

Proyecto de caída en canal para 12 metros de altura y un gasto de 60 metros cúbicos por segundo

POR

LEONARDO LIRA

Observación (En lo que sigue con respecto a la caída he supuesto un terreno corriente que puede soportar, con seguridad, una presión de trabajo de $2,5 \text{ ks/cm}^2$. Si al practicar las excavaciones se encontrase terreno de peor clase habría que consultar fundaciones especiales para los muros).

La experiencia ha indicado que es más conveniente, desde el punto de vista de la conservación, el tipo de caída libre que el que consiste en perder parte de la carga por frotamientos en un plano inclinado. Especialmente destructora es la acción del remolino que se forma al pié del rápido remolino que en el caso del proyecto Philipp Holzmann arrasaría con la barrera curva de concreto proyectada al pié, como ha arrasado en algunas obras análogas con barreras formadas por pilotaje de fierro clavado en el subsuelo (Unwin Hydraulics). El valor absoluto de la caída y la falta de roca en el subsuelo imponen la división de la caída en 2, en conformidad con la práctica actual. Paso a continuación a describir, en detalle, la solución adoptada.

CANAL DE LLEGADA.—Con el objeto de disminuir la velocidad de llegada para colocarse en los límites experimentales y obtener en forma más segura la división del agua para disminuir la intensidad de la acción dinámica, el canal de llegada se ensanchará en unos 40 metros aguas arriba, hasta tener un ancho de 13 metros en la base.

MUROS GUARDA BARRERAS DE AGUAS ARRIBA DEL ZAMPEADO ANTERIOR Y DEL ZAMPEADO POSTERIOR DE LA CAIDA.—Tienen por objeto, el 1.º, el detener la acción socavadora que puede producirse por el aumento de velocidad y torbellinos formados en la vecindad de la caída, y el 2.º, la acción de socavación por la agitación del agua antes de recobrar su movimiento natural en el canal. Basta darles una profundidad de 1,20 mts. en un terreno corriente.

ZAMPEADO ANTERIOR.—Con el objeto de proteger el terreno de la acción de los torbellinos vecinos a la caída y del aumento de velocidad se ha protegido el fondo y los taludes con un revestimiento de concreto de 0,25 m. en una longitud

de 5 metros, pues la acción de estos torbellinos y mayor velocidad se extiende a poca distancia.

ZAMPEADO POSTERIOR.—Tiene por objeto proteger el terreno contra la acción de corrientes irregulares y torbellinos que se forman aguas abajo de la caída. Su acción se extiende a mayor distancia que en el caso anterior y para el caso presente basta con un largo de 10 metros y un espesor 0,15 m.

LARGO DEL COLCHÓN.—Depende de la velocidad de llegada, del volúmen de agua, de la altura de caída y del tipo empleado. En el caso presente y de acuerdo con obras existentes que han dado buen resultado (caída de Kushak en el canal Agra) se ha dado una longitud de 20 metros y se ha acordado con un plano inclinado con la nueva cresta. Esta longitud ha sido aumentada, en la 1.ª caída, a 25 metros para obtener agua tranquila en el paso a la 2.ª caída.

PROFUNDIDAD DEL COLCHÓN.—Aunque W. G. Bligh (ingeniero constructor del Departamento de Trabajos Públicos de la India) ha manifestado que la caída con notch no necesita colchón, he adoptado lo uno, en el presente caso, para economizar un poco en espesor de zampeado y por estimar que el volúmen de agua, el valor absoluto de la caída y las consecuencias de un accidente exigen, en este caso, una mayor seguridad. Su espesor es de 1,50 m.

ANCHO DEL COLCHÓN.—La práctica ha recomendado darle un ancho ligeramente superior al de la base del canal. Se ha elegido 13,60 mts.

FORMA DEL COLCHÓN.—Entre las diversas formas de colchones he adoptado la más recomendable formada por una depresión seguida de un plano inclinado que ha probado dar buenos resultados en diversas obras (canal de Kistna).

ESPESOR DEL ZAMPEADO.—No conviene, en esta parte de la obra, usar concreto armado porque el efecto del choque del agua debe resistirse con masa y nó con resistencia. Sin embargo, se consulta una armadura de 5 8", espaciada de 0,30 m. para hacer solidaria toda la masa contra las vibraciones. Hay muchas fórmulas para el espesor del zampeado y sólo citaré una, la de Bligh, que corresponde a un criterio falto de economía y que dá para él $\sqrt{\text{alt. caída} + \text{alt. agua en canal}}$ (en piés), o sea, para el caso presente, 1,60 m. He adoptado 0,90 mts. por tratarse de caída con colchón con refuerzo y en vista de la práctica más económica de Estados Unidos que dá 0,60 mts. a los zampeados de represas con caídas de más de 600 metros.

MURO DE LA CAÍDA.—Entre las diversas disposiciones que puede darse a este muro he preferido la más económica que consiste en colocarlo como muro transversal empotrado en las laderas y contra el cual vienen a dar los revestimientos del canal, por un lado, y los muros en ala, por el otro.—Considero segura esta solución porque la naturaleza del terreno y de las aguas y la poca presión no hace temer el peligro de corrientes de agua bajo tierra de flanqueo o de socavación bajo la base.—En cuanto a la forma del muro mismo, dada la altura, se ha elegido la cantiliver con refuerzos, empleando, naturalmente, el concreto armado como material.

Las dimensiones han sido calculadas para una dosis de 260 kgs. por m.³ de concreto, con $T=1\ 200\ Kg\ mm^2$. y suponiendo ϕ para las tierras de 30° y $\pi = 1\ 600\ kg\ m^3$.

UMBRAL DE LA CAÍDA.—La dificultad para encontrar un dispositivo adecuado para el umbral, consiste en que, para conservar la velocidad aguas arriba, es necesario no permitir que el nivel baje en las vecindades de la caída, cosa que sucede con todo escurrimiento en vertedero con umbral de altura nula.—Por otra parte, el colocar un umbral tiene el inconveniente de aumentar la altura de caída y de retener las materias en suspensión.—Por estas razones y con el objeto de disminuir en lo posible la acción de la energía quinética del agua se ha adoptado el tipo conocido con el nombre de «notch», ya bastante experimentado y que ha demostrado suficientemente su eficacia.

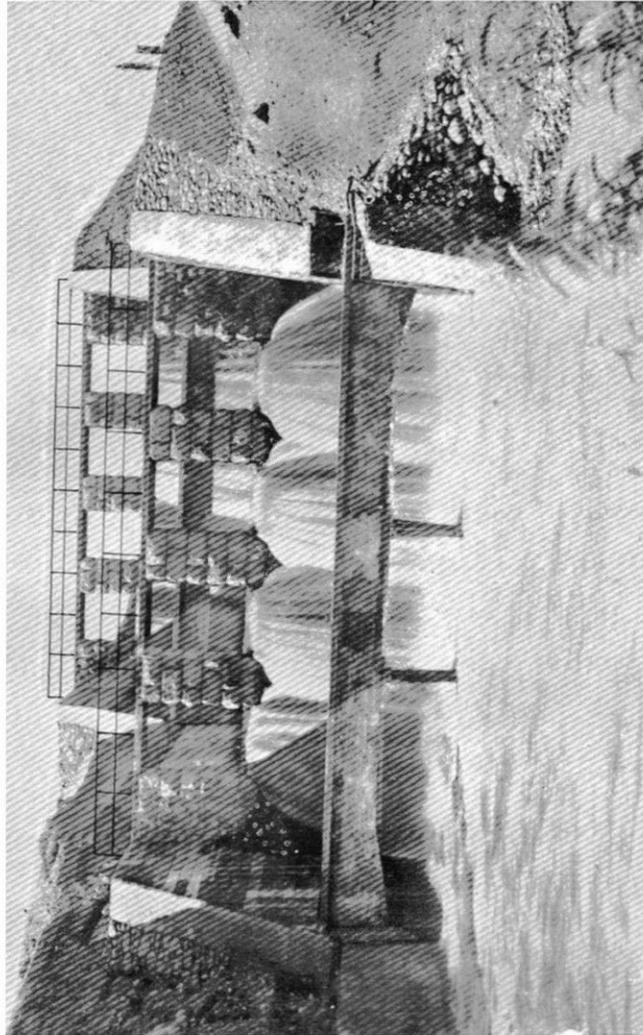
Su dispositivo que se puede comprender fácilmente en los planos, permite mantener en el umbral, el mismo nivel del canal para una descarga dada.—La práctica ha indicado que no es necesario construir las muecas con sujeción estricta a la curva complicada que dá el cálculo para cumplir con la condición citada con cualquier gasto y que basta dibujarlas con dos líneas rectas calculadas para dos niveles.—De acuerdo con lo manifestado por el señor Manuel Ossa, en cuanto al gasto probable efectivo del canal, he calculado esas muecas para los gastos máximo de 60 m³. y mínimo de 30 m³. por segundo, o sea, alturas de agua entre 2,4 m. y 1.80 m.

El ancho de los pilares es de 1,44 m. y su espesor de 1,20 m.—El labio sobresale de la pared del muro en 0,60 m. y el plano de las muecas está a 0,45 m. hácia aguas arriba.

MUROS LATERALES.—Aunque existen casos en que para los muros laterales del colchón de agua, se ha adoptado un simple revestimiento y la construcción dura todavía (en Burma), he creído que para el caso presente se debía adoptar una construcción más definitiva y así, para los muros vecinos al muro de caída, se ha adoptado el mismo cantiliver con contrafuertes y para el muro, a continuación, un perfil gravitacional con talud 1'3.

MATERIALES.—Serán de concreto armado, a la dosis de 260 kg. de cemento por m³. todos los muros de contrafuertes, las muecas de la caída y los primeros diez metros del zampeado que irán revestidos de madera.—Las muecas irán revestidas de granito.

DRENAJE.—La división de la caída (que se ha adoptado por considerar que no es éste el caso para ejecutar una obra de experimentación que no tenga una similar que haya probado su bondad en la práctica) tiene un inconveniente y él es el peligro de que produciéndose grietas en la 1.^a caída, vayan las filtraciones a comprometer las construcciones de la 2.^a.—Para evitar esto, en lo posible, se ha dado el espesor de 1,00 m. al zampeado y he colocado un drenaje bajo el zampeado de la 1.^a caída, dispositivo que ha dado buenos resultados en casos análogos (Canal del Agra).



Canales Unidos de 'LA CALERA' caída doble de 12 metros de altura total para 60 metros por segundo.

OBSERVACIÓN.—Debo manifestar que he estudiado con detención la posibilidad y conveniencia de adoptar una caída única, en lugar de dos caídas. A primera vista parece que la caída única tuviera dos ventajas principales: 1.ª la de no dejar, aguas abajo del golpe, una construcción costosa que pudiera ser destruida; y 2.ª la de economía que tendría su base en dos consideraciones: a) la fuerza dinámica, por resistir, no sería el doble sino que valdría 1, 4 veces la de una caída de 6 mts.; y b) con mayor altura se acerca la posibilidad de que se obtenga la lluvia en que la energía se pierde, en gran parte, en frotamientos con el aire.

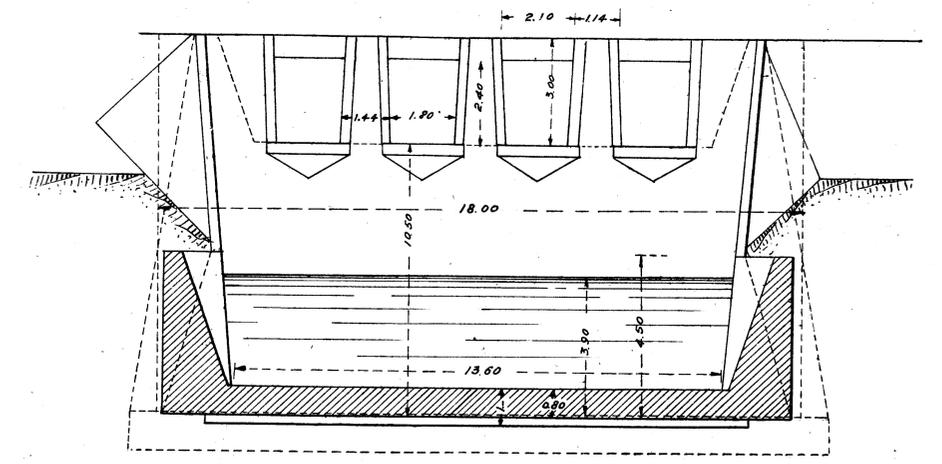
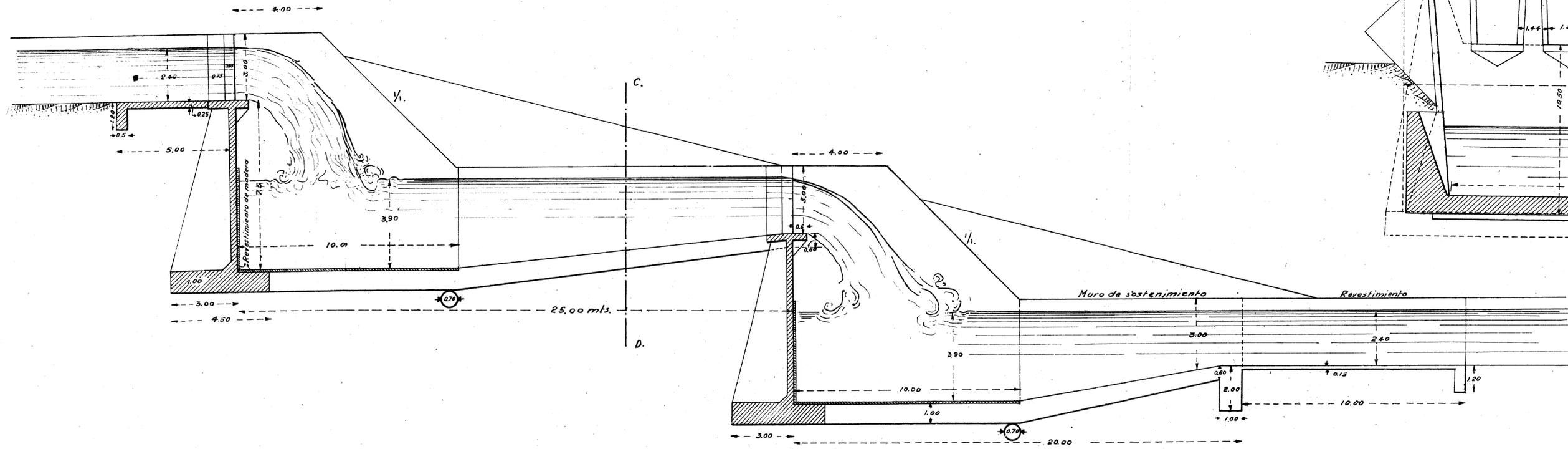
El exámen de obras existentes, me ha demostrado que con obras bien proyectadas y ejecutadas, el peligro de la caída doble señalado en la ventaja primera, puede conjurarse. Por otra parte, algunos ensayos de anteproyectos, me han demostrado que, si bien, en espesor de zampeado y colchón hay una economía cercana a un 60 0/0, ella se pierde, en gran parte, en el mayor cubo de muros de sostenimiento que crece más rápidamente que la altura, en tal modo, que proyectadas las obras con igual criterio, la diferencia en costo, a favor de la caída única, no será superior a un 20 0/0.

La caída única no tiene experiencia, que yo conozca, que la justifique. ¿Podrían estrapolarse las fórmulas hasta este valor de 12 mts. cuando ellas han sido experimentadas hasta 6 o 7 metros? Por otra parte, no hay posibilidad de hacer experimentos en menor escala, ni tampoco puede hacerse un cálculo para deducir el momento de la lluvia. Estas consideraciones y otras que suprimo, en obsequio a la brevedad, me han inclinado por el tipo de caída doble.



NOTA.—La obra ejecutada, como lo indican las fotografías, tiene una modificación que se refiere solamente a la forma de los muros laterales que en lugar de ser del tipo de contrafuertes que indican los planos se transformaron en revestimientos sostenidos por una viga horizontal que se ve en la fotografía.

Elevacion i corte longitudinal A.B.



Corte C.D.

Planta.

