

Laboratorio de Hidráulica Aplicada

SALTO GRANDE

LABORATORIO DE HIDRÁULICA



INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNICA HIDRICAS

ESTUDIO SOBRE MODELO DE LAS OBRAS DE SALTO GRANDE

- CAPITULO VII -

L.H.A. - 9-007-74

Investigador Responsable:

Dr. Raúl A. LOPARDO

Investigadores Asociados:

Ing. Fernando J. ZARATE

Ing. Jorge A. ORELLANO

Supervisión:

Dr. Moisés S. BARCHILON

Dr. Alfonso PUJOL

EZEIZA, 27 de febrero de 1974.

EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO HIDRODINAMICO
DEL ALIVIADERO DE CRECIDAS

a) DETALLES TECNICOS DEL PROTOTIPO.

Para la realización de los ensayos bidimensionales del aliviadero se reprodujo el perfil tipo Creager, según las dimensiones fijadas por los planos 1021 y 1023 con las modificaciones estipuladas en los planos I y II remitidos a este Laboratorio el 30 de agosto de 1973.

El coronamiento del vertedero alcanza la cota + 17 y su perfil responde a la ecuación:

$$Y = \frac{X^{1,85}}{2,0 H_d^{0,85}}$$

A continuación del mismo existe un tramo recto que sirve de empalme con una curva de radio constante $R = 18$ m que finaliza tangente a la horizontal a la cota -1.

El programa de ensayos fue establecido por la Inspección del modelo habiéndose fijado como gastos de ensayo:

Q m³/s por vano = 100, 200, 400, 800, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, y 3200.

Los niveles aguas abajo fueron determinados en función del gasto resultante para diecinueve vanos en operación.

De acuerdo a lo determinado por la Inspección se dispusieron treinta y dos tomas piezométricas a fin de relevar durante los ensayos los valores de presión en el perfil vertedero y contra las pilas. El detalle de la ubicación de las tomas piezométricas puede apreciarse en la figura N^o 1.

A solicitud de Main y Asociados fueron medidas las presiones para los ensayos de máxima (3000 y 3200 m³/s por vano). Además se determinó el nivel crítico aguas abajo (durante el ensayo de gasto máximo), para el cual se produce el ahogamiento del vertedero, habiéndose verificado, para el mismo ensayo, el comportamiento de escurrimiento en la zona del puente carretero.

b) DETALLES TECNICOS DEL MODELO

Se construyó el perfil final del vertedero en hormigón, reglando su superficie sobre gálibos de aluminio respetando estrictamente las medidas dadas en los planos 1021 y 1023, con las modificaciones impuestas por Main y Asociados en los planos I y II.

Aguas abajo del diente del lecho amortiguado se continuó el fondo con ladrillos trabados. Para poder conocer el comportamiento hidrodinámico del lecho amortiguador, el Laboratorio relevó perfiles longitudinales de energía mediante el uso de un tubo Pitot.

La medición de gasto se realizó mediante un vertedero tipo Rehbock ubicado en el canal de retorno a la cisterna, de las siguientes características:

Longitud del canal de aforo: 15 m

Altura del vertedero: 1,00 m

Longitud de la cresta: 1,188 m

Los niveles de aguas arriba y aguas abajo se leen en tubos piezométricos conectados a tomas previstas en el fondo del canal. Los limnímetros utilizados son del tipo Delft y aprecian la décima de milímetro.

c) METODOLOGIA DE LOS ENSAYOS

Para cada ensayo se procedió a realizar las siguientes operaciones:

- 1 - Se fijó cada gasto a ensayar midiendo la altura de carga sobre el vertedero aforador (Rehbock).
- 2 - Se reprodujo mediante la compuerta de fondo el nivel aguas abajo correspondiente al gasto erogado por diecinueve vanos de vertedero operando simultáneamente.
- 3 - Establecido el sistema en estado de régimen, se midió el nivel del embalse con el limnómetro ubicado en la cabecera de aguas arriba del canal.
- 4 - Para los gastos de: $Q = 300, 1500, 2940$ y $3200 \text{ m}^3/\text{s}$ por vano, se relevaron perfiles longitudinales de energía total y el pelo de agua correspondiente. Las medidas de energía total se hicieron utilizando un tubo Pitot de vidrio construido a tal efecto.
- 5 - Para los gastos de máxima: $Q = 2940$ y $3200 \text{ m}^3/\text{s}$ por vano se midieron las presiones a lo largo del vano central en el eje y contra las pilas. Estas mediciones se efectuaron conectando sucesivamente cada una de las tomas piezométricas previamente dispuestas con un tubo piezométrico exterior equipado con un limnómetro tipo Delft.
Para los gastos enunciados se tomaron fotografías habiéndose dibujado previamente sobre el vidrio del canal, la interpretación de la red de escurrimiento correspondiente.
- 6 - Se observaron las perturbaciones introducidas al escurrimiento por la presencia del puente carretero, durante el ensayo de gasto máximo.

d) RESULTADOS OBTENIDOS

Resumiendo las mediciones realizadas, se considera de interés la tabulación de las medidas directas obtenidas, que se presenta

a continuación:

TABLA N° 1

Q prototipo (m ³ /s por vano)	Cota Embalse (m)	Cota aguas abajo (m)
107	19,70	6,40
211	21,20	7,70
314	22,30	8,9
518	24,20	10,9
776	26,-	13,3
1034	27,70	15,7
1554	30,40	19,8
2078	33,10	22,30
2603	35,50	23,50
2940	36,62	23,80
3200	38,-	24,-

La curva correspondiente a la variación de altura de embalse en función del gasto se presenta en la figura N° 2.

Las determinaciones de niveles energéticos realizadas para gastos de 300, 1500, 2940, y 3200 m³/s por vano, se presentan en las figuras N° 3,4,5, y 6 respectivamente. En estos gráficos se incluyen los perfiles de pelo libre relevados para los mismos gastos.

Para esos mismos gastos se obtuvieron las fotografías que se adjuntan. Fotos N° 1,2,3,4,5,6,7,8,9, y 10.

(*) Del análisis de los gráficos precitados se concluye que la disipación energética resulta pobre, sobre todo para los gastos de máxima donde la energía residual es del orden del 60% de la inicial.

La determinación de presiones sobre la estructura, se realizó para los gastos de 2940 y 3200 m³/s por vano, habiéndose medido perfiles longitudinales para el vano central en el eje y contra las pilas.

(*) Ver análisis general y conclusiones.

Para el gasto de $3200 \text{ m}^3/\text{s}$ por vano se midieron las presiones sobre las pilas a dos niveles (+20 y +26 aproximadamente) que se grafican en la figura N^o 1.

e) ANALISIS GENERAL Y CONCLUSIONES

El comportamiento general del aliviadero de crecidas se puede separar en dos funciones básicas a saber: funcionamiento como capacidad de descarga y verificación de una disipación localizada de energía.

I) Capacidad de descarga

En este sentido los ensayos realizados sobre el vertedero, muestran un adecuado comportamiento global, si bien se pueden destacar algunas singularidades tales como:

- Los valores de presión obtenidos sobre la pila para la toma ubicada donde termina la curvatura de la nariz y comienza la zona de espesor constante son bajos. Si bien las depresiones son indeseables, el valor que toman en este caso no afecta prácticamente en nada tanto a la estructura como a la capacidad de descarga del vertedero, por lo que se considera que no justifican un cambio de la geometría de esa zona de las pilas.
- La distribución piezométrica obtenida para el perfil longitudinal del vertedero muestra la presencia de subpresiones en la zona del coronamiento del mismo. Dado que el nivel piezométrico alcanza valores que llegan a cota 13,5 (lo que implica una altura de presión de -3,50 m en la superficie del coronamiento) debe considerarse este efecto desde el punto de vista estructural y resolver si los valores encontrados justifican un cambio en la geometría de la zona afectada, a fin de disminuirlos a rangos de subpresión aceptables. Otro inconveniente que se puede manifestar en prototipo, debido a las mismas causas, estará dado por el posible rizado de la superficie libre de la lámina

vertiente, que produzca perturbaciones perjudiciales. Debe tenerse en cuenta que las depresiones existentes sobre el coronamiento resultan favorables hidrodinamicamente, ya que elevan la capacidad de descarga del vertedero.

II) Disipación localizada de energía

Las determinaciones energéticas efectuadas, que se graficaron en las figuras Nº 3, 4, 5, y 6 fueron realizadas con medidas puntuales sobre el filete de máxima velocidad que recorre el perfil longitudinal de las obras; de allí que el perfil de energía trazado no corresponda a la energía total promedio, sino a energía del filete de máxima velocidad.

La interpretación de las fotografías 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 obtenidas para los gastos de máxima, muestra la existencia de una fuerte inestabilidad superficial que se propaga hacia aguas abajo. El período de oscilación de las ondas de superficie que es bajo en el modelo, se manifestará como una onda de amplitud considerable y largo período en el prototipo lo cual podría dificultar la navegación aguas abajo de las obras.

Por otra parte deberá estudiarse la forma de controlar la macroturbulencia existente en la zona del resalto a fin de que ello contribuya a una localización definida del mismo.

Los fenómenos de incorporación de aire, debidos a la discontinuidad de contorno que significa la presencia de recatas, puede introducir perturbaciones sobre la lámina vertiente que resulten molestas en el prototipo, dado que aunque el modelo no mantiene en escala dicho fenómeno acusa una tendencia que en prototipo resultará magnificada.

Para el gasto máximo ($3200 \text{ m}^3/\text{s}$ por vano) se determinó la condición de ahogamiento de la lámina, fenómeno que resulta apreciable para niveles aguas abajo superior a cota +29. Durante el mismo ensayo se observaron las perturbaciones introducidas al escurrimiento por la presencia del puente, determinán

dose que se produce un fenómeno de oscilación localizada en los niveles inmediatos aguas arriba con un sobrepaso de agua intermitente por encima del puente. Este hecho deberá considerarse para la fijación de la cota de coronamiento del mismo.

RECOMENDACIONES

Debido al valor excepcional del gasto específico erogado por vertedero que se fijara para el estudio de eficiencia del disipador (209 m³/s por metro lineal), resulta dificultoso encontrar soluciones convencionales que cubran todas las necesidades.

Ese gasto específico provoca un escurrimiento de 11 metros de tirante a la entrada del disipador, con un número de Froude del orden de 2, que involucra la existencia de un resalto con muy baja pérdida de energía y macroturbulencia generadora de ondas de período irregular. Si se calcula el resalto para este caso se obtiene una longitud teórica de 75 metros y un tirante conjugado h'' a cota +28 metros. Siendo el tirante aguas abajo definido por la ley H-Q del río cuatro metros menor que este valor, debe esperarse un fenómeno indeseable de inestabilidad, que confirma el modelo. Por otra parte, el resalto supera en 25 metros la longitud del lecho amortiguador. La energía medida en modelo aguas abajo del resalto es tal que en metros de columna de agua alcanza la cota +30 m, con lo que la disipación no llega al 20%, lo que confirma los datos de publicaciones especializadas.

El ensayo sobre modelo realizado confirma que el cuenco propuesto no reúne las condiciones teóricas para el desarrollo integral de un resalto adecuado. En caso de considerarse conveniente insistir en la solución convencional dentro del tipo de disipador propuesto, se aconseja un próximo ensayo de modificación incrementando la longitud del lecho en 25 metros y su profundidad en 3 a 4 metros (valores

teóricos). No obstante se señala que tal tipo de amortiguador poseerá una capacidad limitada de disipación, por lo que la adopción de otros sistemas deberá fundarse en condiciones económicas, geológicas y de proyecto.

BIBLIOGRAFIA

- PETERKA, A. J. : Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators, Eng. Monograph N°25, Bureau of Reclamation.
- CORPS OF ENGINEERS: Design of spillways, E. M. 1110-2-1063

CAPITULO VII - ENSAYOS SOBRE VERTEDERO A COTA + 17.00-1ªSERIE

CONSULTA N°1.- En el punto c) apartado 3 - se expresa que el "nivel de embalse" se midió con el limnómetro ubicado en la cabecera de aguas arriba del canal. Esta lectura no es representativa del nivel en el embalse desde que se está despreciando la altura de velocidad en el canal que adquiere para caudales grandes considerable importancia. Por ejemplo para el caso de 2.940 m³/seg-vano, la velocidad (de prototipo) - en el canal es, suponiendo el Fondo a cota - 1.16:

$$V = \frac{2940}{19 \times (36.62 - 1.16)} = 4.36 \text{ m/seg'}$$

y la altura de velocidad resulta ser:

$$\frac{h_v}{2g} = \frac{V^2}{2g} = \frac{0.97}{2g} \text{ m.}$$

Consecuentemente la cota en el embalse, fuera de la zona de aceleración hacia el vertedero, sería:

$$H_e = 36.62 + 0.97 = 37.59$$

Respuesta:

Tal como se señala en la observación de la firma consultora, el nivel de embalse se encuentra modificado por los efectos de velocidad de llegada. Para cuantificar el valor exacto de la diferencia que debe computarse, se ha calculado para los gastos medidos la altura de energía cinética que, descontando la energía cinética de llegada que el proyectista asigne al prototipo, permite calcular el nivel real de embalse.

Con tal criterio se adjunta la curva que reemplazará la figura N°2 del citado Capítulo VII.

Con respecto al valor calculado para un gasto de 2.940 m³/s por vano, el resultado real es de 0,78 m de sobreelevación pues la sección de medición comprende desde cota + 36.62 hasta cota -3,00. Es decir:

$$\Omega_m \text{ (sección en el modelo)} = 0.65 \times 0,672 = 0,44 \text{ m}^2$$

$$V_m \text{ (velocidad media modelo)} = \frac{Q_m}{\Omega_m} = \frac{0,225}{0,44} = 0,51 \text{ m/s}$$

/

V_p (velocidad media en prototipo) = 7.646 V_m = 3,90 m/s

h_v (altura cinética prototipo) = $\frac{v^2}{2g} = 0,78$ m

H (cota embalse prototipo) = 37.40 m ,

valor algo menor que el calculado por la consultora, pero que confirma su tesis.

CONSULTA N°2.- En el punto c) inciso 4 - se expresa que se relevaron perfiles longitudinales de pelo de agua y energía. Es necesario que el laboratorio aclare como se determinó el pelo de agua, si el mismo corresponde al eje del vano central ó a otro lugar, b) como se seleccionaron los puntos de toma de lectura para el perfil de energía.

Respuesta:

La determinación del perfil de escurrimiento, se realizó utilizando uno de los medios vanos laterales del vertedero. Se relevó la distancia entre el perfil longitudinal del vertedero y la superficie del escurrimiento por lectura exterior sobre el cristal, mediante regla de acero graduada en milímetros. Se corrigieron los valores así obtenidos por observación directa, desafectándolos de la influencia perniciosa de mojado interfacial agua-aire-cristal.

La precisión de la medida (no menor del milímetro) se entiende satisfactoria pues las variaciones del pelo de agua llegan a valores superiores.

En cuanto a la determinación de línea de energía, se colocó el tubo de Pitot en progresivas distanciadas en aproximadamente 10 cm (valor modelo). La selección de la ubicación de los puntos de medición por tubo Pitot se efectuó por tanteos sucesivos sobre la vertical hasta encontrar la posición del instrumento para la cual la ascensión en el tubo recto resultara máxima.

CONSULTA N°3.- Punto d). Se da la Tabla de caudales vs.cota de embalse y se indica que la misma se encuentra graficada en la Figura 2. Al respecto cabe observar que los valores tabulados no se corresponden con los graficados; además persiste la duda expresada más arriba.

En el mismo punto se afirma que de los gráficos de energía total se deduce que la energía residual es del orden del 60% de la inicial, en cambio en las recomendaciones se expresa que la energía disipada no alcanza al 20%. Sería conveniente que el laboratorio aclarase qué determinaciones sostiene estas afirmaciones y qué metodología se siguió para determinar las energías.

/**

Siempre en este punto se muestran en la Fig. 1 las presiones leídas contra las pilas para un caudal de 3.200 m³/seg. por vano. Llamamos la atención los valores graficados para los piezómetros ubicados en la nariz de las pilas, ya que los mismos registran valores muy acercados al nivel + 39.00, cuando se afirma que la cota en el embalse es + 38.00. Por otra parte es necesario que el Laboratorio brinde su interpretación respecto a los valores leídos en los piezómetros ubicados inmediatamente aguas arriba y en la misma recata (primera desde aguas arriba).

Respuesta:

A pesar de haber cotejado la tabla N°1 y la figura N°2 según la consulta realizada, no se han encontrado diferencias en los valores acotados, de forma que no se puede contestar la pregunta. Con respecto al efecto de velocidad de llegada, se adjunta una nueva figura N°2 que la tiene en cuenta.

La discrepancia de valores de disipación de energía señalada en el pedido de aclaración, se debe a un lamentable error dactilográfico, ya que donde dice 60% debe leerse 80%, con lo que la energía disipada llega a no más de 20%.-

Las determinaciones de energía total se basan en el simple relevamiento de la sumatoria

$$H = h + \alpha \frac{V^2}{2g}$$

Estando determinado el valor del tirante h por el relevamiento del perfil de superficie libre, sólo resta medir la velocidad media V, considerando unitario el coeficiente de Coriolis. Con el criterio de hacer un ensayo expeditivo, que brindara rápidamente idea de funcionamiento, se determinaron los valores de energía total mediante ascensión en tubos de Pitot, ubicados tal como se detallara con anterioridad, en el punto de cada sección donde la altura medida resultara máxima.

Sin embargo, se constató posteriormente la metodología de medición, determinando en las secciones de ingreso y salida del cuenco los perfiles completos de velocidad, mediante micromolinetes Miniflo Kent de alta velocidad, detectándose una diferencia con la medición expeditiva con tubo de Pitot que no excede los rangos de errores de medición.

//

Al analizarse las presiones leídas contra las pilas, es de esperar que las tomas ubicadas en la misma nariz, en la dirección del escurrimiento, funcionen como tubos de estancamiento, marcando justamente la velocidad de llegada, que debido a la aceleración provocada por la llamada y disminución de sección, se incrementa respecto de la calculada en la respuesta 1, llevando la lectura un metro por encima de la cota de embalse.-

CONSULTA N°4.- En las figuras 3 a 10 valores de las observaciones se hallan graficados sin acotamientos de los niveles de presión y energía total. Será útil que el Laboratorio proporcione los valores correspondientes.

Respuesta:

En las figuras 3 a 10 se ha reemplazado el acotamiento puntual de los valores leídos por una escala ubicada sobre margen izquierdo de la página, de forma de poder determinar fácilmente los valores intermedios. De todas formas el Laboratorio adjunta tabla de valores para cada figura, de acuerdo a lo solicitado.

CONSULTA N°5.- En las recomendaciones se afirma que, para caudales de 209 m³/seg-m (3200 m³/seg-vano) el tirante a la entrada del cuenco amortiguador es de 11 metros y en el gráfico correspondiente a este caudal (Fig. 6) se lo ha graficado como de 16 m. aproximadamente. Debería aclararse cuál de los valores es el correcto..

Respuesta:

De acuerdo con la figura N°1, página 6 del texto Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators, de A.J. Peterka (Engineering Monograph N°25, Bureau of Reclamation), que se adjunta, el tirante denominado D1 en esa publicación (antes del resalto) se considera perpendicular a la dirección de la velocidad, es decir al plano inclinado. En esas condiciones desaparece la incogruencia marcada en el pedido de aclaración, pues sólo es debida a una posición diferente del escalímetro sobre el plano. Luego, en el punto considerado (sobre la base de la bibliografía citada) el tirante resulta del orden de 11 m en las experiencias realizadas.

- CAPITULO V - ESTUDIO HIDRODINAMICO DE LA ETAPA II DE DESVIO

CONSULTA N°1.- En el punto III - Detalles técnicos del modelo - se expresa "Aguas abajo de los descargadores de fondo, se modeló con material suelto un tramo de la margen uruguaya que estará expuesto a erosiones, como consecuencia de las altas velocidades de salida del agua en los tubos citados. Este ensayo tuvo carácter cualitativo."

El Laboratorio debería informar al respecto:

- a- La ubicación del área que se construyó con material erosionable en el modelo.
- b- El tipo de material que se consideró en prototipo; y el homólogo utilizado en el ensayo.
- c- Para que caudales se realizó el ensayo.
- d- Cuál fue la configuración final del tramo erosionable, para cada rango de caudales.

Respuesta:

a- La superficie de margen erosionable reproducida en el modelo, parte de 60 m aguas abajo del diente del lecho de amortiguación de los descargadores de fondo y tiene una longitud total de 150 m, con un ancho variable que, partiendo de la barranca (línea de nivel + 5,00) se interna en tierra firme en 50 m como promedio.-

b- De acuerdo con la Inspección del Modelo se utilizó primeramente arena fina, que pasa por tamiz 30 y es íntegramente retenida en tamiz 100, con diámetro medio $D_{50} = 0,2$ mm. Ello representa en prototipo material granular de 2,5 cm.

Dado que, para mínimos caudales la citada arena era totalmente removida, y no disponiéndose de las características exactas del material de prototipo, también en acuerdo con la inspección se reemplazó por grava de tamaño medio $D_{50} = 3,5$ mm (comprendida entre tamiz N°4 y N°8), a partir de $Q = 5000$ m³/s.

c- Este ensayo cualitativo se realizó para todos los caudales utilizados.

d- Este relevamiento no fue solicitado, por lo que se lamenta no poder ofrecer las curvas de nivel de la zona. Sin embargo, se ha detectado que a pesar de utilizar piedra, que en prototipo es de 150 Kgs. caudales a partir de 14.500 m³/s provocaban erosiones importantes, desplazando el material de la cubeta aguas abajo y llevando la barranca aproximadamente 25 metros hacia el interior.

CONSULTA N°2.- En el mismo punto citado anteriormente se expresa: "Aguas abajo del conjunto de obras que conforman la etapa en estudio se construyó un cuenco amplio, que relleno con material suelto permite la visualización de las posibles erosiones."

Se debería solicitar al Laboratorio información idéntica a la prevista en el punto anterior, apartados a), c) y d). Además sería de interés que informase sobre las características del material de relleno que se utilizó en los ensayos.

Respuesta:

a- El lecho móvil fue establecido hasta 1,60 m aguas abajo del diente del vertedero (es decir en un tramo de 200 m de prototipo), abarcando el ancho total del cauce hasta la cota + 5 m de ambos márgenes.

c- Los ensayos se realizan para todos los caudales.

d- La configuración final no fue relevada mediante curvas de nivel, observándose cualitativamente. La erosión aguas abajo del vertedero en esta etapa de desvío era muy baja, mientras que en los descargadores se observó un importante movimiento de fondo.

El material utilizado fue la misma arena fina anteriormente citada, que fue luego cambiada por grava, ante idénticas circunstancias.

CONSULTA N°3.- En el punto IV - Metodología de los ensayos - se dice:

"También se midieron en cada ensayo las velocidades máximas en la entrada y salida de los descargadores, como así también en otros puntos de interés.

Los Consultores desearían obtener del Laboratorio la siguiente información respecto a estas determinaciones:

- a) Como la determinación de la velocidad máxima presupone la lectura de velocidades en distintos puntos, sería de gran utilidad que se informe sobre todas las mediciones realizadas, indicando en cada caso la velocidad medida y la ubicación planialtimétrica del punto de medición, con especial mención de las variaciones de velocidad detectadas que pudieran indicar la existencia de estados inestables de transición.
- b) Se grafiquen las velocidades de entrada a los descargadores, en la misma forma como se hizo para las velocidades de salida, indicando los lugares de toma de lecturas.
- c) Se entreguen otro juego de copias de las fotografías de los espectros de flujo.

Respuesta:

La determinación de la velocidad máxima no resulta de una interpolación entre puntos discretos de diferentes mediciones. Mediante la utilización del micromolineté Delft, con indicador de ciclos y un integrador de frecuencias acoplado, se busca el máximo valor por movimientos; observándose el indicador visual. Detectado el punto de máxima (donde la aguja acusa su mayor recorrido de escala) se toma la serie de tres integraciones de diez segundos y su promedio como velocidad del punto.

Las velocidades a la entrada de los descargadores (no solicitadas en el plan de ensayos) fueron relevadas en el ingreso del tubo central del grupo extremo sobre margen uruguayo.

El gráfico solicitado se adjunta a la presente.

CONSULTA N°4.- En el punto V - Resultados Obtenidos - en el último párrafo se afirma: "Se observaron las condiciones de entrada a los descargadores para los gastos de ensayo, detectándose para los valores máximos vórtices de eje vertical que incorporan aire a los tubos descargadores perturbando algo su funcionamiento".

Sería de gran utilidad que el Laboratorio informase:

- a- Para que valores de caudal se detectaron los vórtices aludidos.
- b- Cuál fue su ubicación.
- c- Que perturbación produjeron en el funcionamiento de los descargadores.
- d- A su juicio, cuáles son las causas de la formación de los vórtices.

Respuesta:

Los vórtices fueron detectados para el máximo gasto ensayado, de 27.000 m³/s. Su ubicación era frente a las pilas internas de los descargadores, aunque por supuesto no permanecían fijos.

Las perturbaciones que un vórtice provoca en tubos de fondo que funcionan a sección llena son los siguientes: incorporación de aire (y por ende disminución de sección útil) y movimiento pulsatorio (el vórtice es periódico en su traslación hacia aguas abajo). La visualización del fenómeno resultó imposible, al no ver los tubos transparentes, por lo que no resulta correcto cuantificar la magnitud del fenómeno.

A juicio del investigador responsable del estudio, el vórtice es producido por la violenta aceleración de una masa fluída debajo de una zona de aguas muertas. El quiebre del muro deflector sobre margen uruguay (aguas arriba de la obra) hace de elemento desencadenante provocando un rotor por separación de líneas de corriente.-

//

CONSULTA N°6.- En el mismo párrafo se expresa que el número de Froude es del orden de 2. Si el tirante es de 11 metros como se afirma el número de Froude sería:

$$F_1 = \frac{V}{\sqrt{gd}} = \frac{19}{\sqrt{9.81 \times 11}} = 1.82$$

Si en cambio fuese de 16.4 metros de acuerdo a lo graficado, tendríamos:

$$F_1 = \frac{12.72}{\sqrt{9.81 \times 16.4}} = \frac{12.72}{12.05} = \underline{\underline{1.06}}$$

Para la misma sección (cota + 1) el número teórico de Froude resulta ser:

$$F_{1t} = \frac{23}{\sqrt{9.81 \times 9.10}} = \underline{\underline{2.44}}$$

Sería de mucho interés que el Laboratorio diese su interpretación respecto a este apartamiento de los valores teóricos.

Respuesta:

En este punto subsiste la misma equivocación pues, si bien el valor teórico está calculado con un valor de tirante 9,10 m (se entiende D1 de la figura del texto en página adjunta) no se puede comparar con 16,4 m medida en vertical, es decir dividida por el coseno del ángulo.

El valor teórico que expone la firma consultora no coincide con el número de Froude teórico calculado por el Laboratorio, que se acerca al valor 2 dentro de los límites precisados. No existe pues apartamiento importante entre valor teórico y experimental, ya que ambos marcan una zona de resalto incipiente e inestable (una misma realidad física).