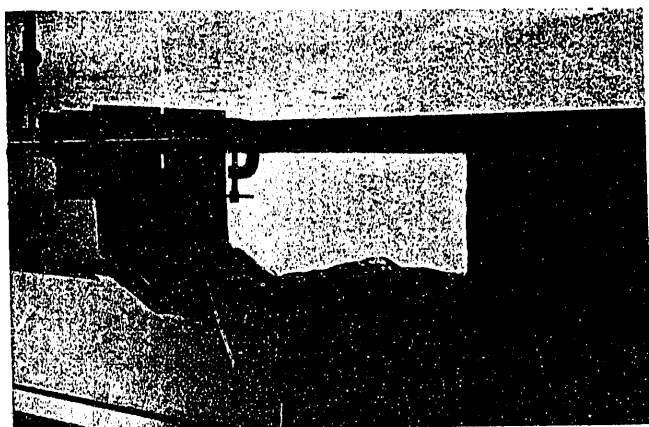


Fig. 9.—Solera XX. Desagüe por compuerta. Embalse a su nivel normal máximo (684,00). Caudal, 20 m³/s y m l. El régimen aguas abajo de la compuerta es rápido

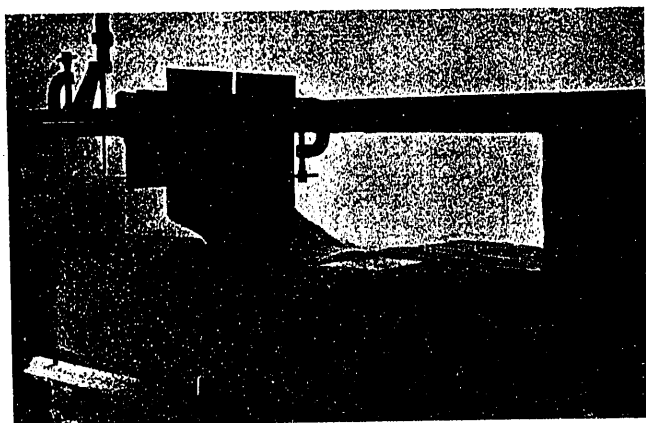


Fig. 12.—Solera XXVI. Desagüe por compuerta. Embalse normal máximo (684,00). Caudal, 40 m³/s y m l. Régimen rápido aguas abajo

de las figuras 9 y 10, en las que se ve que la lámina rápida se adapta a la forma de la solera, pero sin que surja en ella resalto ni menos rulo hidráulico. De

longitud y a la solera XXVI le falta profundidad, como demuestran los ensayos realizados con la XXII.

Ensayos con la solera XXII.—Las figuras 13 a 17 inclusive corresponden a los ensayos realizados sin

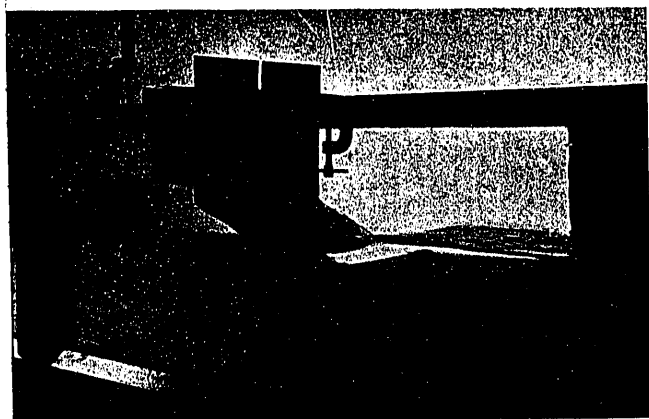


Fig. 10.—Solera XX. Desagüe por compuerta. Embalse a su nivel normal máximo (684,00). Caudal, 40 m³/s y m l. Régimen rápido aguas abajo

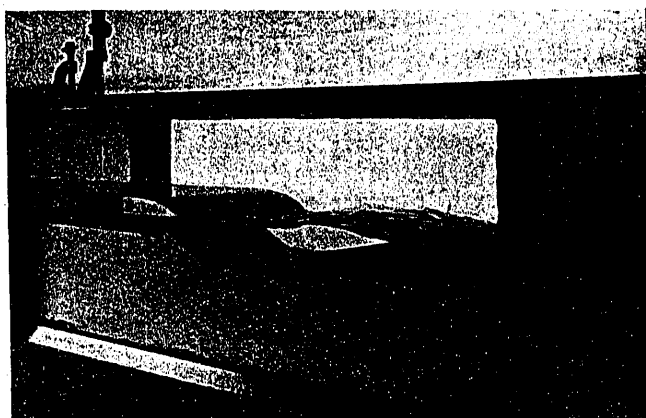


Fig. 13.—Solera XXII. Desagüe sin compuerta. Caudal, 20 m³/s y m l. Vista parcial

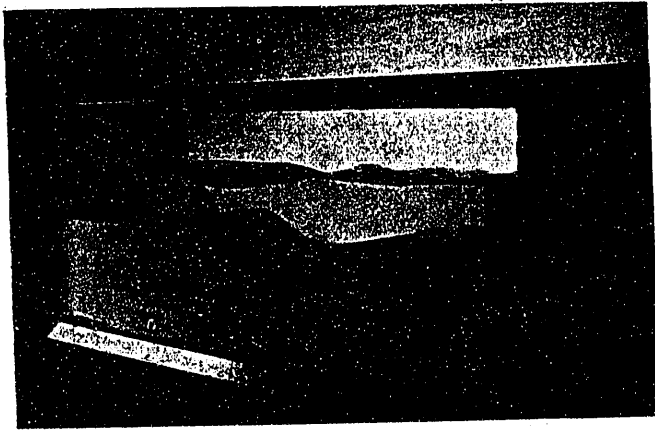


Fig. 14.—Solera XXII. Desagüe sin compuerta. Caudal, 55,6 m³/s y m l. Vista parcial

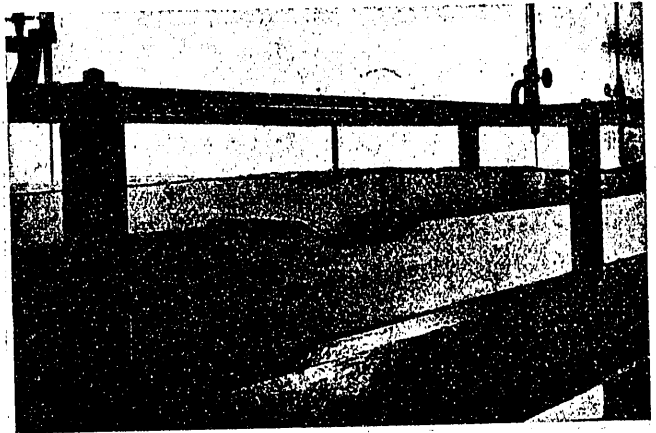


Fig. 17.—Solera XXII. Desagüe sin compuerta, de 55,6 m³/s y m l. Vista de conjunto

compuertas. La figura 15, que reproduce con toda fidelidad un perfil de escala, indica con claridad la forma del régimen de la corriente. Al pasar sobre la coronación de la solera en un corto trayecto, tiene

cual son especialmente expresivas las figuras 20 y 22, perfil que reproduce la figura 2 de este trabajo.

En la figura 20 puede apreciarse la parte superficial alborotada del rulo hidráulico, con gran cantidad

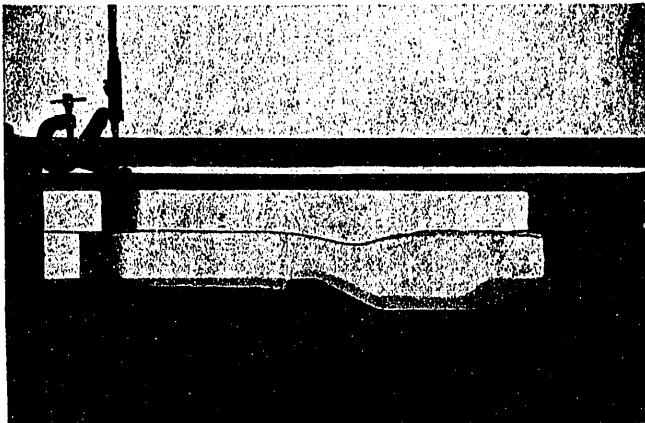


Fig. 15.—Solera XXII. Desagüe sin compuerta, de 40 m³/s y m l. Vista de perfil

una pendiente relativamente considerable, y el régimen allí es rápido, para convertirse en lento, según denuncian los remolinos superficiales que se aprecian en la misma fotografía. Las figuras siguientes indican con toda claridad la formación de un rulo, del

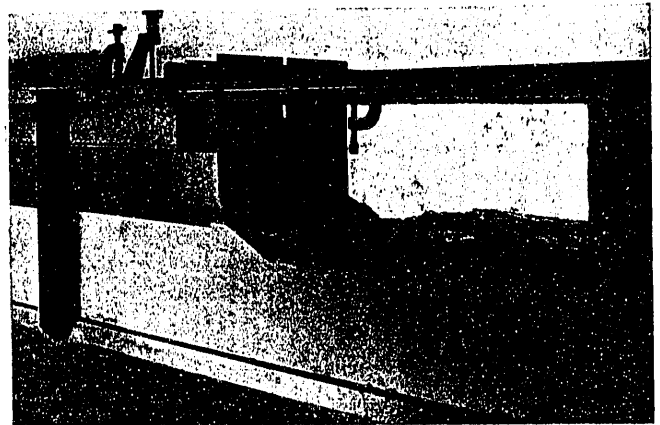


Fig. 18.—Solera XXII. Desagüe por el fondo de compuerta. Embalse a nivel normal máximo. Caudal, 20 m³/s y m l. Régimen lento aguas abajo de la compuerta. Fórmase rulo hidráulico

de burbujas de aire, y con una contrapendiente que muestra el sentido del movimiento del agua en la parte superficial del rulo, contrario al general de la corriente.

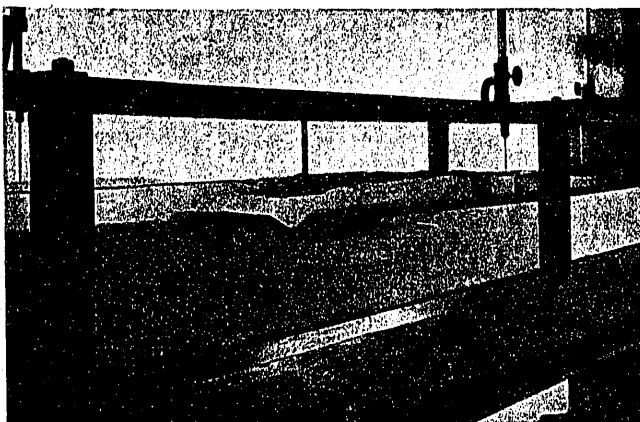


Fig. 16.—Solera XXII. Desagüe sin compuerta, de 40 m³/s y m l. Vista de conjunto

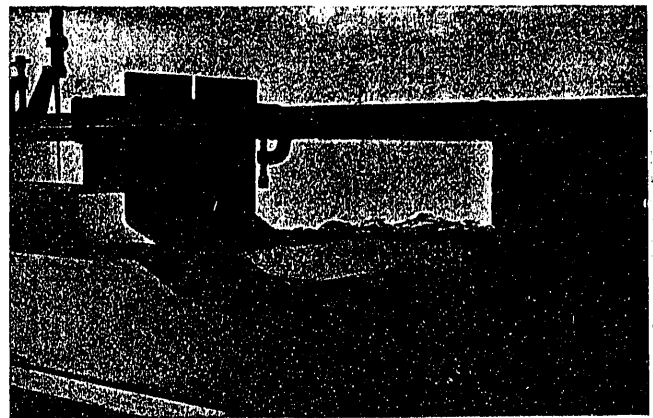


Fig. 19.—Solera XXII. Desagüe por compuerta. Embalse a nivel normal máximo (684,00). Caudal, 40 m³/s y m l. Régimen lento aguas abajo, con formación de rulo hidráulico

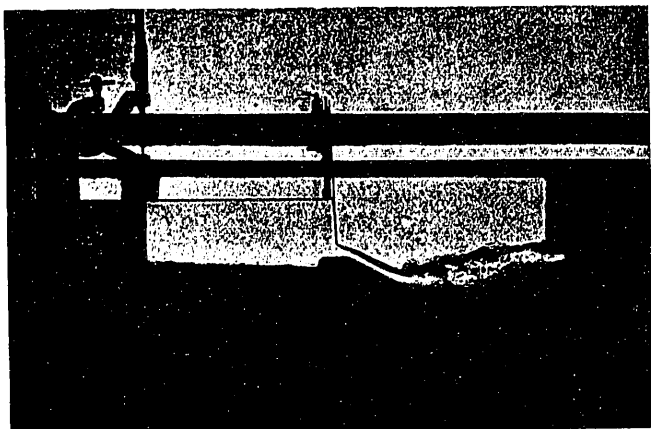


Fig. 20.—Solera XXII. El mismo caso de la fig. 18, visto de perfil. Se aprecia al movimiento tumultuoso del rulo

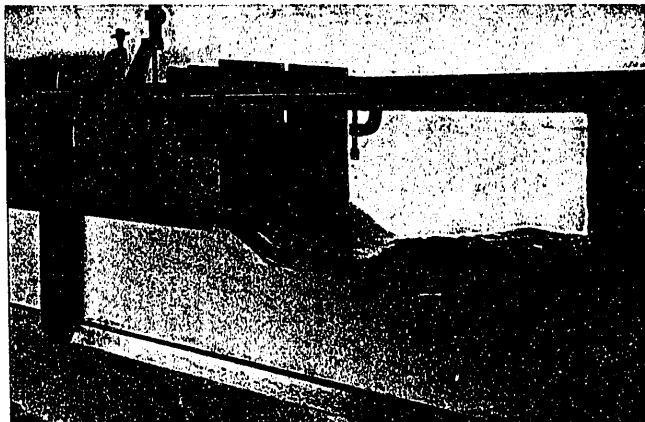


Fig. 23.—Solera XXII. Desagüe por el fondo. Embalse normal. Caudal, 20 m³/s y m l. El rulo ha desaparecido por un barrido energético, artificial y de acción completamente externa al fenómeno hidráulico

La figura 22 indica que el rulo tanto se forma con una compuerta desaguanta por el fondo como con una compuerta de vertedero para la misma solera; es decir, que lo interesante son las dimensiones de lon-

artificialmente por una acción completamente externa al fenómeno hidráulico en sí. Pero el régimen, en este caso, carece de estabilidad, y un obstáculo inter-

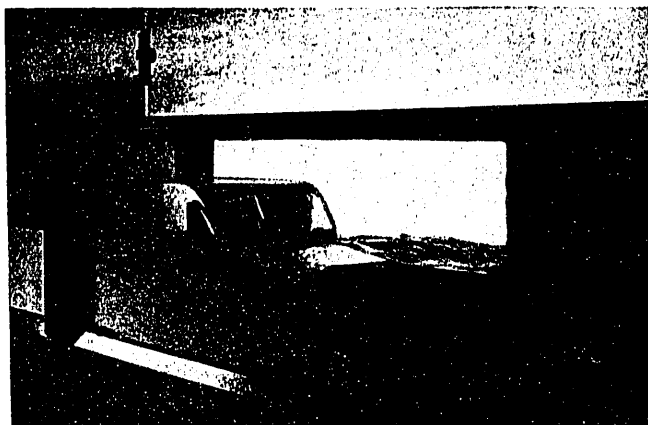


Fig. 21.—Solera XX. Desagüe por compuerta-vertedero, con el embalse normal máximo. Caudal, 20 m³/s y m l. Fórmase también rulo

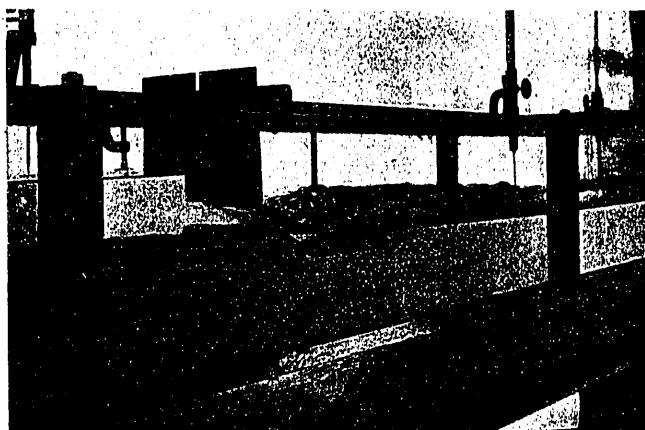


Fig. 24.—Solera XXII. Vista general del canal de desagüe, en el caso de la fig. 19

gitud y profundidad, más que la forma de evacuación de la presa, ya sea por el fondo, ya por la superficie.

La figura 23 indica un fenómeno puramente de laboratorio, por haberse barrido el rulo hidráulico

calado en la solera o un cierre de compuerta puede determinar la nueva e inmediata formación de rulo.

Las figuras 24 y 25 son vista general del canal de desagüe.



Fig. 22.—Solera XX. El mismo caso de la fig. 21, visto de perfil

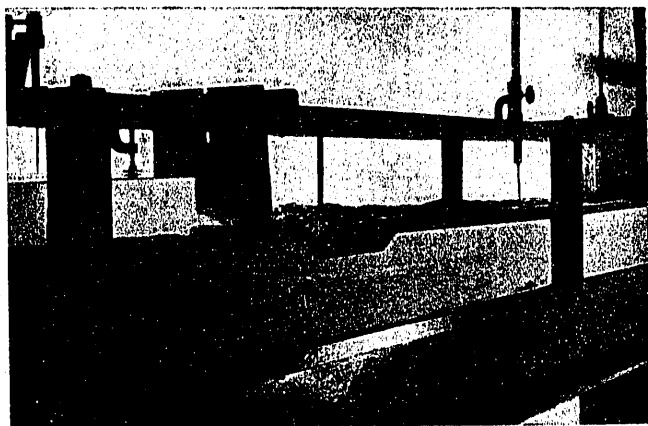


Fig. 25.—Solera XXII. Vista general del canal de desagüe, en el caso de la fig. 18

CONCLUSIONES

Se deduce de cuanto antecede la posibilidad, caso de estimarse conveniente, de proyectar la solera de una presa que desagüe por el fondo o por la superficie, de modo de tener a voluntad régimen lento o rápido. El régimen rápido puede ser más conveniente en todos aquellos casos en que los cauces tengan consistencia para resistir las grandes velocidades del agua que debe circular por ellos.

En el caso de los ensayos del Esla, este régimen determina velocidades de 15 m/s y el régimen lento (después del rulo hidráulico) velocidades que son aproximadamente la tercera parte de las anteriores. Siempre que lo soporte, pues, el cauce, el régimen rápido tiene la ventaja de exigir secciones menores.

El régimen lento puede ser conveniente y hasta necesario en los casos en que se estime socavable el lecho o en que el coste de primer establecimiento

a causa del revestimiento puede resultar muy costoso o de conservación onerosa.

Una guía para esta clase de proyectos la da la expresión (la reproducida en este trabajo) para la formación del resalto; para la formación del rulo, dicha ley es condición necesaria, pero no suficiente de que llegue a formarse o tenga estabilidad con los caudales a considerar.

Se ha visto en los ensayos que la solera XXII, no obstante tener la misma profundidad que la XX, crea rulo, y, en cambio, la otra no lo crea. Es decir, que aun la citada fórmula es insuficiente para proyectos de obras y sigue siendo necesaria la experimentación de hidráulica, para completar las indicaciones que se detallan, de orientación general que permiten las consideraciones teóricas anteriores.

En un próximo artículo nos referiremos a los ensayos realizados para el trazado de conjunto del canal del vertedero.

A. DEL AGUILA

Profesor de la Escuela de C., C. y P.

Presa de contrafuertes¹

III

CÁLCULO DE LAS CARGAS TANGENCIALES

Con objeto de presentar una aplicación de este método desarrollaremos el cálculo para una sección, la de la base, y para las demás secciones consideradas nos limitaremos a dar los resultados.

Sección de la base, profundidad $y = 57$ m.

Las principales características de esta sección, deducidas de las expresiones [1], haciendo en ellas $y = 57$, son:

$$x_1 = 34,20 \quad x_2 = 32 \quad x_3 = 29,50 \quad x_4 = 26 \quad x_5 = -34,20$$

$$Z_0 = 5,00 \quad Z_1 = 2 \cdot x - 47 \quad Z_2 = \frac{1252}{11} - \frac{35}{11} \cdot x$$

$$\frac{dx_1}{dy} = \frac{3}{5} \quad \frac{dx_2}{dy} = \frac{3}{5} \quad \frac{dx_3}{dy} = \frac{97}{170} \quad \frac{dx_4}{dy} = \frac{97}{170}$$

$$\frac{dx_5}{dy} = -\frac{3}{5} \quad \frac{dZ_0}{dy} = \frac{2}{57} \quad \frac{dZ_1}{dy} = -\frac{97}{85} \quad \frac{dZ_2}{dy} = \frac{21}{11}$$

En el cuadro número 1 vemos que las cargas normales verticales para esta sección valen:

$$n = P + Q \cdot x = 98,3267 - 0,91496 \cdot x$$

y llamando n_1 al valor de n para $x = x_1$, n_2 al que tendría para x_2 , etc., resulta:

$$n_1 = 67,0351 \quad n_2 = 69,0480 \quad n_3 = 71,3354 \quad n_4 = 74,5378$$

$$n_5 = 129,6183$$

el valor de $\frac{dn}{dy}$ no le conocemos, y, como ya sabemos, haremos

$$\frac{dn}{dy} = P' + Q'x$$

determinando después P' y Q' .

Aplicando las fórmulas [3] a [7] tendremos:

Desde $x = x_5$ hasta $x = x_4$

$$t = \int_{-34,2}^x (P' + Q'x)dx + \frac{1}{5} \cdot \frac{2}{57} \int_{-34,2}^x (98,3267 - 0,91496 \cdot x)dx +$$

$$+ 129,6183 \cdot \frac{3}{5} - 2,3(x + 34,2)$$

$$t = \left(\frac{1}{2} (P' + 0,00321)x^2 + (P' - 1,60999)x - 584,82Q' + \right.$$

$$\left. + 34,2P' + 26,464383 \right)$$

$$\text{Para } x = x_5 = 34,20 \quad t_5 = 77,77 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{Para } x = x_4 = 26,00 \quad t_4 = -246,82Q' + 60,2P' - 17,56558$$

Desde $x = x_4$ hasta $x = x_3$

$$t = \frac{1}{2x - 47} \left[\int_{26}^x (2x - 47)(P' + Q'x)dx - \frac{97}{85} \int_{26}^x (98,3267 - \right.$$

$$\left. - 0,91496 \cdot x)dx - 74,5378 \cdot \frac{97}{170} (5 - 5) - 2,3 \int_{26}^x (2x - 47)dx + \right.$$

$$\left. + (-246,82Q' + 60,2P' - 17,56558) \cdot 5 \right]$$

O sea,

$$t = \frac{1}{2x - 47} \left[\frac{2}{3} Q' \cdot x^3 + (P' - 23,5Q' - 1,7779)x^2 - \right.$$

$$\left. - (47P' + 4,1081)x + 2934,56Q' + 847P' + 1220,86687 \right]$$

$$\text{Para } x = x_4 = 26,00 \quad t_4 = -246,82Q' + 60,2P' - 17,56558$$

En esta sección de la base vemos que resultan iguales t'_4 y t_4 , como debe ser, puesto que en ella no hay discontinuidad para $x = x_4$.

$$\text{Para } x = x_3 = 29,50 \quad t_3 = -33,4493Q' + 27,5625P' - 37,2975$$

¹ Véase el número anterior, página 335.