

Investigaciones sobre un aliviadero
de caída libre
con Sección Trapezoidal

500

OSCAR MEJIA V.

Traducción de: *Francisco de P. Sierra M.*

INTRODUCCION

En algunos casos se han utilizado aliviaderos de sección trapezoidal para evacuar el caudal de crecientes de un embalse, por ser este tipo, en general, de construcción más económica, pero sin consultar las consecuencias que tal tipo de aliviadero puede producir en la estabilidad y duración de una represa de tierra con aliviadero de caída libre. Para tratar de clarificar los conceptos sobre influencia de la forma geométrica de la sección del aliviadero en la disipación de la energía potencial del agua de crecientes para evitar daños considerables en las estructuras permanentes, el Profesor A. L. Alin propuso al autor, en ese entonces estudiante en la Universidad de Iowa, llevar a cabo un estudio práctico sobre un modelo de aliviadero con secciones diferentes. Desgraciadamente un sinnúmero de dificultades para determinar los valores cuantitativos de las variables que entran en el problema, no permitieron obtener conclusiones definitivas o absolutas, pero sí unas conclusiones generales que podrían servir de base para estudios posteriores. Esperamos que el presente estudio se considere pues como un tema de interés para investigaciones adicionales y como una nota de alerta para que los Ingenieros que tengan entre manos problemas de diseño o construcción relacionados con vertederos de caída libre de sección Trapezoidal, hagan un estudio más detallado del problema, antes de tomar una decisión definitiva.

En este trabajo se hace una comparación entre las características de operación de un aliviadero de caída libre de sección rectangular y uno de sección trapezoidal, especialmente en lo que se refiere a la formación del resalto hidráulico para cada tipo de forma geométrica de la sección del aliviadero. Los procedimientos seguidos y los resultados de este estudio, aunque no muy concluyentes, se presentan a continuación:

En diseños hidráulicos, y particularmente en estudios de represas, el conocimiento claro de los efectos de la forma geomé-

trica de la sección del aliviadero sobre el funcionamiento disipador de energía es de importancia básica, principalmente por las graves consecuencias que pueden sobrevenir por causa de un mal diseño. La selección del tipo de aliviadero que vaya a usarse en un caso determinado, depende no sólo de las consideraciones hidráulicas, económicas y estructurales, sino de la influencia del flujo del aliviadero sobre el funcionamiento del disipador de energía. Tal es el problema que se presenta al diseñador cuando debe decidir entre un aliviadero rectangular y uno trapezoidal con el objeto de resolver el problema general de evacuar el exceso de agua de un embalse.

Con el fin de obtener un mejor conocimiento de los efectos resultantes de la forma geométrica del aliviadero sobre el pozo de aquietamiento, se hizo un estudio sobre un modelo en el Laboratorio de hidráulica de la Universidad del Estado de Iowa. En él se estudiaron las características del flujo en el pozo de aquietamiento para dos formas geométricas distintas del aliviadero. a) Aliviadero de sección rectangular y b) Aliviadero de sección trapezoidal.

La distribución de las velocidades aguas abajo del resalto hidráulico que se forma en el pozo de aquietamiento, se tomó como base de comparación de los efectos producidos por la forma geométrica del aliviadero sobre el flujo de aguas abajo. Con este objeto se midieron las velocidades sobre varias secciones transversales con un "correntímetro Pigmeo" y con un pequeño tubo de Pitot, en una sección localizada a 1,5 pies aguas abajo del diente terminal del pozo de aquietamiento.

Se presenta en este trabajo una breve descripción de los procedimientos de laboratorio y de los resultados obtenidos del presente estudio. No se pudieron obtener conclusiones finales definitivas, debido a la falta de aparatos apropiados para medir los valores cuantitativos correctos de las velocidades bajo las condiciones de gran turbulencia y entrapamiento de aire que se presentaron en los experimentos. Por tanto los resultados de las medidas efectuadas deben considerarse de valor desde un punto de vista cualitativo más bien que cuantitativo.

Estos ensayos, por lo anteriormente expuesto, constituyen sólo el primer paso en una investigación, que cuando se logre concluir definitivamente, será de gran valor para la Ingeniería .

CONSIDERACIONES TEORICAS

Con el fin de convertir, hasta donde sea posible, la energía cinética del flujo en energía de turbulencia y por último en calor, es necesario propiciar la formación del resalto hidráulico al final del aliviadero para controlar así la erosión en el canal aguas abajo del pozo de aquietamiento .

El resalto hidráulico en un canal trapezoidal adquiere varias características que son indeseables desde el punto de vista del diseñador; en éstas se incluyen, la falta de simetría en el flujo, la formación de corrientes al fin del resalto, y una longitud excesiva del mismo, como fue demostrado por Pei-Su Hsing (1). Aunque la presente investigación fue llevada a efecto en un pozo de aquietamiento de sección rectangular, algunos de los efectos característicos del aliviadero trapezoidal se presentan también en el caso de un aliviadero trapezoidal conectado con un pozo de aquietamiento de sección rectangular (*).

La distribución de velocidades aguas abajo del diente terminal del pozo de aquietamiento es un factor de importancia primaria en el comportamiento de este pozo, ya que una distribución no uniforme aumenta la posibilidad de erosión alta en el fondo del canal o en los lados del mismo. Debido a la falta de simetría del flujo en el resalto hidráulico producido en el caso de un aliviadero trapezoidal, es razonable esperar una distribución de velocidades que presente características indeseables si se compara con la producción en el caso de uno rectangular.

Los efectos de la forma geométrica del aliviadero trapezoidal sobre las características del resalto pueden obtenerse del estudio comparativo de un aliviadero rectangular y un aliviadero trapezoidal, conectados ambos con el mismo pozo de aquietamiento rectangular. La inclinación del aliviadero y la rata de flujo deben permanecer constantes en ambos casos.

La altura teórica de diseño del resalto en un canal rectangular se obtiene de la fórmula :

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{1}{2} (\sqrt{1-8F^2}-1)$$

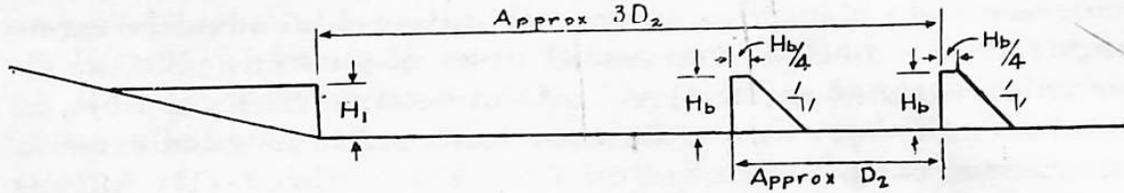
en la cual:

- D_2 = profundidad del agua después del resalto.
- D_1 = profundidad del agua antes del resalto .
- F = Número de Froude para el flujo, antes del resalto.

La longitud del pozo de aquietamiento y la posición y dimensiones de los baffles para estabilización del resalto, se seleccionaron de acuerdo con las especificaciones dadas por el "Bureau of Reclamation" para pozos de aquietamiento cortos.

(1) "Hydraulic Jump in Trapezoidal Channels" - Tesis de grado en la Universidad del Estado de Iowa - 1937.

(*) J. E. Warnock - Notas inéditas del Ingeniero Jefe del "Bureau of Reclamation" sobre un viaje de inspección, Denver -Colorado - 1938.



En el cual:

$$H_1 = 0.11 D_2$$

$$H_b = 0.13 D_2$$

ancho de los baffles = 75% de la altura.

D_2 es en todos los casos la profundidad del agua en el canal, después de la formación del resalto.

DESCRIPCION DE LOS APARATOS Y DEL PROCEDIMIENTO SEGUIDOS EN LOS EXPERIMENTOS

Aparatos. -

Los experimentos se llevaron a efecto en un canal hecho de láminas metálicas y de las siguientes dimensiones: 18 pies de largo, 2 pies 3 pulgadas de ancho y 1 pie de profundidad; y con una

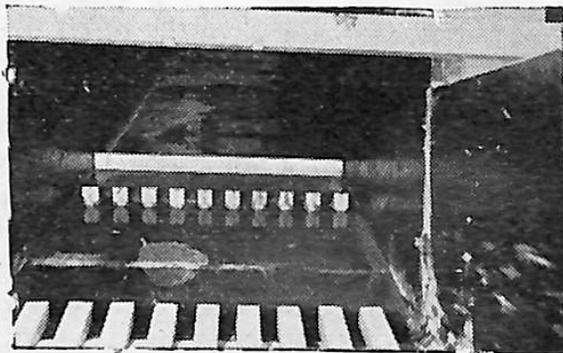
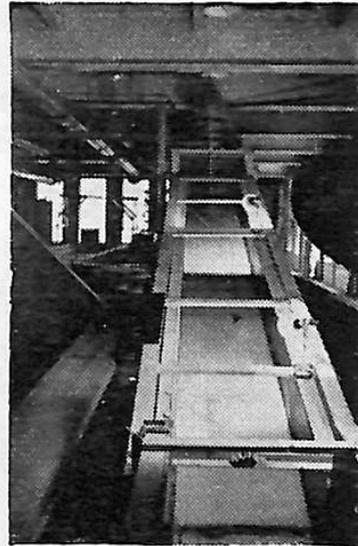
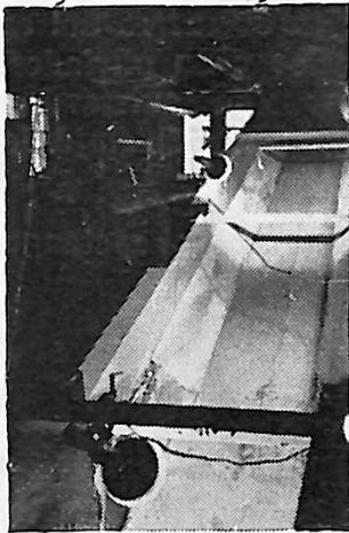


Figura 2

pendiente de 1 a 4. El canal mencionado se conectó a un tanque de cabeza en la parte superior y a un canal horizontal de madera, de 10 pies de largo en el extremo inferior. El canal y el tanque de cabeza se colocaron sobre una estructura metálica en el 2º piso del Laboratorio de Hidráulica. La disposición general del equipo se muestra en las Figs. 1 y 2.

El tanque de cabeza se construyó de acero laminado con las dimensiones siguientes: 47 pulgadas de largo, 3,5 pulgadas de ancho y 37 pulgadas de profundidad. En la cara que conectaba el tanque con el canal metálico se abrió una ranura de 27 pulgadas de largo y 10 pulgadas de altura para formar la cresta del aliviadero. El tanque de cabeza se colocó sobre la estructura metálica de tal manera que el borde inferior de la ranura quedara a 4,5 pies por encima del forrado del pozo de aquietamiento.

Dentro del canal metálico se construyó un canal de madera para dar la forma rectangular al aliviadero. (El mismo procedimiento se usó luego para formar el aliviadero trapezoidal). El aliviadero rectangular era de 1,72 pies de ancho; unido al tanque de cabeza por una transición horizontal y conectado directamente al pozo de aquietamiento, el ancho del cual era igual al del aliviadero. Concluidos los ensayos con el aliviadero rectangular, se construyó el trapezoidal con lados inclinados 1 a 1 y con un ancho en la base de 1,31 pies. El aliviadero se unió al tanque de cabeza por medio de una contracción de las paredes de 14º, construída en concreto y pulimentada; y al pozo de aquietamiento por medio de una expansión de las paredes de 7º hecha también en concreto y pulimentada.

El pozo de aquietamiento se formó, para ambos tipos de aliviadero, dentro del canal horizontal de madera, por medio de un diente de 15/16 pulgadas de alto colocado a 3 pies aguas abajo del extremo inferior del aliviadero. A 1 pie aguas arriba de este diente se colocó en una fila de baffles trapezoidales de 15/16 pulgadas de alto en el fondo del pozo de aquietamiento.

La entrada del agua al tanque de cabeza se hizo por medio de una tubería de 10 pulgadas conectada directamente al tanque de nivel constante y controlada por una válvula accionada a mano. El agua se dejaba fluir libremente por el aliviadero después de tranquilizada por un sistema de baffles y rejillas y luego caía al pozo de aquietamiento donde formaba el resalto hidráulico. La profundidad del agua en el canal horizontal era controlada por medio de un vertedero de pared delgada, a 0,514 pies sobre el fondo del canal y en el extremo aguas abajo de éste; después de pasar este vertedero, el agua caía a un canal de drenaje conectado al depósito del laboratorio.

La rata de flujo que entraba al tanque de cabeza se medía por un medidor de codo y un manómetro diferencial calibrados antes y después de los experimentos. Para calibrar los medidores, el agua se desvía a un tanque en el cual se pesaban las cantidades afluidas por unidad de tiempo para las diferentes descargas medidas.

Procedimiento seguido en los experimentos:

Se tomó un flujo de 2,0 pies cúbicos por segundo como descarga normal para los experimentos. Las profundidades del agua en el canal antes y después del resalto se computaron para esta descarga, y estas profundidades constituyeron la base para el diseño del pozo de quietamiento, lo mismo que para el diente, los baffles y los bloques del extremo inferior del aliviadero como se indicó anteriormente.

La experimentación se dividió en dos partes:

- a) Ensayos en aliviadero de sección rectangular, y
- b) Ensayos en aliviadero de sección trapezoidal.

Para ambos casos se siguió el mismo procedimiento que se describe en este capítulo .

Se estableció un flujo de dos pies cúbicos por segundo y se ajustó la profundidad del agua en el canal horizontal hasta un valor de aproximadamente 90% del computado.

El flujo se ajustó luego para 4 descargas diferentes: 2 pies cúbicos por segundo; 1.66 pies cúbicos por segundo; 1.37 pies cúbicos por segundo y 1.10 pies cúbicos por segundo. Se tomaron perfiles de profundidad del agua en el canal horizontal por medio de un medidor de gancho y una regla horizontal. Como se presentaban ondas aguas abajo del resalto, era difícil obtener un valor definido de la profundidad del agua; por tal motivo y para obtener un valor promedio se tomaron medidas en los puntos máximo, medio y mínimo de las ondas.

Se trató de medir la velocidad del agua en una sección a 1,5 pies aguas abajo del diente y se usaron varios procedimientos para esto pero sin éxito alguno; la gran cantidad de aire dentro del agua, el alto grado de turbulencia y la inestabilidad del flujo, invalidaban el comportamiento de todos los aparatos normales para la medida de velocidades. Un pequeño correntímetro de copas tipo W-R-A-89, provisto de audífonos y cronómetro, parecía dar una indicación de la distribución general de las velocidades, aunque los valores absolutos y las direcciones de éstas no eran correc-

tos. A pesar de lo anterior, se usó el correntímetro de copas para comparar la distribución general de las velocidades después del resalto, producidas por los aliviaderos rectangular y trapezoidal respectivamente.

Como se dijo anteriormente, se seleccionó un flujo normal de 2,0 pies cúb/seg. para cada forma del aliviadero. La sección escogida se dividió en 6 partes verticales y se tomaron las medidas de la velocidad con el correntímetro de copas a lo largo de la vertical en cada sección. Las lecturas se tomaron cada 0,2 pies cuando no había gran variación en los valores y cada 0.1 pie cuando las variaciones eran apreciables.

En el caso del aliviadero trapezoidal se inyectaron al flujo confetti y colorantes con el fin de observar mejor la dirección de éste. La velocidad del flujo invertido en el fondo más abajo del diente, se midió por medio de un tubo de pitot en diferentes secciones.

Como el flujo invertido carecía de burbujas de aire su velocidad se pudo medir con un pequeño tubo de pitot conectado a un manómetro diferencial. Ambas ramas del tubo de pitot se conectaron a un recipiente de purga con el fin de expeler cualquier cantidad de aire que pudiera entrar en las tuberías. El manómetro diferencial se fabricó de un tubo en U invertido y lleno con benzeno con el fin de aumentar la sensibilidad de las lecturas.

RESULTADOS OBSERVADOS

De los ensayos descritos en el capítulo anterior es posible hacer una comparación cualitativa de los efectos de los aliviaderos de sección rectangular y trapezoidal sobre la formación del resalto hidráulico. Los puntos de comparación son: 1) Perfiles de la superficie del agua. 2) aspecto general del resalto hidráulico formado y 3) distribución de velocidades.

Perfiles de la superficie del agua:

Los perfiles de la superficie del agua se dibujaron para cada una de las descargas usadas en la Fig. 5. Se puede observar que no hay diferencia considerable entre la superficie del agua en los resaltos formados por las 2 clases de aliviaderos usados en los experimentos.

Aspecto general del resalto hidráulico:

Aunque en el ensayo hecho con el aliviadero rectangular se presentaron gran cantidad de espuma blanca y de ondas, el aspecto general del resalto fue uniforme y simétrico para cada descarga. Véase Fig. 6.

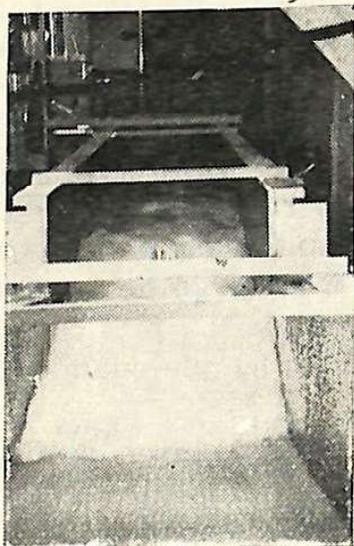


Fig. 6

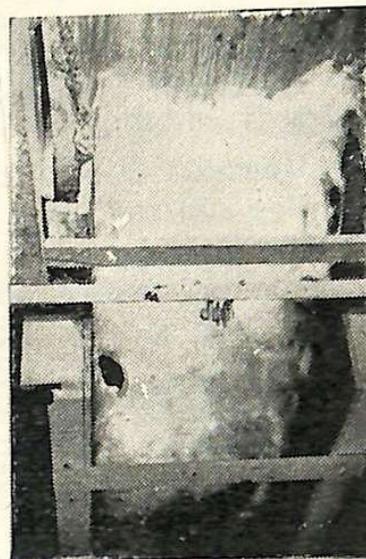


Fig. 7

Para una descarga de 2,0 pies cúb/seg. el resalto formado durante el ensayo con el aliviadero trapezoidal no muestra gran diferencia con el formado por el aliviadero rectangular, pero es sin embargo más turbulento. Véase Fig. 7. Para descargas menores de 1.0 pies cúb/seg. aparecen corrientes laterales a lo largo de la pata del resalto con un espinazo o pico entre ellas. La longitud y el ángulo de las corrientes no son ni simétricos ni estables.

El pico correspondía a un chorro de agua con mayor velocidad, que creaba dos grandes remolinos a lado y lado del pozo de aquietamiento. Estos remolinos proyectaban sus efectos aguas abajo del pozo.

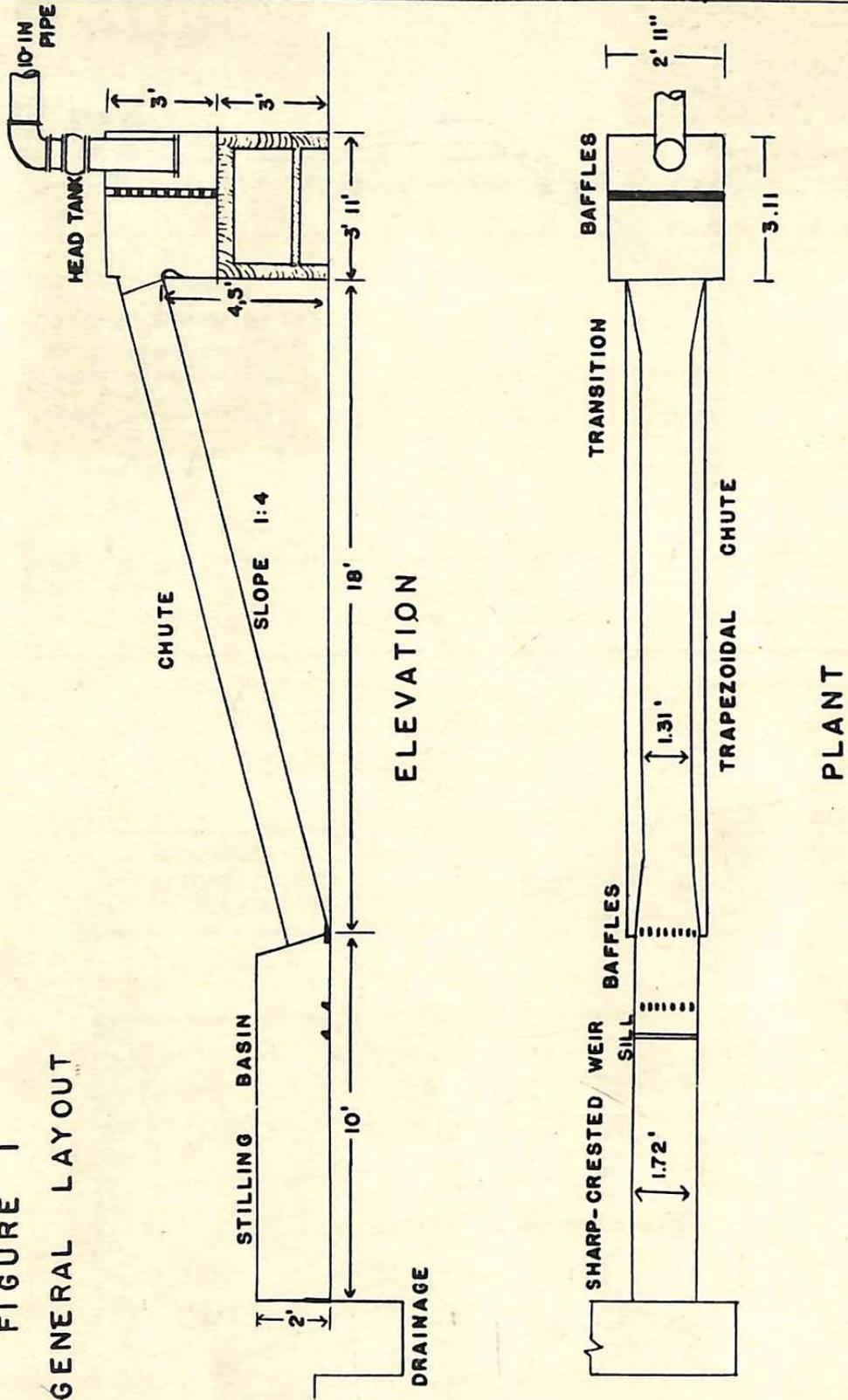
Se notó que la pata del resalto para descargas superiores a 1,2 pies cúb/seg. quedaba aguas abajo de la transición, mientras que para descargas inferiores a ese número, la pata quedaba sobre la transición. Es posible por tanto que la transición creara un efecto adicional sobre el resalto, que no se determinó en las investigaciones.

Distribución de Velocidades:

Las Figs. 9 y 10 muestran la distribución de velocidades aguas abajo del resalto formado en el ensayo con aliviadero de sección rectangular. Las Figs. 11 y 12 muestran la distribución de velocidades en la misma sección para el caso de aliviadero de sección trapezoidal.

Aunque los valores absolutos de las velocidades no son correctos, se puede hacer una comparación cualitativa, suponiendo que se cometió el mismo grado de error en los 2 casos analizados.

FIGURE 1
GENERAL LAYOUT



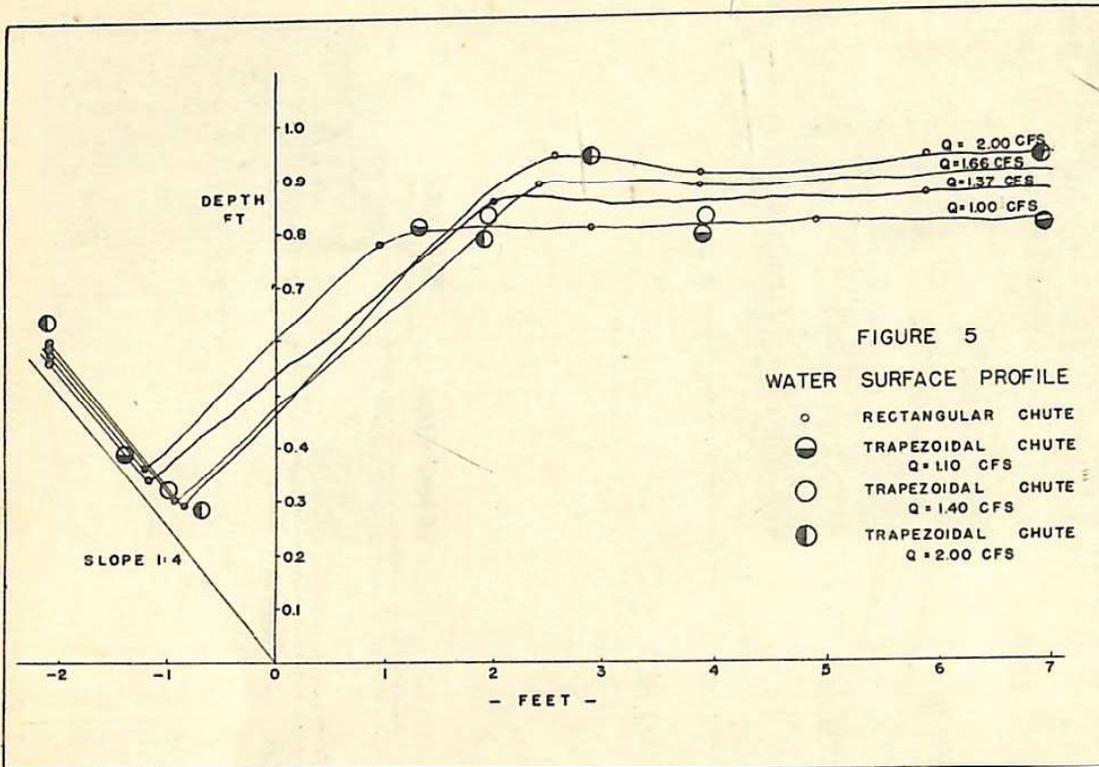


FIGURE 5

WATER SURFACE PROFILE

- RECTANGULAR CHUTE
- ◐ TRAPEZOIDAL CHUTE
Q = 1.00 CFS
- TRAPEZOIDAL CHUTE
Q = 1.40 CFS
- ◑ TRAPEZOIDAL CHUTE
Q = 2.00 CFS

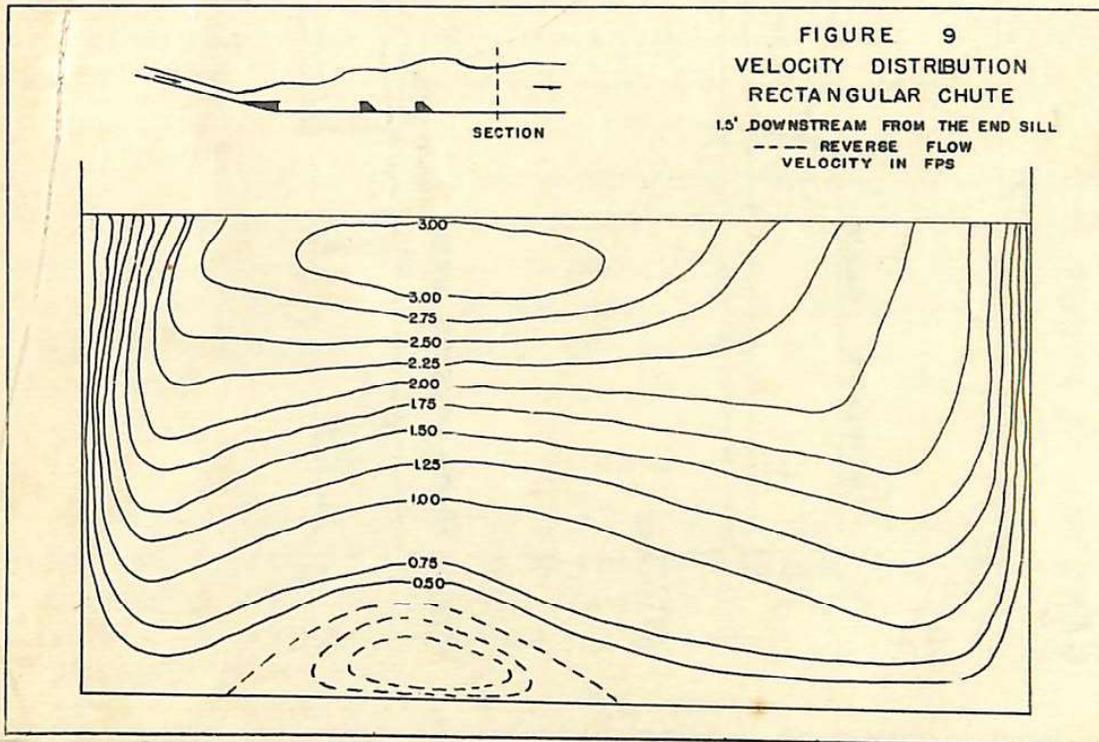


FIGURE 9

VELOCITY DISTRIBUTION
RECTANGULAR CHUTE

1.5' DOWNSTREAM FROM THE END SILL
 --- REVERSE FLOW
 VELOCITY IN FPS

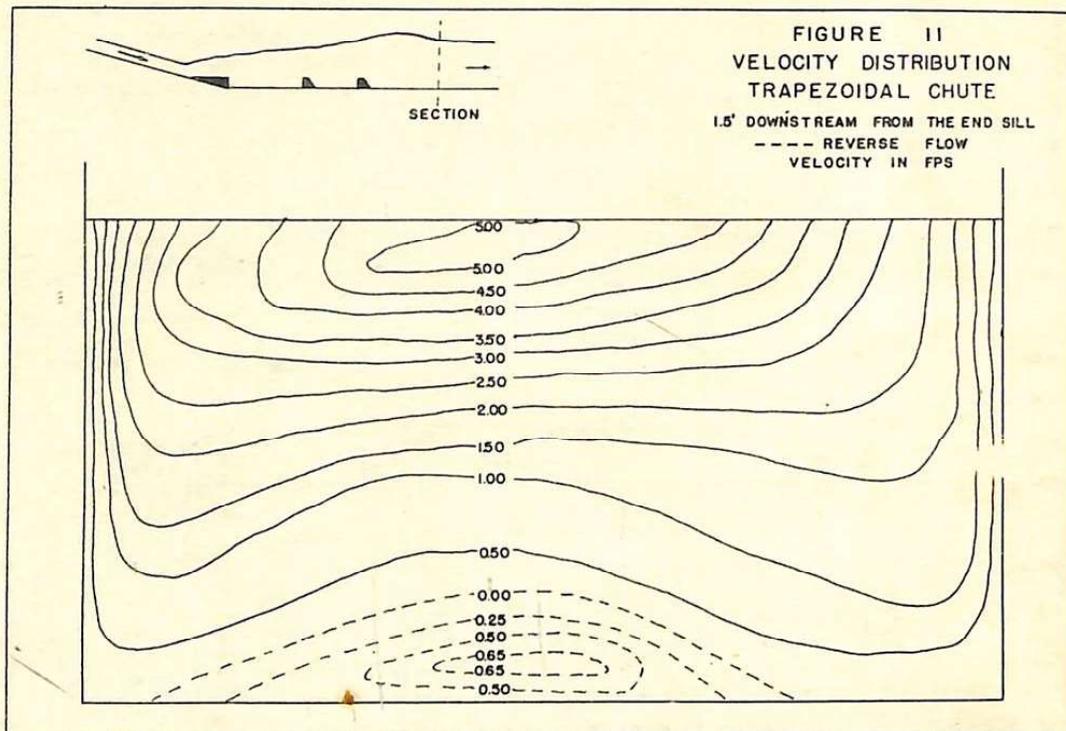
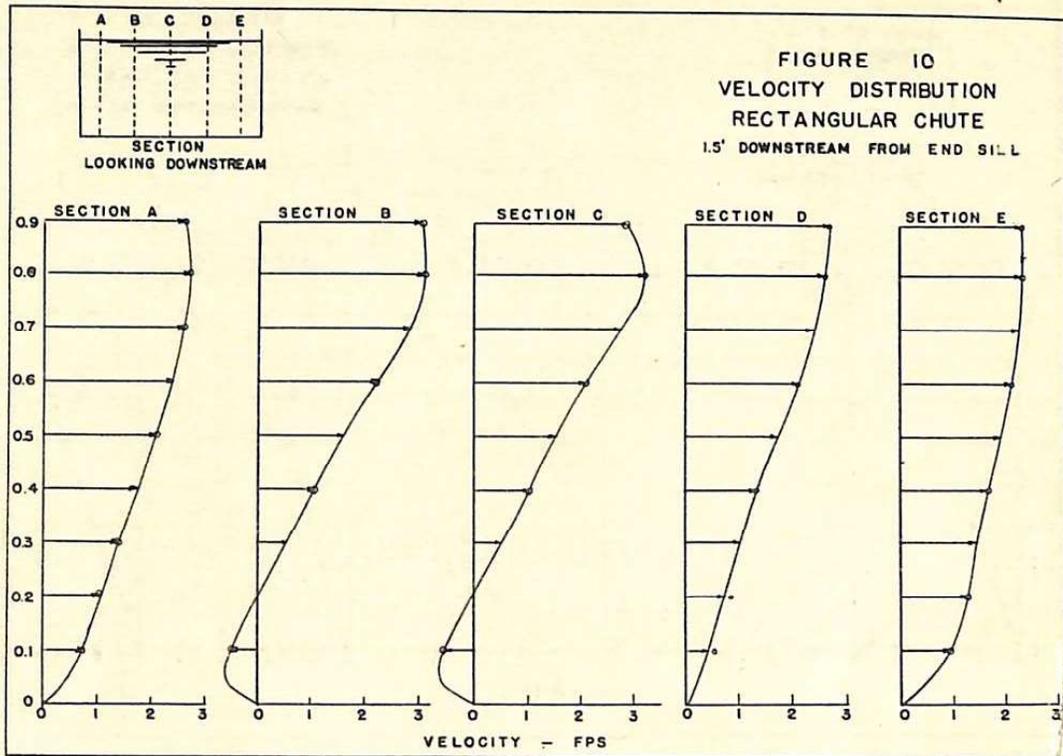


FIGURE 12
 VELOCITY DISTRIBUTION
 TRAPEZOIDAL CHUTE
 1.5' DOWNSTREAM FROM END SILL

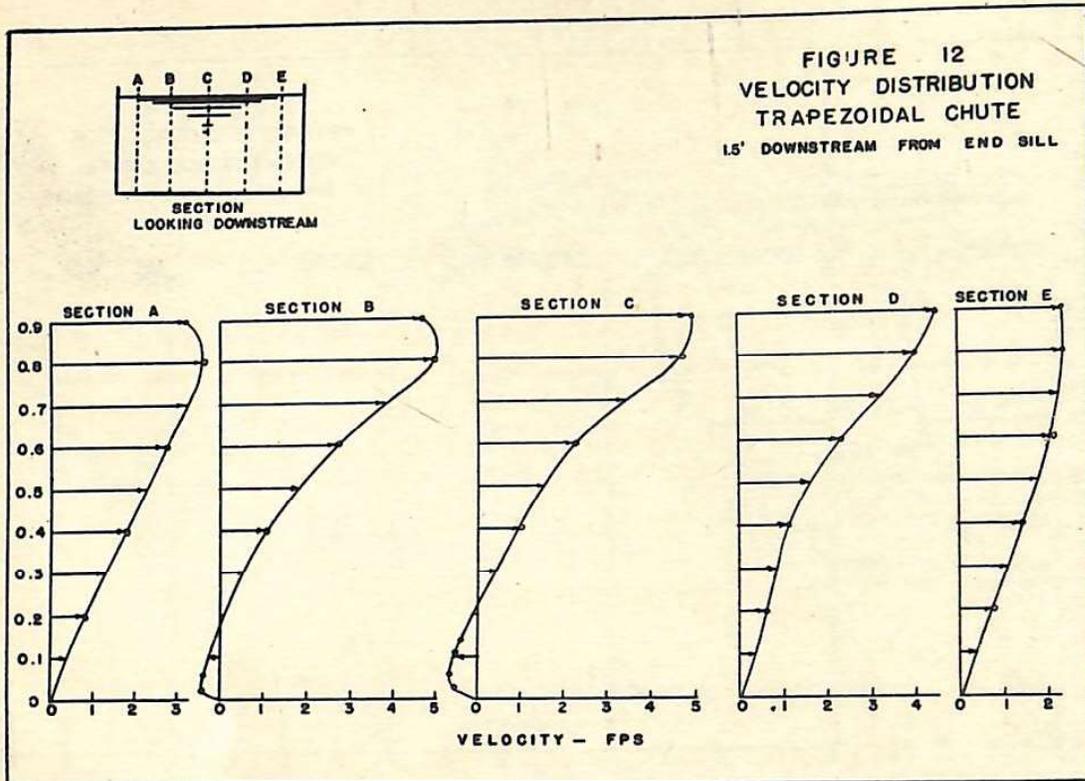
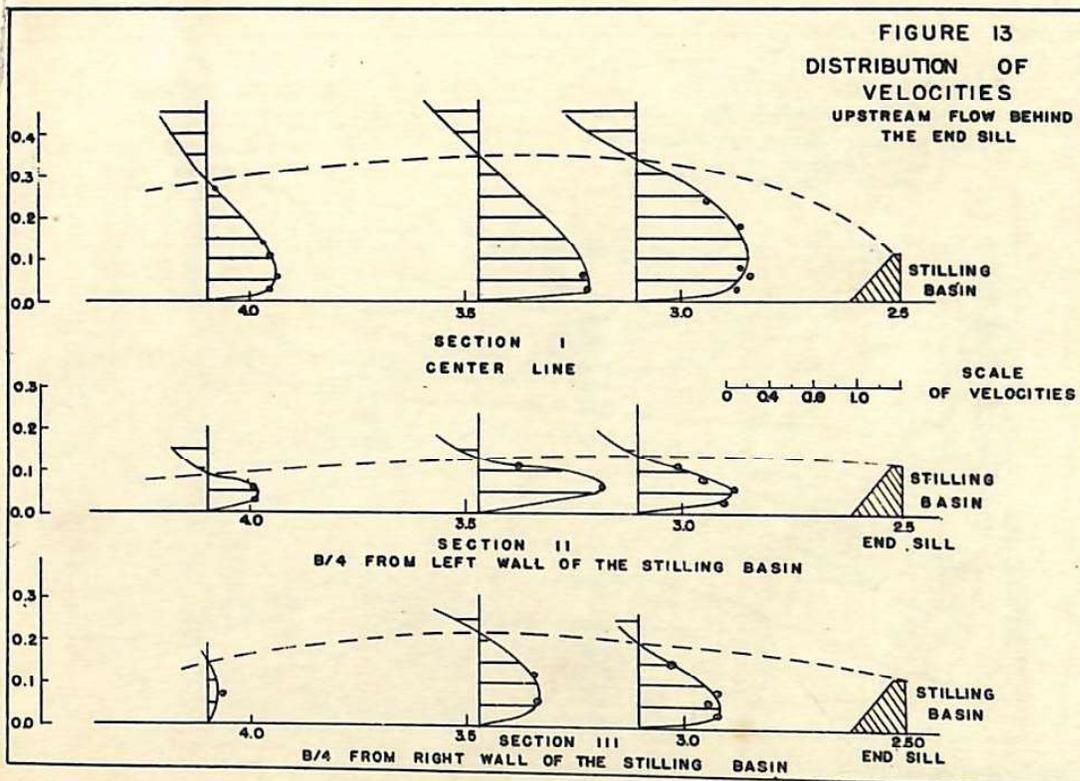


FIGURE 13
 DISTRIBUTION OF
 VELOCITIES
 UPSTREAM FLOW BEHIND
 THE END SILL



En general la distribución de velocidades para el caso del aliviadero trapezoidal es menos uniforme, y da mayores valores para la velocidad máxima en la sección.

La distribución del flujo aguas arriba del diente a lo largo del fondo del canal, determinada por medio del tubo de pitot, se muestra en la Fig. 13. Para cada distribución se dibujó en el gráfico una línea promedia de velocidad cero. Desafortunadamente no se tomaron datos para el caso del aliviadero rectangular por lo cual no se pudo hacer comparación ninguna. Tal comparación puede ser de interés puesto que las medidas de las velocidades en esta región tienen un valor real.

CONCLUSIONES:

Inconcluso como fue este estudio permite sin embargo las siguientes conclusiones:

1ª).— El aliviadero de sección trapezoidal afecta adversamente el funcionamiento del resalto hidráulico en el pozo de quietamiento, produciendo distribución irregular de las velocidades, formación de remolinos y flujo errático. Estos efectos son más pronunciados para pequeñas descargas, casos en los cuales la formación de un chorro sumergido en el pozo de quietamiento es completamente evidente.

2ª).—El diseño y construcción de un aliviadero de sección trapezoidal se debe evitar a menos que se haya hecho un estudio completo sobre modelos para reducir al mínimo los efectos en el resalto hidráulico.

3ª).— Se debería llevar a cabo una investigación más detallada con el fin de obtener datos cuantitativos que produzcan resultados más concluyentes.

BIBLIOGRAFIA

- 1 — Rouse Hemter; Engineering Hydraulics John Wiley & Sons, New York 1950.
- 2 — Woodward, Sherman M. Chesley J.; Hydraulics of Stead y Flow in open Channels, John Wiley & Sons, 1941.
- 3 — Hsing Pei - Su; "The Hydraulics Jump in Trapezoidal Channel" Universidad del Estado de Iowa - 1937.
- 4 — Warnock, J. E. "Report on inspection trip to correlate present hydraulic design practice and the operation of structures in the field; "Bureau of Reclamation, Denver Colorado, 1938.
- 5ª — Ippen, Arthur T.; "Mechanics of supercritical flow". Trans. American Society of civil engineers. Vol. 116, página 265. - 1951.