

**XXVII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA  
LIMA, PERÚ, 28 AL 30 DE SEPTIEMBRE DE 2016**

**DETERMINACIÓN DE PRESIONES EN DISIPADORES  
DE ENERGÍA TIPO IMPACTO**

***Manfred Barboza Fallas y Rafael Murillo Muñoz***

*Laboratorio de Hidráulica, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.*

*San José, Montes de Oca, San Pedro. 11501-2060, Costa Rica.*

*Rafael.Murillo@ucr.ac.cr*

**RESUMEN:**

La distribución de presiones en un disipador de energía de tipo impacto (USBR cuenco tipo VI) fue analizada en esta contribución. La distribución de presiones se midió experimentalmente a través de un modelo físico. Los resultados obtenidos sugieren que los valores mayores de presión ocurren en el tercio medio inferior de la pared de impacto, esto sobre el eje de simetría de la estructura, así como en la losa de fondo, en la región cercana a la pared de impacto. Se observó además que un aumento de caudal no necesariamente implica un incremento de presión. Valores de coeficiente de presión promedio y de presión fluctuante se determinaron con el fin de cuantificar en prototipo el campo de presiones media y los valores instantáneos de las mismas.

**ABSTRACT:**

The pressure distribution in an impact stilling basin (USBR type VI) was analysed in this contribution. The pressure distribution was experimentally measured in a physical model. Results suggest that maximum pressure occurs in the lower third of the impact wall along the symmetry axis of the structure as well as on the floor slab, in the near region of the impact wall. Furthermore, it was observed that a discharge increment does not necessarily imply an increment of pressure. Values of mean pressure coefficient as well as fluctuating pressure coefficient were determined in order to quantify the mean pressure field as well as the fluctuating pressure values.

**PALABRAS CLAVES:** disipación de energía; medición de presión; cuenco disipador

## INTRODUCCIÓN

La descripción y análisis de una gran mayoría de fenómenos hidráulicos es hoy en día posible mediante idealizaciones matemáticas y análisis numéricos. Sin embargo, existen todavía situaciones en las que la complejidad del fenómeno no permite que su descripción matemática sea precisa. En estos casos, la investigación mediante el modelado físico es una de las herramientas más importantes para tratar de comprender la conducta del agua.

Para evitar daños generados por la erosión, es necesario disipar efectivamente la energía acarreada por los flujos y las caídas de agua. Varios métodos de disipación son utilizados para estos efectos en sistemas hidráulicos, entre ellos se encuentran los disipadores de energía de impacto (USBR cuenco tipo VI) los cuales son estructuras en forma de caja, cuyo interior poseen una pared colocada verticalmente. Parte de la energía del flujo entrante es disipada por el choque directo de ésta contra la pared y otra por los vórtices formados después de dicho impacto. Esta estructura es muy útil cuando el nivel de agua de salida no es controlado o en sistemas donde la tasa de crecimiento de la descarga es repentina y la acumulación del agua saliente es lenta.

Los disipadores de impacto han sido objeto de un número significativo de estudios, Peterka (1955a, 1955b, 1984), Bradley y Peterka (1957), Beichley (1978), Aisenbrey et al (1978), entre otros. Estos trabajos se han centrado en la obtención de parámetros y relaciones para el dimensionamiento de las estructuras y en la cuantificación de la disipación de energía, dejando de lado los valores de presiones a los que podría estar sujeta la estructura. Por ello, este trabajo se focaliza en determinar las presiones medias e instantáneas que experimentan los diferentes elementos estructuras de un cuenco disipador tipo VI.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Un modelo físico del disipador de impacto fue construido en Laboratorio de Hidráulica de la Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. La alimentación del modelo se realizó mediante el sistema de recirculación de agua disponible en el laboratorio, el cual consiste en un tanque de almacenamiento subterráneo, dos bombas centrífugas y en una red tuberías de 200 mm de diámetro, las cuales distribuyen el agua a los diferentes puntos del laboratorio. El caudal fue controlado por medio de dos orificios medidores (20 mm y 50 mm) conectados a manómetros diferenciales y ubicados en las conducciones de la red de laboratorio.

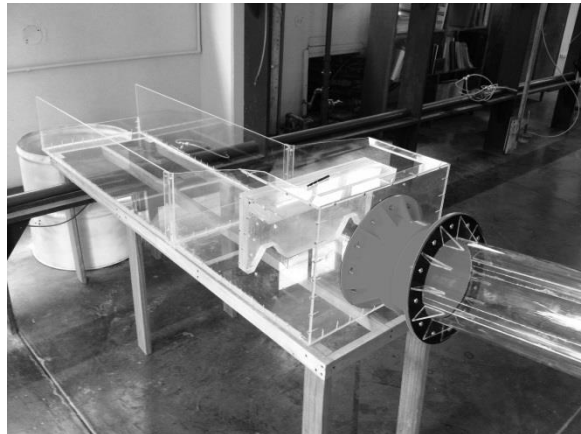
El modelo fue construido con diversos tipos de materiales. La cámara de carga del modelo se construyó con plywood fenólico y con dimensiones de  $0,60 \times 1,22 \times 0,60 \text{ m}^3$ , las perturbaciones producidas por la descarga del flujo de presión de la tubería de alimentación fueron disipadas mediante un filtro elaborado con trozos de tubería de PVC de 12 mm de diámetro. La tubería de conexión entre la cámara de carga y el disipador se construyó con láminas de acrílico (polimetacrilato de metilo) translúcido de 4 mm de espesor, longitud de 200 cm, diámetro de 20 cm y una inclinación de 5 grados con el fin de garantizar flujo supercrítico y control a la entrada. Finalmente el disipador de impacto fue también elaborado con láminas de acrílico de 4 mm de espesor. La figura 1 muestra el ensamble total del modelo físico mientras que la figura 2 el detalle del disipador de impacto. El dimensionamiento del mismo se llevó a cabo según el procedimiento recomendado por Aisenbrey et al. (1978) y sus dimensiones se hicieron coincidir con el modelo más pequeño probado por la Oficina de Restauración (USBR por su siglas en inglés) del Departamento del Interior de los Estados Unidos (Beichley, 1978).

El sistema de medición de presión utilizado consistió en transductores de presión de bajo rango, modelo DP45-34 elaborados por la empresa Validyne Engineering, los cuales fueron conectados a un demodulador (CD280) de cuatro canales, de esa misma marca comercial, los cuales envían su señal ( $\pm 10 \text{ VDC}$ ) según la presión ejercida sobre ellos. Cada canal del demodulador se conectó a su vez a un bloque de conexión, modelo SCB-68, encargado de enviar la información a la tarjeta de adquisición de datos PCI-MIO-16E-4 de 12 bits, previamente instalada en el computador. El software LabVIEW (v8.6) se utilizó para controlar la adquisición de datos y

configurar la tarjeta PCI. Estos tres últimos componentes elaborados por National Instruments. Para la calibración de los transductores y del sistema de adquisición de datos se utilizó un kit de calibración marca Omega, modelo DPG4000, el cual consiste en un calibrador digital de alta precisión y una bomba neumática manual.



**Figura 1.-** Sistema construido para la realización del modelado.



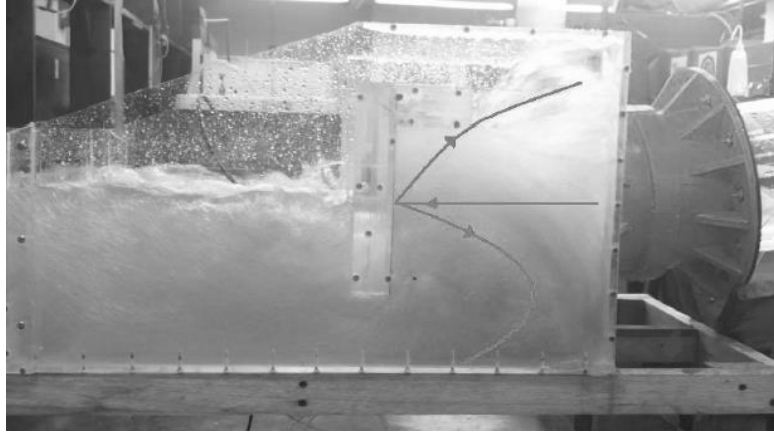
**Figura 2.-** Modelo del disipador de energía tipo impacto.

## **RESULTADOS**

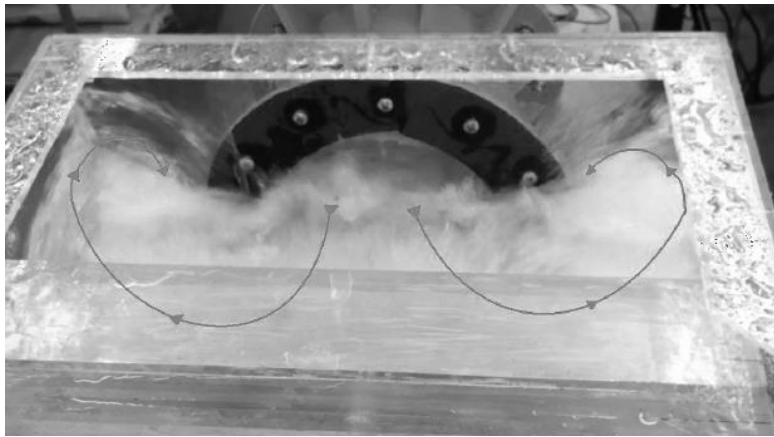
### **Descripción del Flujo Dentro del Disipador**

El agua que ingresa a gran velocidad al disipador por medio de la tubería colisiona directamente contra la pared de impacto. Este choque provoca que el chorro se disperse y que el fluido se devuelva, colisionando con las paredes laterales y trasera (ver figuras 3 y 4). Se observa el desarrollo de un flujo tridimensional y niveles de turbulencia altos, lo cual contribuye notablemente a la disipación de la energía así como también a la inclusión de aire dentro del flujo. Los vórtices ocasionados tienen su movimiento principal del centro hacia los lados para luego descender y encausar el flujo por debajo de la pared de impacto. Se conjetura que la inclusión de la pestaña en voladizo alrededor del área de impacto obedece a la necesidad de contener el salpique de agua, provocado por los vórtices, dentro de la estructura.

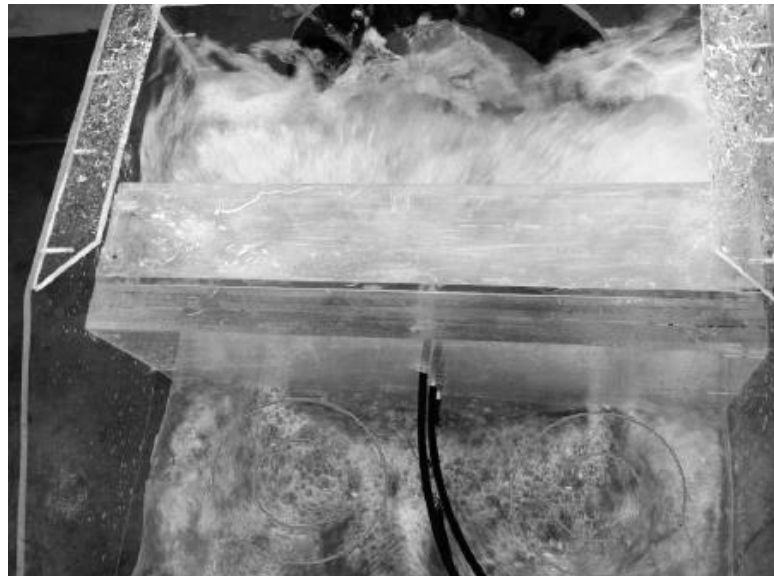
Posteriormente, el flujo que ya ha perdido parte de su energía busca pasar por debajo de la pared de impacto y es detenido en menor escala por la formación de vórtices nuevos que se generan por su tránsito a través de los boquetes de dicha pared, tal y como se muestra en la figura 5. En la imagen se muestra la dirección de los vórtices.



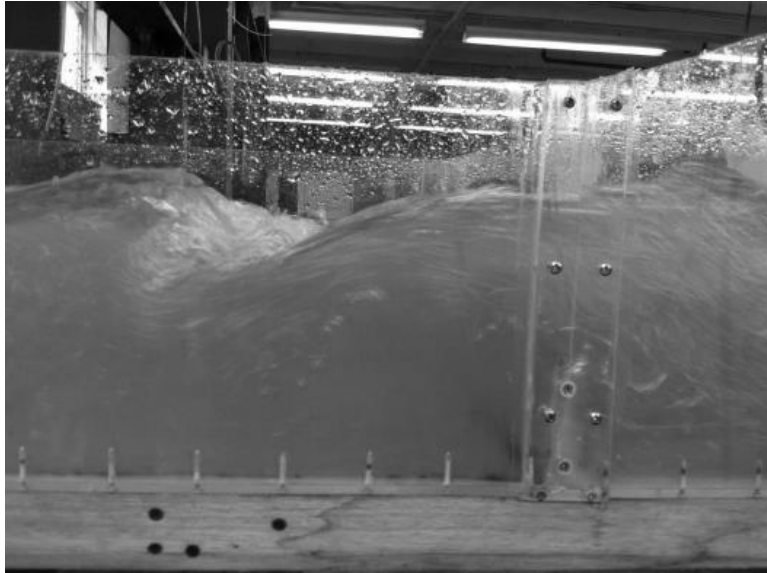
**Figura 3.-** Vista lateral del impacto del chorro de agua contra la pared de impacto y descripción del flujo.



**Figura 4.-** Vista superior del impacto del chorro de agua contra la pared de impacto.



**Figura 5.-** Vista superior del flujo al pasar a través de la pared de impacto.



**Figura 6.-** Vista superior del flujo al pasar a través de la pared de impacto.

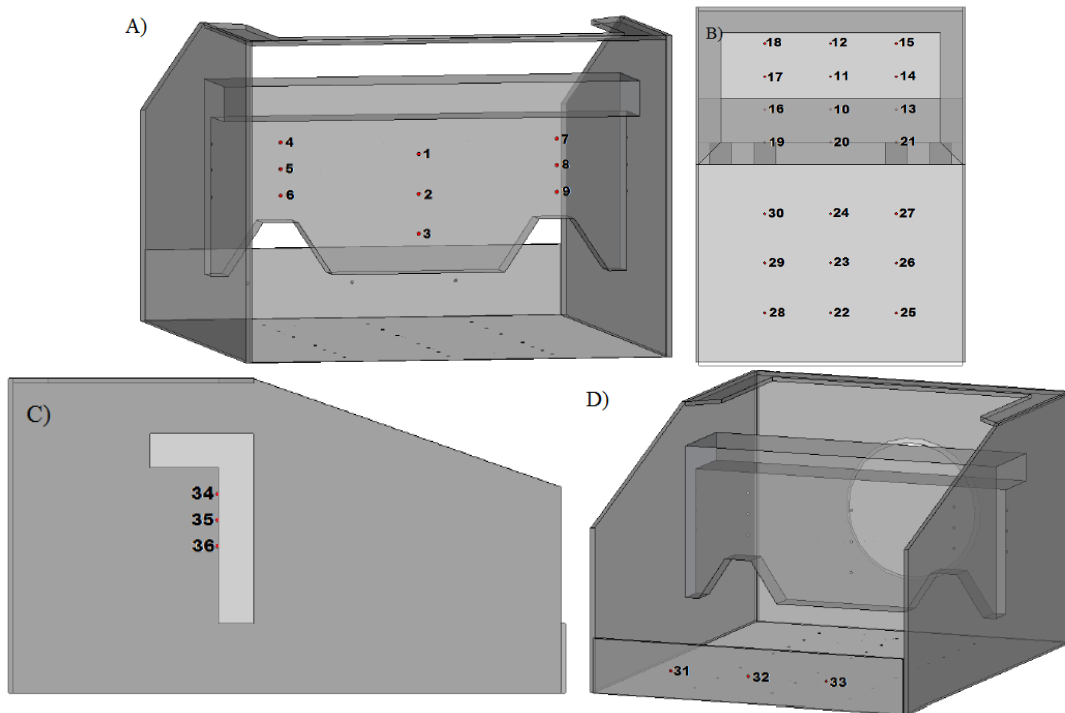
Consecuentemente con estas observaciones se pudo indicar que la disipación de energía en esta estructura se da en mayor escala por el choque contra la pared de impacto, la formación de vórtices en la cámara de impacto en y en una menor porción por el paso a través de los boquetes y la posterior expansión del flujo.

Finalmente el flujo encuentra aguas abajo el umbral de salida, el cual funciona como un control que cataliza la formación de un salto hidráulico (ver figura 6). Este salto contribuye igualmente a la disipación de energía que ocurre en el disipador tipo VI. De acuerdo con los criterios de diseño, es de esperar que dicho salto sea ligeramente sumergido ya que sugieren una profundidad de aguas abajo que minimice las perturbaciones superficiales.

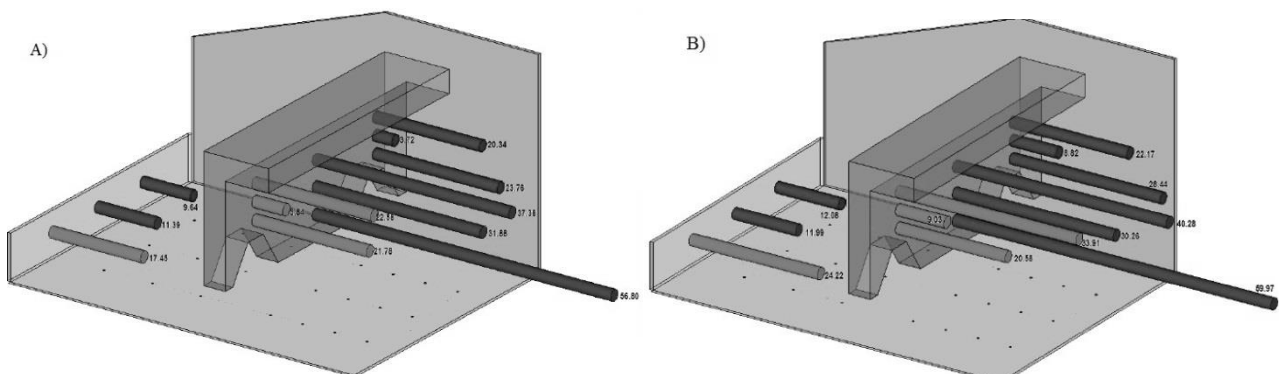
### **Mediciones de Presión**

Con el fin de determinar el campo de presiones dentro del disipador, se distribuyeron tomas de presión de manera simétrica en los diferentes elementos de la estructura, tratando de cubrir la mayor cantidad de área posible y eligiendo los posibles focos de presión máxima según el comportamiento del flujo observado dentro del disipador. De esta manera se definieron en total 39 puntos de medición en el modelo (ver figura 7), de los cuales 9 se localizaron en la pared de impacto, 21 en la losa de fondo, 6 en las paredes laterales (3 en cada una) y los restantes 3 en el umbral de salida del disipador. Para cada caudal analizado, se realizaron seis series de medición de presiones, cada una de estas series se efectuó a una frecuencia de 200 Hz durante 10 segundos. En total se analizaron solo tres caudales: 20, 24 y 28 litros por segundo.

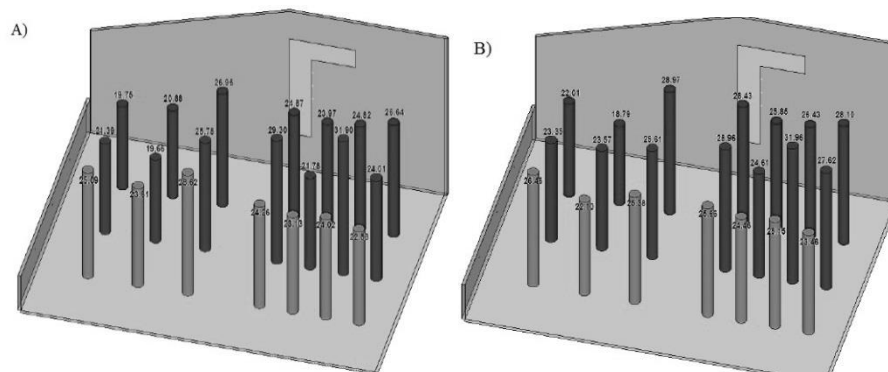
Las mediciones realizadas en el modelo indican que las presiones más altas las debe soportar la pared de impacto, teniendo valores promedio cercanos a los 60 cmH<sub>2</sub>O en la parte inferior de la pared (punto #3), específicamente en el eje de simetría y el tercio inferior de la pared. De forma clara esto se debe a que el chorro de agua proveniente de la tubería choca de manera directa en esta región de este elemento. Las paredes laterales del disipador (puntos #34 a #39) también presentan valores altos de presión promedio, los cuales rondan los 40 cmH<sub>2</sub>O. En cuanto a la losa de fondo, las presiones mayores se dieron en el punto medio entre la pared de impacto y la tubería de entrada (punto #11) y en los puntos localizados cerca de la pared de impacto, todos éstos sobre el eje de simetría del modelo. Por su parte, en el umbral de salida se midieron presiones bajas, del orden de 25 cmH<sub>2</sub>O. Las figuras 8 y 9 presentan los valores promedio de presión medidos en las diferentes elementos del disipador tipo VI.



**Figura 7.-** Ubicación de las tomas de presión. A) Pared de impacto, B) losa de fondo, C) pared lateral derecha, D) umbral de salida.



**Figura 8.-** Valores de presión promedio (cm H<sub>2</sub>O) en la pared de impacto y umbral de salida. A) Caudal mínimo (20 l/s) y, B) caudal máximo (28 l/s).



**Figura 9.-** Valores de presión promedio (cm H<sub>2</sub>O) en la losa de fondo. A) Caudal mínimo (20 l/s) y, B) caudal máximo (28 l/s).

Los datos de presión obtenidos fueron utilizados para el cálculo de los coeficientes de presión media ( $C_p$ ) y de presión fluctuante ( $C_{pf}$ ) definidos de la siguiente manera:

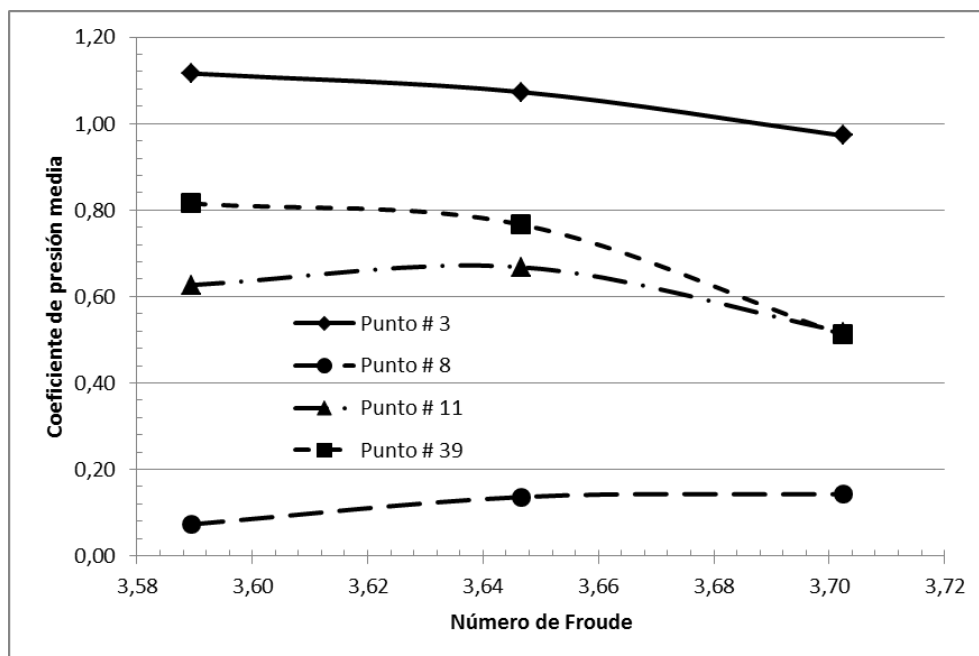
$$C_p = \frac{P/\gamma}{\frac{v^2}{2g}} \quad [1]$$

$$C_{pf} = \frac{\sigma/\gamma}{\frac{v^2}{2g}} \quad [2]$$

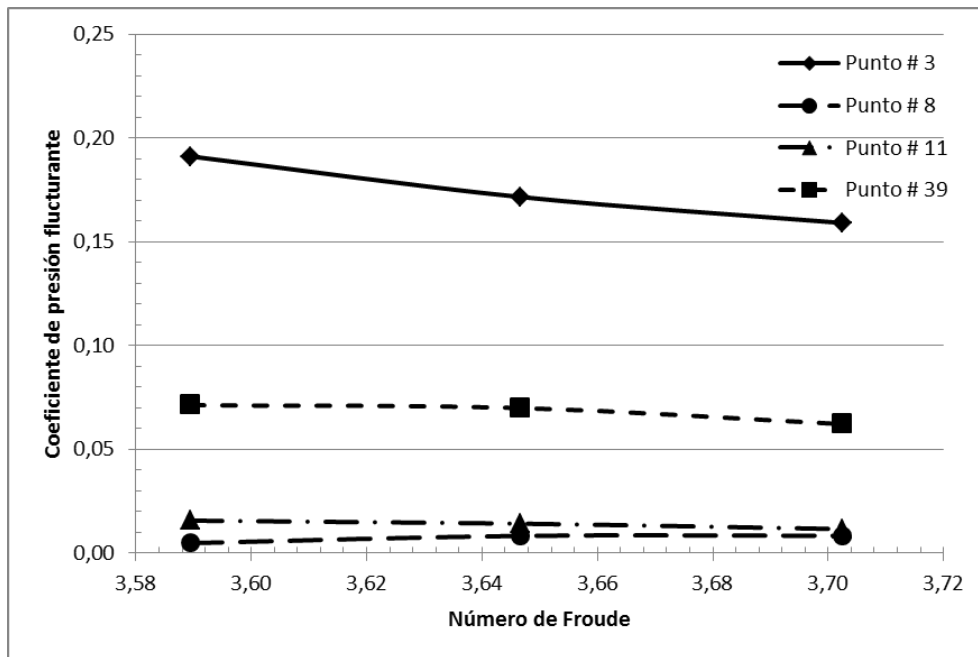
donde  $P$  [Pa] es la presión media,  $V$  [m/s] es la velocidad promedio de entrada del flujo en la tubería,  $\gamma$  [ $N/m^3$ ] es el peso específico del fluido y  $\sigma$  [Pa] es la desviación estándar de la presión. Estos coeficientes permiten la representación adimensional de los resultados a la vez que su extrapolación a prototipos. Los valores de coeficiente de presión fueron graficados (Figuras 10 y 11) en función del número de Froude, calculado éste de acuerdo con Beichley (1978).

En la mayoría de los puntos se da una disminución del valor de  $C_p$  al aumentar el número de Froude, lo que amerita una especial cuidado, principalmente en sectores como las paredes laterales de la estructura (ver punto #39, Figura 10) y prácticamente en toda la losa (punto #11). Este comportamiento hace indicar que, para números de Froude más altos, existe la posibilidad de que las líneas de  $C_p$  y  $C_{pf}$  se intersequen, debido a la caída tan abrupta que muestra la línea de  $C_p$ , lo cual podría originar presiones negativas y la posible ocurrencia de cavitación. En otras zonas, como la parte superior de la pared de impacto o los extremos izquierdo y derecho del umbral de salida, presentan un comportamiento contrario al mencionado en el párrafo anterior, pues los valores de  $C_p$  aumentan de manera súbita con el aumento del número de Froude, probablemente debido a que el impacto del agua en esos sectores ocurre de manera directa.

Los valores de  $C_{pf}$  medidos son pequeños en comparación con los de  $C_p$ , y presentan igualmente una variación pequeña al representarse en función con el número de Froude (Figura 11). Esto sugiere que las fluctuaciones de presión son pequeñas.



**Figura 10.-** Coeficientes de presión media en puntos representativos.



**Figura 11.-** Coeficientes de presión fluctuante en puntos representativos.

El análisis del campo de presiones medido en la losa de fondo sugiere que los mayores valores de  $C_p$  se concentran en la porción ubicada entre la pared de impacto y la pared de ingreso del agua a la estructura, sobre el eje de simetría del dissipador. El punto #11 en las figuras 10 y 11 es representativo de esta condición. Los valores de  $C_p$  van disminuyendo cuanto más alejado este el punto de medida respecto al ingreso de agua. La tendencia general es que el valor de  $C_p$  en la losa disminuya con el aumento en el número de Froude. Sin embargo, se requiere ampliar el rango de valores analizados de este número con el fin de corroborar esta tendencia.

En la pared de impacto, la tendencia es que los mayores valores de  $C_p$  ocurran en la partes superior e inferior de está (puntos #1 y #3), siempre en el eje de simetría. En los extremos de esta pared la tendencia es que los valores de  $C_p$  disminuyan con el aumento en el número de Froude. Es interesante ver la diferencia en los valores de los coeficientes obtenidos en el punto #3 (tercio inferior, eje de simetría) y el punto #8 (tercio medio, lado derecho de la pared de impacto). Las mediciones sugieren que la pared de impacto estará expuesta a fuerzas dinámicas muy disímiles que la convierten en un elemento estructural vulnerable. Además que las regiones cercanas a la pared lateral corresponden a zonas de recirculación y posiblemente separación de flujo. Finalmente, en el umbral de salida los valores de  $C_p$  son relativamente constantes y tienden a disminuir con el aumento en el número de Froude.

## CONSIDERACIONES DE DISEÑO

El dissipador de tipo impacto es una estructura de cajón con una pared deflectora en su interior y un umbral a la salida, el cual es un elemento opcional. En su diseño se recomienda que el nivel de aguas abajo este cercano al nivel medio de la pared deflectora (Beichley, 1978). Para una relación de ancho de estructura con la profundidad de flujo de entrada de tres, el número de Froude del flujo entrante obtenido es de alrededor de uno, para este valor la energía es mínima y se ha demostrado que el uso de este tipo de dissipadores es impráctico para razones ancho-profundidad más pequeños que tres (Beichley, 1978). Por el contrario, si la relación ancho-profundidad es grande, la energía no será disipada efectivamente, ya que el chorro se esparciría y pasaría por debajo de la pared deflectora en lugar de chocar contra ella.

En el caso que la tubería de entrada presente una inclinación menor a  $15^\circ$ , se logra una mejor disipación de energía si se coloca, antes del portal de entrada del dissipador, un tramo



horizontal con una longitud de al menos un diámetro. De manera alterna, se puede rellenar la solera del conducto para producir una superficie horizontal. Para pendientes mayores a  $15^\circ$ , una longitud horizontal de conducto de dos o más diámetros es recomendable (Beichley, 1978). Además, de ser posible, se debe colocar una entrada de aire cerca del final de aguas arriba de la tubería, la cual prevendrá cambios de presión. Para evitar la cavitación la velocidad se limita a 15 m/s.

En periodos de muy bajo flujo o falta de operación del dissipador, se pueden acumular sedimentos en el fondo de este. No existe ningún método práctico para que la estructura se limpie por sí misma de esos escombros, lo cual constituye una deficiencia seria para su utilización en algunas ubicaciones.

Desde el punto de vista del diseño estructural, la pared de impacto es posiblemente el elemento más vulnerable de la estructura debido a que recibe el impacto directo del chorro de agua. Esta pared se apoya únicamente en sus extremos y su comportamiento se asemeja a una losa en una dirección. Los coeficientes de  $C_p$  y  $C_{pf}$  obtenidos permiten realizar una estimación de las cargas dinámicas a las que estará sometida la pared de impacto permitiendo así una optimización de su espesor.

## CONCLUSIONES

Las presiones instantáneas, representadas por medio del  $C_{pf}$ , en los diferentes elementos de un cuenco dissipador tipo VI fueron medidas y analizadas en un rango corto de números de Froude. De los resultados obtenidos se desprende que las presiones mayores se presentan en la pared de impacto en las cercanías de ésta, tanto en la losa como en las paredes laterales. Se observó además que un aumento de caudal no necesariamente implica un aumento de presión. Dependiendo de la posición, las presiones pueden aumentar, disminuir o bien mantenerse relativamente estable. Finalmente se extrajeron parámetros para el diseño estructural de la pared de impacto a través de las tendencias observadas en los valores de coeficiente de presión. Con el fin de corroborar las tendencias observadas se requiere ampliar el rango de números de Froude analizados y se recomienda extender los estudios, con el fin de explorar la utilización de un cuenco tipo VI como dispositivo de aireación de flujos y mezcla.

## REFERENCIAS

- Aisenbrey, A., Hayes, R., Warren, H., Winsett, D., and Young, R.** (1978). *Design of Small Canal Structures*. United States Government Printing Office, Denver, Colorado, U.S.A
- Barboza Fallas, M.** (2013). “Análisis del funcionamiento de los dissipadores de energía de tipo impacto mediante pruebas dinámicas en un modelo físico”. Proyecto de Graduación de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Beichley, G.** (1978). *Hydraulic Design of Stilling Basin for Pipe or Channel Outlets*. United States Government Printing Office, Denver, Colorado, U.S.A.
- Bradley, J.N. and Peterka, A.J.** (1957). “The hydraulic design of stilling basins: small basins for pipe or open channel outlets –No tail water required (basin VI)”. *Journal of the Hydraulic Division*, ASCE, Vol. 83, No 5, pp. 1-17.
- Peterka, A.** (1955a). *Progress Report I - Impact Type Energy Dissipators for Flow at Pipe Outlets*. Denver, Colorado, U.S.A.
- Peterka, A.** (1955b). *Progress Report II - Research Study on Stilling Basins, Energy Dissipators and Associated Appurtenances*. Denver, Colorado, U.S.A.
- Peterka, A.** (1984). *Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators. Engineering Monograph 25*. United States Government Printing Office, Denver, Colorado, U.S.A.