

# Disipación de energía en cuencos con pendiente adversa

## *Reverse Slope Energy Dissipators*

(Recepción 04/01/2017; Aceptación 15/03/2017)

Plua, F.<sup>1</sup>; Hidalgo, X.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>IAHR Member 49371, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Quito-Ecuador

<sup>2</sup> Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Quito-Ecuador

Teléfono: 59323803977-593984967929

Email: frank.plua@epn.edu.ec

**Resumen.** Este trabajo corresponde al estudio de disipadores de energía con forma de trampolín liso y desarrollo en contrapendiente. Se definieron las características principales del fenómeno en la geometría original. Se efectuaron modificaciones a la estructura y se ubicaron dispositivos en diferentes posiciones y grados de inclinación para mejorar el funcionamiento. Con base en los resultados de las pruebas se definió la configuración óptima que consiste en la reducción a la mitad del ancho inicial de la rápida y la colocación de dos rejillas disipadoras. Esta nueva disposición permitió optimizar el caudal específico en 3.7 veces respecto al manejado en la configuración original.

**Palabras clave.** Disipador en contrapendiente; Disipador tipo trampolín liso; Rápidas; Rejillas Disipadora; Resalto hidráulico.

**Abstract.** This study focuses on buckets and adverse slope energy dissipators, using a series of tests to determine the main characteristics of the phenomenon on a modified prototype. By altering this structure and placing devices in different positions and degrees of tilt to improve its performance, these tests revealed an optimal configuration, which consisted of a width reduction channel in half, and the placement of the two grids. This arrangement allows the proper operation of a discharge per unit width equivalent to 3.7 times the maximum discharge per unit width of the original prototype.

**Keywords.** Reverse Slope Energy Dissipator; Buckets energy dissipators; Steeped Channel; Dissipator Grids; Hydraulic Jump

## 1. Introducción

El disipador de energía con forma de trampolín liso más pendiente adversa no ha sido estudiado en el pasado debido al buen funcionamiento individual de los trampolines sumergidos y a que el fenómeno del resalto en pendiente adversa no ha sido suficientemente analizado (McCorquodale, 1994). El objetivo de esta investigación es conocer y optimizar este tipo de estructura a través de experimentos realizados en laboratorio, con el fin de plantear una nueva alternativa de disipación de energía.

## 2. Metodología

### 2.1. Descripción del prototipo

Para realizar el análisis se utilizó el Modelo Hidráulico de las Obras de Derivación y Desvío de la Quebrada El Batán realizado por la Escuela Politécnica Nacional en convenio con la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento EPMAPS (antes EMAAPQ) en el año 2000 (EPN, 2000). En la Fig. 1 se encuentra una vista lateral del modelo físico. La estructura de entrada al modelo es una compuerta plana vertical de alta carga ubicada en la abscisa -0.417 m. La compuerta vertical es de madera triplex y tiene un ancho  $b$  de 40cm, esta estructura regula el caudal que ingresa al modelo a través de sus aperturas. Entre las abscisas -0.188 m y 2.554 m se ubica un canal de entrada de  $b = 40$  cm,

altura de pared  $h = 15$  cm y pendiente longitudinal de 10.96%.

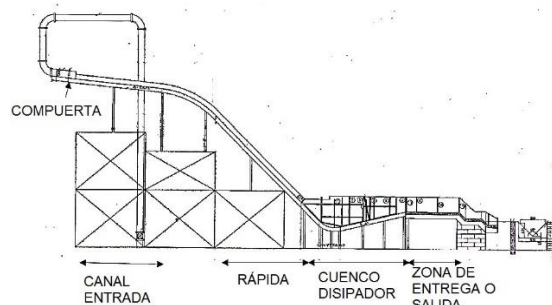


Figura 1. Esquema del prototipo.

El sistema de investigación o prototipo comprende la Rápida, el Cuenco Disipador-que es la estructura hidráulica objeto de investigación- y la Zona de Entrega o Salida. La rápida tiene las mismas condiciones de fondo que el canal, se encuentra entre las abscisas 4.255 m y 6.973 m, entre las cotas 4.18 m y 1.46 m, es de sección rectangular con base y altura iguales al canal de entrada y posee una pendiente longitudinal del 100%. El Cuenco Disipador corresponde a una cámara de disipación con forma de trampolín liso más desarrollo en contrapendiente del 25% y se ubica entre las abscisas 6.973 m (cota 1.46 m) y 10.297 m (cota 1.18 m). Está conformado por planchas de acrílico para la pared y madera triplex tratada para la base tal como en la rápida y el canal.

Finalmente, la zona de entrega o salida lleva el flujo hasta el tanque recolector, es de sección rectangular

con una longitud de 2 m y se extiende desde la abscisa 10.297 m (cota 1.18 m) hasta la abscisa 12.297 m (cota 1.179 m). Las mediciones se realizaron con un vertedero triangular de pared delgada, limnímetros, regletas graduadas y micromolinetes.

## 2.2. Actividades Realizadas

1. Determinación experimental del rango de caudales en el que se obtiene un funcionamiento adecuado del dissipador de energía considerando el diseño original;
2. Determinación teórica y experimental de las características del flujo de ingreso al dissipador de energía así como de las características del resalto producido;
3. Planteamiento de variantes geométricas y colocación de dispositivos para optimizar el funcionamiento hidráulico del dissipador de energía al pie de la rápida;
4. Definición de la configuración que optimiza la geometría original; y,
5. Verificación experimental del tipo de flujo que se produce en la zona de entrega del modelo.

### 2.2.1 Determinación de características del resalto hidráulico y de condiciones de entrada al cuenco

Para todos los caudales de ensayo se determinaron experimentalmente las condiciones de entrada al cuenco amortiguador en función del caudal específico  $q$ ; y, se estudió el funcionamiento del colchón dissipador con base en las mediciones de los diferentes calados en las secciones 14, 15, 16, 17, 18 y 19 del Prototipo (Ver Fig. 2). Se verificaron los parámetros de simetría, turbulencia, vibración y condiciones del flujo en todo el prototipo.

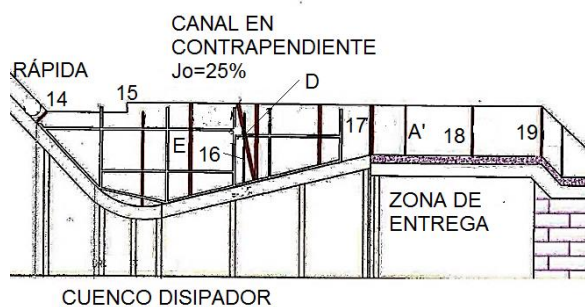


Figura 2. Cuenco dissipador.

### 2.2.2 Variación de geometría y dispositivos colocados

Con el fin de generar mayor disipación de energía a través de una expansión brusca y aprovechar las dimensiones del cuenco, se realizó una modificación en la geometría del prototipo reduciendo el ancho  $b$  de la rápida de 40 cm a 20 cm y siguiendo el mismo procedimiento indicado en el numeral anterior.

Con la nueva geometría del prototipo, se colocaron una serie de dispositivos en sitios específicos del cuenco dissipador y/o en las zonas de entrega del prototipo para incrementar la disipación de energía. Se observó el funcionamiento hidráulico del sistema y se obtuvieron conclusiones sobre su funcionamiento individual y colectivo. Cuando los dispositivos mejoraron el comportamiento del cuenco dissipador, se realizaron nuevas pruebas de investigación.

Los dispositivos colocados fueron:

*Dados de disipación:* Se colocaron estos dispositivos al final de la rápida y se diseñaron de acuerdo a las recomendaciones del Bureau of Reclamation. (Peterka, 1974).

*Stoplogs:* Estas estructuras de  $h = 5\text{cm}$ , fueron ubicadas en la zona de protección del cauce con el fin de confinar el resalto hidráulico en el cuenco.

*Rejillas uniformizadoras o bandejas dissipadoras:* Se colocaron estos dispositivos en diferentes posiciones y con diferentes grados de obstrucción y de inclinación para mejorar el comportamiento general del dissipador. El esquema de las rejillas se observa en la Fig. 3.

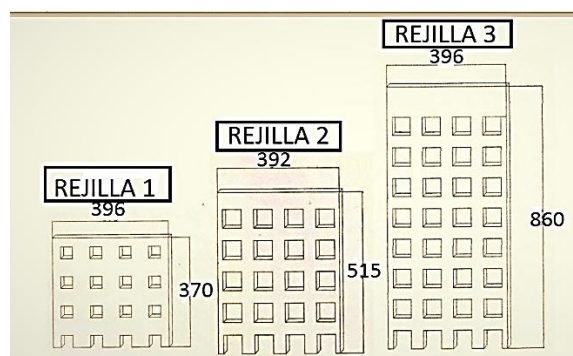


Figura 3. Rejillas dissipadoras (dimensiones en mm).

## 3. Resultados y discusión

Para todos los experimentos, el flujo que ingresa al dissipador es supercrítico ( $6 < Fr < 14$ ) y simétrico respecto de su eje central. En ningún caso se observó afectación en las paredes laterales del cuenco por efecto de la macroturbulencia producida, por lo que se puede concluir que el fenómeno de abrasión no perjudicará el material de la pared. Respecto al tema de vibración, ésta se presenta en el modelo a partir de 10 l/s y se incrementa de manera proporcional al aumento de caudal. En la Tabla 1 se presenta un resumen de los experimentos realizados y sus respectivos resultados.

### 3.1. Resultados de pruebas adicionales en el prototipo optimizado

El rango de caudales en los que la optimización funciona adecuadamente (prueba 6) es desde 7 l/s ( $q = 0.035 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ) a 50 l/s ( $q = 0.25 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ). Los caudales ensayados fueron 7 l/s, 17 l/s, 34 l/s y 50 l/s.

Para todos estos caudales, el flujo es simétrico respecto al eje central y en la sección final de la rápida se presentó flujo supercrítico ( $6 < Fr < 10.30$ ). El dissipador trabajó eficazmente y en el canal de entrega se presentó régimen subcrítico ( $0.27 < Fr < 0.90$ ) (Ver Fig.4).

Tabla 1. Resumen y resultados de pruebas ejecutadas.

#	Prueba	$q_m^{mín}$ m <sup>3</sup> /s/m	$q_M^{máx}$ m <sup>3</sup> /s/m	Zona de entrega	$q_M/q_0$
1	Geometría original (b=40cm)	0.013	0.068=q <sub>0</sub>	Fr.subcrítico fluctuación moderada	1.00
2	Geometría modificada (GM) (b=20cm)	0.015	0.155	Fr.subcrítico fluctuación moderada	2.30
3	GM +dados	-	0.050	Fuertes fluctuaciones	0.73
4	GM +stoplogs	0.015	0.155	Fr.subcrítico fluctuación moderada	2.30
5	GM +rejillas	varios	varios	Resultados varios	varios
6	Rejilla2 en D+Rejilla3 en E <b>óptimo</b>	0.035	0.25	Fr.subcrítico fluctuación moderada	3.7



Figura 4. Prototipo optimizado,  $Q = 50l/s$ ,  $q_M = 3.7 q_0$ .

Con base en las mediciones efectuadas, se confirmó que el flujo es turbulento y que el efecto de la viscosidad es despreciable respecto al de la inercia. En la Tabla 2 se muestran los valores de calado, número de Froude y Reynolds para las secciones 14, 15, 16, 17,18 y 19 para los caudales específicos máximo ( $q_M$ ) y mínimo ( $q_m$ ) en el prototipo optimizado.

#### 4. Conclusiones

Se logró optimizar el funcionamiento del dissipador de energía con forma trampolín liso más pendiente adversa a través de la reducción del ancho de la rápida y de la colocación de dos rejillas uniformizadoras en el canal de descarga en contrapendiente. La optimización permitió un adecuado funcionamiento del cuenco dissipador para un caudal específico 3.7 veces el caudal específico obtenido en la geometría original.

Tabla 2. Resultados obtenidos en el prototipo optimizado.

SECCIÓN PROTOTIPO	$q_m$ (m <sup>3</sup> /s/m) = 0.035		$q_M$ (m <sup>3</sup> /s/m) = 0.25	
	Reynolds 5.92E+04		Reynolds 2.61E+05	
	Calado	Froude	Calado	Froude
	cm	-	cm	-
14	1.5	5.99	3.9	10.3
15	61.0	0.01	77.0	0.06
16	44.8	0.02	60.8	0.08
17	7.3	0.29	21.0	0.41
18	5.8	0.41	18.0	0.52
19	4.3	0.64	12.5	0.90

El fenómeno de disipación en la configuración optimizadora es a través de la formación de tres resaltos hidráulicos; aguas arriba de la primera rejilla, entre las dos rejillas y aguas abajo de la segunda rejilla. La función de estos dispositivos es confinar el resalto y obstruir la salida.

Para continuar con la investigación se propone desplazar el eje de la rápida hasta que coincida con el eje del cuenco dissipador, realizar pruebas con otras ubicaciones y grados de inclinación de los dispositivos ensayados así como realizar modelaciones numéricas en programas especializados para establecer comparaciones y reforzar el conocimiento teórico del fenómeno.

#### Agradecimientos

Los autores agradecen al Centro de Investigaciones y Estudios en Recursos Hídricos (CIERHI-EPN) por la colaboración e información proporcionada.

#### Referencias

Departamento de Ciencias del Agua, EPN. (2000) “Estudio en Modelo Hidráulico de las Obras de Derivación y Desvío de la Quebrada El Batán”.

McCorquodale, J. (1994). Hydraulic Jumps on Adverse Slopes. *Journal of Hydraulic Research*. Vol.32, 119-130.

Peterka,A. (1974). Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators. Denver, USA: Salt Lake City Library.