



## OBRA DE CAPTACIÓN CON REJILLA DE FONDO: DISEÑO HIDRÁULICO Y ESTRUCTURAL

**Wilmer Ildemaro Albarrán Montilla**

Profesor Asociado

Universidad Politécnica Territorial de Barinas José Félix Ribas  
Barinas, Venezuela. [albarranwilmer@yahoo.es](mailto:albarranwilmer@yahoo.es)

### DATOS DEL ARTICULO

**Recepción:** 29-8-2019

**Aprobación:** 03-11-2019

**Correspondencia a:**

[albarranwilmer@yahoo.es](mailto:albarranwilmer@yahoo.es)  
(Wilmer Albarrán)

**Palabras Claves:**

Captación con rejillas de fondo,  
ríos de montañas, escorrentía.

### RESUMEN

A continuación se presenta una reseña del libro titulado “Obra de captación con rejilla de fondo. Diseño hidráulico y estructural” publicado por la editorial académica española “eae” según ISBN 978-620-0-01486-3. Ofrece una orientación al diseño de las obras hidráulicas de captación con rejilla de fondo, conocidas también como bocatomas de fondo o con el nombre genérico de vertedor tirolés. El manuscrito representa la investigación documental y la compilación de la experiencia por más de 10 años de asesoría de proyectos de investigación estudiantil con este tipo de obra en particular, además, es uno de los compendios del material didáctico de enseñanza y aprendizaje de la temática N° 3 de la Cátedra de Obras Hidráulicas de Ingeniería en Construcción Civil de la Universidad Politécnica territorial José Félix Ribas. Este sistema de captación es ampliamente utilizado en las regiones montañosas de Europa y en las regiones andinas de América, específicamente en Venezuela donde el relieve de los cauces de los ríos de montañas superan el 10% y los flujos torrenciales traen consigo sedimentos, rocas y piedras, y para tales condiciones, esta obra es una alternativa, ya que la forma de ubicación del diseño de la obra de toma, ofrece mayor capacidad para captar en gran parte el caudal de escorrentía en circulación con un contenido mínimo de sedimentos. Autores como Krochin (1978)[1] le atribuyen ventajas desde el punto de vista de la operación y el mantenimiento frente a otros tipos de sistema de captación cuando se ubican en ríos de montañas. El manuscrito contempla 9 ejemplos completamente resueltos que abarcan el diseño hidráulico y estructural del sistema de captación, el diseño hidráulico de la obra de disipación y la estructura desarenadora.



## Introducción

La cuenca hidrográfica alta de la zona andina de Venezuela, por tener ciertas pendientes por encima del 10% y grandes variaciones de caudales en los periodos de lluvias, que dan paso a flujos torrenciales con material de arrastre, como rocas, piedras y arenas, la obra hidráulica de estudio, representa una alternativa para captar el agua con un fin específico de aprovechamiento, como dotación a poblaciones, sistemas de riego, o para generación de electricidad. La referida obras hidráulicas de captación, ha sido denominada por Sotelo (2002)[2] y Ven Te Chow (2004)[3] canal con rejas o rejillas de fondo, y otros como Krochin (1978)[1] la describen como obra de toma con rejilla de fondo, y de forma generalizada PROAGRO (2010)[4] la describe como tomas tirolesas. Siendo está considerada dentro de la clasificación de presas derivadoras, ya que es un dique transversal al flujo de una fuente de escorrentía con una captación frontal, la cual representa según Sotelo (2002)[2] una alternativa para derivar caudales hasta los 10 m<sup>3</sup>/seg en ríos o quebradas de montañas. Esta obra está conformada por las siguientes partes siguiendo el esquema de flujo de captación, una zona de captación conformada por unas rejas o rejillas de captación que permiten captar el caudal de diseño, un canal colector o galería colectora que recolecta el caudal captado por las rejas y un dique o azud que protege estructuralmente la zona de captación de las fuerzas actuantes o solicitaciones, la cual alberga las rejillas y el canal colector.

El flujo del agua que se vierte por encima de la cresta del dique, adquiere una energía que podría atentar contra la integridad de toda la estructura, su estabilidad y por ende su vida útil. Los perjuicios que ocasiona el escurrimiento debido a una alta velocidad, son fundamentalmente los efectos debido a la socavación y erosión del agua al pie de las estructuras, de manera de evitar tal situación, se construyen los denominados disipadores de energía, como estructuras encargada de amortiguar la energía que adquiere el agua en su caída.

El agua captada inevitablemente trae consigo sedimentos en suspensión y de arrastre que logran pasar entre los espaciamientos entre rejillas, por tanto, surge la idea de diseñar un desarenador, para eliminar partículas sólidas que son incompatibles con determinados aspectos del aprovechamiento hidráulico. Acevedo (2016)[5] sugiere que para proyectos hidroeléctricos el diámetro normalmente admitido es de 0.25 mm, en sistemas de riego PROAGRO (2010)[4] propone eliminar partículas mayores de 1 mm, mientras que en proyectos de abastecimiento para agua potable, el desarenador están relacionados a un pretratamiento para eliminar partículas mayores a 0.25 mm.



El libro presenta 9 ejemplos resueltos y consecutivos, denominados casos prácticos que detallan el diseño del sistema de captación y sus partes, la estructura disipadora y el desarenador, siguiendo el esquema de flujo de captación. Para lograr esquematizar estos ejemplos, se estructuró el libro en dos capítulos, el primer capítulo incluye las terminologías y definiciones partiendo de las obras hidráulicas generales hasta la específica en estudio, además, también se hace énfasis a las obras de captación convenientes a cada ambiente del sistema fluvial de una cuenca hidrográfica, y estableciendo una descripción, partiendo de ejemplos de obras de captaciones en ríos de montañas en Venezuela. El segundo capítulo es referido al diseño hidráulico de cada obra como tal, el sistema de captación y sus partes, la estructura disipadora y el desarenador, culminando con el diseño estructural del sistema de captación.

## **Materiales y métodos**

El manuscrito representa la investigación documental y la sistematización de la experiencia por más de 10 años de asesoría de proyectos de investigación estudiantil con este tipo de obra en particular, además, es uno de los compendios del material didáctico de enseñanza y aprendizaje de la temática N° 3 de la Cátedra de Obras Hidráulicas de Ingeniería en Construcción Civil de la Universidad Politécnica territorial José Félix Ribas.

## **Procedimientos de diseño**

La metodología se fundamenta en dos fases, la primera es considerada como el anteproyecto de obra que consistió en definir las variables de la Ingeniería Básica, la recopilación y todo el análisis de la información esencial que conllevo adoptar la alternativa adecuada para ser desarrollada en la segunda fase, denominada proyecto de obra o Ingeniería de Detalle, para la cual se asumieron unas especificaciones técnicas que permitió delimitar 9 ejemplos resueltos denominados casos prácticos de diseño, fundamentado en las teorías, ecuaciones e investigaciones propias de la ingeniería hidráulica. Siguiendo el esquema de flujo de captación, se logró delimitar una zona de captación conformada por un dique o azud, que protege estructuralmente la zona de captación (rejillas y el canal colector) de las fuerzas actuantes o sollicitaciones que estará sometida durante su vida útil, una estructura disipadora que es la empleada para contener el resalto hidráulico del flujo del agua y una estructura desarenadora que permite sedimentar y remover del agua cruda las partículas sólidas en suspensión y de arrastre que ingresan con el agua entre las aberturas entre las rejas y que de alguna forma, generan un problema para el aprovechamiento. La ingeniería de detalle representa el diseño hidráulico y estructural del conjunto de obras, que en este caso es referido a los casos prácticos, como se detallan a continuación:



**Caso práctico N° 1: Diseño de rejas o rejillas**

El diseño contempla el dimensionamiento de la longitud “L” y el ancho “B” de la zona de captación siguiendo los siguientes enfoques:

Ecuación de Orificio		Ecuación de vertedores
Hipótesis		Hipótesis
Línea de energía paralela a las rejas	línea de energía horizontal	línea de energía horizontal
Mostkow (1957)[6]:  $L = \frac{Q}{Bm\sqrt{2gE_0}}$ $m = \varepsilon C_d$ $\varepsilon = (1 - f) \frac{s}{s + e}$ $E_0 = \left( \frac{Q_0}{C_v B} \right)^{2/3}$ Krochin (1986)[1]:  $B = \frac{0.313Q}{(C K)^{3/2} L^{3/2}}$ $K = (1 - f) \frac{s}{s + e}$ $C = C_0 - 0.325 \operatorname{tg} \theta$	Frank (1956)[7]:  $L = 2.561 \frac{q}{\lambda \sqrt{h_0}}$ $\lambda = C_{qh} m \sqrt{2g \cos \theta}$ $C_{qh}(h) = 0.66 m^{-0.16} \left[ \frac{h}{l} \right]^{-0.13}$ $m = \frac{s}{s + e}$ $l = s + t$ $h = k_c h_c$	Simmler (1978)[8], GTZ (1989)[9] y PROAGRO (2010)[4]:  $L = \frac{3Q}{2c\mu B \sqrt{2gh}}$ $c = 0.60 \frac{s}{t} (\cos \theta)^{3/2}$ $h_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g B^2}}$ $h = k_c h_c$

Para Mostkow (1957)[6] el valor de “m” es el coeficiente global de descarga, “C<sub>d</sub>” el valor del coeficiente de contracción, “E<sub>0</sub>” la energía específica al inicio de la reja. Para Krochin (1986)[1] “C” es el coeficiente de descarga y “K” el coeficiente de reducción del área total en área efectiva disponible y para “B” que es el ancho del cauce de la fuente superficial transversal a las rejillas con base a los cortes de las pletinas estima conseguir recomendar la longitud “L”. Para Frank (1956)[7] “q” representa la descarga por unidad de ancho, “λ” factor de forma, “C<sub>qh</sub>” coeficiente de descarga por unidad de longitud, “θ” ángulo de inclinación de las rejas, “h” la altura del calado de aproximación del flujo sobre la reja, “s” separación entre barras, “e” espesor de la barra y “k<sub>c</sub>” el factor de reducción. Para Simmler (1978) [8], GTZ (1989)[9] y PROAGRO (2010)[4] el valor “c” es el coeficiente de flujo sumergido, “μ” coeficiente de descarga de la rejilla y “h” referido al tirante de agua.



## Caso práctico N° 2: Diseño estructural de rejas o rejillas

Se busca cumplir que el esfuerzo calculado “ $\sigma$ ” sea menor que el esfuerzo del material del fabricante o la resistencia a la tracción mínima “ $f_{su}$ ”, además, la barra hecha empleada en el diseño de las rejillas, es aquella cuya sección cumpla también con la condición impuesta para el módulo resistente de la sección “ $Z$ ”, donde  $Z \geq M/\sigma$ , y la relación  $I/C \geq M/\sigma$ . Siendo “ $I$ ” el momento polar de inercia, “ $C$ ” la distancia a la fibra más alejada y “ $M$ ” el momento máximo generado en la barra.

## Caso práctico N° 3: Diseño del canal colector o galería colector

Para dimensionar el canal colector se utiliza la metodología de Zamarin (1961) citado por Krochin (1986)[1], la cual consiste en dividir el canal colector en tramos iguales para poder determinar en cada segmento el caudal ( $Q_x$ ), la velocidad ( $V_x$ ), la pérdida de carga ( $hf$ ) y el tirante de agua ( $d$ ). Se chequea que la velocidad final a la salida del canal colector cumplan los criterios de diseño, y el número de Froude sea una condición de flujo subcrítico.

$$Q_x = \frac{Q}{B'} \times \quad V_x = \frac{V_f - V_0}{B'} \times + V_0 \quad hf = \int \Delta_x = \frac{V_x^2 n^2}{R^{4/3}} \times$$

## Caso práctico N° 4: Determinación del coeficiente de descarga

Se asume un valor inicial del coeficiente de descarga “ $C$ ” para obtener la carga de diseño “ $H_0$ ”, la velocidad de aproximación “ $V_a$ ” y la carga de posición del agua “ $H_d$ ”. Se corrige el coeficiente para el talud del paramento aguas arriba seleccionado usando el método en el sistema inglés del *Design of Small Dams* del Bureau of Reclamation (1987)[10], o en el sistema métrico presentado por diversos autores como Arreguín y Alcocer (2011) [11] o Sotelo (1994) [12] y luego se repite el mismo procedimiento hasta que ambos coeficientes coincidan.

$$H_0 = \left( \frac{Q}{C B} \right)^{2/3} \quad V_a = \frac{Q}{B (P + H_d)} \quad h_a = \frac{V_a^2}{2g} \quad H_0 = H_d + h_a$$

Siendo “ $P$ ” la altura del dique y “ $B$ ” el ancho del cauce.

## Caso práctico N° 5: Determinación del perfil de la cresta

El criterio del USBR tomando el origen de coordenadas en la cresta superior del vertedor dibuja la sección del cimacio aguas arriba como una curva compuesta o como una curva simple y tangente usando las variables  $X_c$ ,  $Y_c$ ,  $R_1$  y  $R_2$  como elementos de diseño. El cuadrante aguas abajo de la cresta la representa una curva circular compuesta utilizando la ecuación que define su



forma:

$$\frac{y}{H_0} = -K \left( \frac{x}{H_0} \right)^n$$

Los valores “y” y “x” son las coordenadas en ese cuadrante de la curva, “H<sub>0</sub>” es la energía total disponible, “K” y “n” son los coeficientes que dependen de la relación h<sub>a</sub>/H<sub>0</sub> y el talud del paramento seleccionado. El punto de tangencia se determina con el valor del segmento “a”, la pendiente de la línea recta “m” y ángulo de inclinación “θ” de la recta con la horizontal seleccionada:

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \operatorname{tg} \theta \quad a = \frac{1}{\operatorname{tg} \theta} \quad x_t = \frac{H_0}{(K a n)^{1/(n-1)}}$$

### Caso práctico N° 6: Estructuras de salida

Esta parte la integra el canal de descarga denominado “rápida” y el trazado del arco al pie del cuerpo o sección vertedora. Con el talud y el ángulo “θ” seleccionados y partiendo de las coordenadas del punto de tangencia (x<sub>t</sub>; y<sub>t</sub>) y la pendiente “m” se calcula la ecuación de la recta para esas condiciones: y = mx + b.

Para el trazado del arco al pie del cuerpo o sección vertedora, se precisa ciertas metodologías de cálculo muy usuales fundamentada en autores entre los que se destacan a Mejía (2002)[13], Arreguín y Alcocer (2011)[11] y Sotelo (1994)[12].

### Caso práctico N° 7: Estructuras disipadora

Con el número de Froude “F<sub>1</sub>”, partiendo de la ubicación de la condición del tipo de resalto y de las recomendaciones prácticas del U.S. Bureau of Reclamation, se valora que tipo de estructuras disipadoras se va a seleccionar entre el pozo amortiguador y los cuencos disipadores SAF y el USBR IV. Se referencias 5 procedimiento para el tirante conjugado “y<sub>1</sub>”, entre los que destaca la ecuación de la energía entre la sección próxima a la cresta del cimacio y al pie del vertedor, y con una pérdida de carga equivalente al pie del cimacio según Arreguín y Alcocer (2011)[11] igual a “hf<sub>(0-1)</sub> = 0.15 (V<sub>1</sub><sup>2</sup>/2g)” se obtiene “y<sub>1</sub>” por tanteo:

$$(Z_0 - Z_1) + P + H_d + \frac{V_0^2}{2g} = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} + hf_{(0-1)}$$



Según los estudios del U. S. Bureau of Reclamation, citados por Ven Te Chow (2004)[3] y Sotelo (2002)[2] calculan el tirante conjugado “ $y_2$ ”:

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2}(\sqrt{1+8F_1^2}-1) \quad F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g y_1}}$$

Para la longitud del resalto se precisa la metodología de Ven Te Chow (2004) y para la protección a la salida de la estructura la de Kwiers (1966)[14].

### Caso práctico N° 8: Estructura desarenadora

Para la zona de sedimentación, la velocidad de sedimentación “ $V_s$ ” y la velocidad de escurrimiento “ $V_d$ ” según el diámetro de las partículas de diseño a desalojar seguirán el procedimiento descrito por Krochin (1986)[1], el manual CEPIS (2005) [15] y Acevedo (2016)[5]. Se determina el área “ $A$ ” por donde va a fluir el caudal de diseño en la zona de sedimentación, en forma longitudinal podría trabajarse con las relaciones usuales  $L/H$  y en forma transversal  $B/H$ . En forma longitudinal el área “ $A$ ” la relacionamos con “ $V_s$ ” y en forma transversal con “ $V_d$ ”:

$$V_s = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{H L} \quad V_d = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{H B}$$

Ciertos autores consideran que para garantizar el adecuado funcionamiento del desarenador se debe cumplir la relación  $t_d \geq t_s$ , siendo:

$$t_s = \frac{H}{V_s} \quad t_d = \frac{L}{V_d}$$

La longitud “ $L$ ” de la zona de sedimentación será determinada aplicando un coeficiente de seguridad “ $K$ ” para compensar las turbulencias causadas

$$L = K \frac{V_d H}{V_s}$$

La zona de entrada y salida del desarenador seguirán el procedimiento y los criterios considerados en el libro.



## Caso práctico N° 9: Diseño de estabilidad estructural

El análisis de todas las solicitaciones o fuerzas actantes en la estructura, se traduce en la determinación de un factor de seguridad confiable para el vuelco “ $f_v$ ”, y el deslizamiento “ $f_d$ ”, además de conocer los esfuerzos o tensiones permisibles “ $\sigma_z$ ”. La línea de acción de las fuerzas actuantes debe pasar por el tercio central de la base, o sea que la excentricidad “ $e$ ” cumpla estar entre  $1/3B < e < 2/3B$ .

$$f_v = \frac{\sum M_R}{\sum M_V} \geq 1.5 \quad f_d = \frac{\mu \sum FV}{\sum FH} \geq 2 \quad \sigma_z = \frac{\sum FV}{A} \pm \frac{\sum My}{I} \quad e = \frac{\sum M_R - \sum M_V}{\sum FV}$$

“ $M_R$ ” y “ $M_V$ ” son los momentos de las fuerzas restauradoras y desestabilizadoras,  $FV$  y  $FH$  las cargas actuantes en sentido vertical y horizontal, siendo “ $I$ ” el momento polar de inercia y “ $A$ ” el área. Las obras de estudio por su relativo tamaño y la poca altura de presa, las cargas que pueden llegar a afectar su estabilidad estructural se consideran el empuje hidrostático o carga de agua (Empuje horizontal “ $E_h$ ” y la componente vertical “ $E_v$ ”), el peso propio de la estructura “ $W$ ” y la fuerza de subpresión “ $P_u$ ”, partiendo del método de E. W. Lane sobre la rotura hidráulica y la subpresión “ $S_x$ ” en una distancia “ $x$ ”.

## Características de diseño para los casos prácticos

Se asumen ciertas características de diseño para la solución de los ejercicios o casos prácticos:

- Caudal de avenida de  $10 \text{ m}^3/\text{seg}$  y un caudal de diseño de  $0.85 \text{ m}^3/\text{seg}$ .
- El lecho del cauce lo va a constituir rocas, cantos rodados con arena de 4 m de ancho y a una altitud de 700 m.s.n.m.
- El ángulo de inclinación de las rejillas asumido es de 20 %, con barrotes confeccionados con pletinas de la denominación comercial 50 x 12 separados cada 4 cm con un fsu entre 4000 a  $5600 \text{ kgf/cm}^2$ .
- Se propone un arrastre de rocas por el régimen torrencial de diámetros iguales a 0.50 m con un peso específico aproximado a  $2600 \text{ kg/m}^3$ .
- Se asume el criterio del USBR, con una condición de diseño del talud del paramento aguas arriba igual 3V:2H y un ángulo de inclinación “ $\theta$ ” igual a  $46^\circ$  para el canal de descarga denominado “rápida”.
- Las partículas a remover en el desarenador, corresponden a un diámetro mínimo de 0.30 mm, asumiendo una densidad relativa de 2.65 y una temperatura ambiente igual a  $20^\circ\text{C}$ .
- Se estima el peso específico del material del sedimento igual a  $1.63 \text{ ton/m}^3$  con un ángulo de



resistencia al corte del sedimento igual a 26°.

## Resultados y discusión

Tomando en cuenta las características de diseño se presentan los resultados de los ejercicios prácticos que componen la Ingeniería de Detalle:

### Caso práctico N° 1: Diseño de rejas o rejillas

La tabla N° 2 representa las dimensiones de la rejilla según el enfoque descrito y las metodologías de los autores seleccionados:

**Tabla N° 2:** Calculo de las dimensiones de las rejillas.

Descripción	Dimensiones		
	Longitud "L" (m)		Ancho "B" (m)
	Calculada	Adoptada	
<b>Según ecuación de orificios:</b>			
Mostkow (1957)	0.34		4
Krochin (1986)	0.64, 0.74, 0.88		3.76, 3.02, 2.33
Frank (1956)	0.57		4
<b>Según ecuación de vertedores:</b>			
Simmler (1978) y GTZ (1989)	0.64	0.77	3.30

Cada longitud de reja se ha obtenido utilizando barrotes de geometría rectangular dispuestas longitudinalmente a la corriente, y haciendo uso de los coeficientes de descarga propuestos por cada investigador.

### Caso práctico N° 2: Diseño estructural de rejas o rejillas

Las pletinas con dimensiones de "L" de 077 m y "B" de 3.30 m considerando rocas de diámetros iguales a 0.50 m con un peso específico aproximado a 2600 kg/m<sup>3</sup> arroja un esfuerzo de 3535.84 kgf/cm<sup>2</sup>, al compararlos con las rejillas confeccionadas con pletinas 50 mm x 12 mm con una resistencia a la tracción mínima (fsu) entre 400 a 5600 kgf/cm<sup>2</sup>, cumple con el esfuerzo y con la condición impuesta para el modulo resistente de la sección.

$$3535.84 \text{ kgf/cm}^2 < (4000 \text{ a } 5600 \text{ kgf/cm}^2)$$



### Caso práctico N° 3: Diseño del canal colector o galería colector

El análisis hidráulico de los segmentos desde el inicio al final del canal colector o galería colector según la metodología de Zamarin (1961) citado por Krochin (1986) [1] se especifican en la tabla N° 3.

**Tabla N° 3:** Análisis hidráulico del canal colector o galería.

X (m)	Q (m <sup>3</sup> /seg)	V (m/seg)	d (m)	A (m)	P (m)	R (m)	H <sub>f</sub> (m)	E (m)	H (m)
0.00		1.00							
0.55	0.14	1.17	0.16	0.12	1.08	0.11	0.017	0.25	0.48
1.10	0.28	1.33	0.28	0.21	1.32	0.16	0.027	0.40	0.65
1.65	0.43	1.50	0.37	0.28	1.51	0.19	0.042	0.53	0.80
2.20	0.57	1.67	0.45	0.34	1.65	0.21	0.062	0.65	0.92
2.75	0.71	1.83	0.51	0.39	1.78	0.22	0.087	0.77	1.02
3.30	0.85	2.00	0.56	0.43	1.88	0.23	0.117	0.88	1.11

El canal colector cumple con todos los criterios de diseño exigidos, como también está dentro de los parámetros de una condición de flujo subcrítico para el número de Froude.

### Caso práctico N° 4: Determinación del coeficiente de descarga

El procedimiento para determinar el coeficiente de descarga "C" se presenta en la tabla N° 4.

**Tabla N° 4:** Determinación del coeficiente de descarga.

Q (m <sup>3</sup> /seg)	C	H <sub>0</sub> (m)	V <sub>a</sub> (m)	h <sub>a</sub> (m)	H <sub>d</sub> (m)	C <sub>0</sub>	C <sub>INCLINADA</sub> /C <sub>VERTICAL</sub>	C
10	2.18	1.10	1.54	0.12	0.98	2.098	1.018	2.136
10	2.136	1.11	1.53	0.12	0.99	2.097	1.017	2.133
10	2.133	1.11	1.53	0.12	0.99	2.097	1.017	2.133

El coeficiente de descarga “C” varía entre los 1.711 a 2.18, siendo común ubicar el valor de 1.84 de referencia en el sistema métrico, aunque en este caso, el valor inicial tomado fue el máximo de la curva del coeficiente hasta que coincidió en el valor de 2.133.

**Caso práctico N° 5: Determinación del perfil de la cresta**

**Caso práctico N° 6: Estructuras de salida**

Los casos prácticos N° 5 y N° 6 nos reflejan las condiciones de diseño del perfil de cresta y la estructura de salida, parte integrada por la rápida y la cubeta de lanzamiento. Desarrollando, nos queda la ecuación que define el perfil de cresta del cimacio:

$$y = - 0.49 x^{1.76}$$

De igual forma, resulta la ecuación para la rápida:

$$y = 1.04x - 0.57$$

Como resultado se obtiene la configuración del perfil del dique, las coordenadas y sus dimensiones:

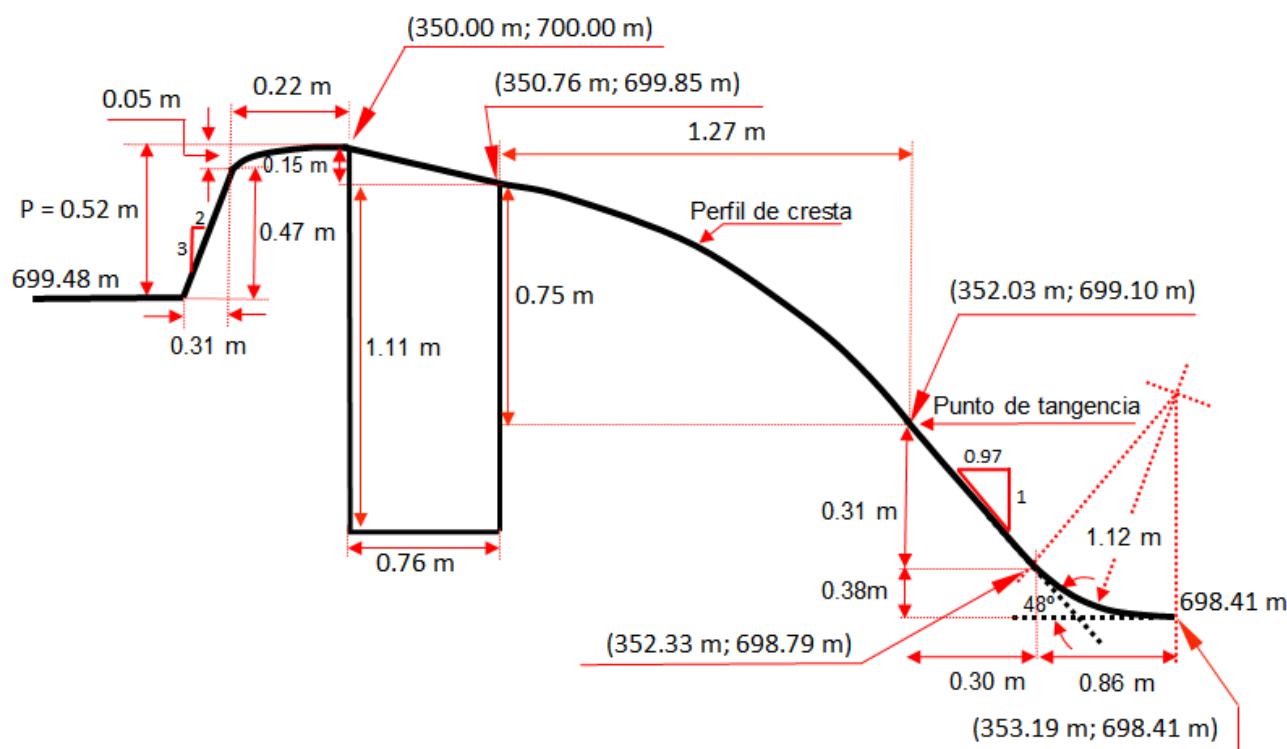


Figura N° 1: Dimensionamiento de la configuración del perfil del dique vertedor.

### Caso práctico N° 7: Estructuras disipadora

El tirante conjugado “ $y_1$ ” de 0.399 m al pie del vertedor arroja un número de Froude “ $F_1$ ” de 3.17, este valor lo ubica en un tipo de resalto oscilante (2.5 a 4.5). Para esta condición, tomando en cuenta las recomendaciones de Ven Te Chow (2004)[3] de los datos experimentales del U. S. Bureau of Reclamation la estructura empleada es el cuenco disipador USBR IV, ya que ha demostrado ser relativamente eficaz para disipar la mayor parte de la energía de flujo.

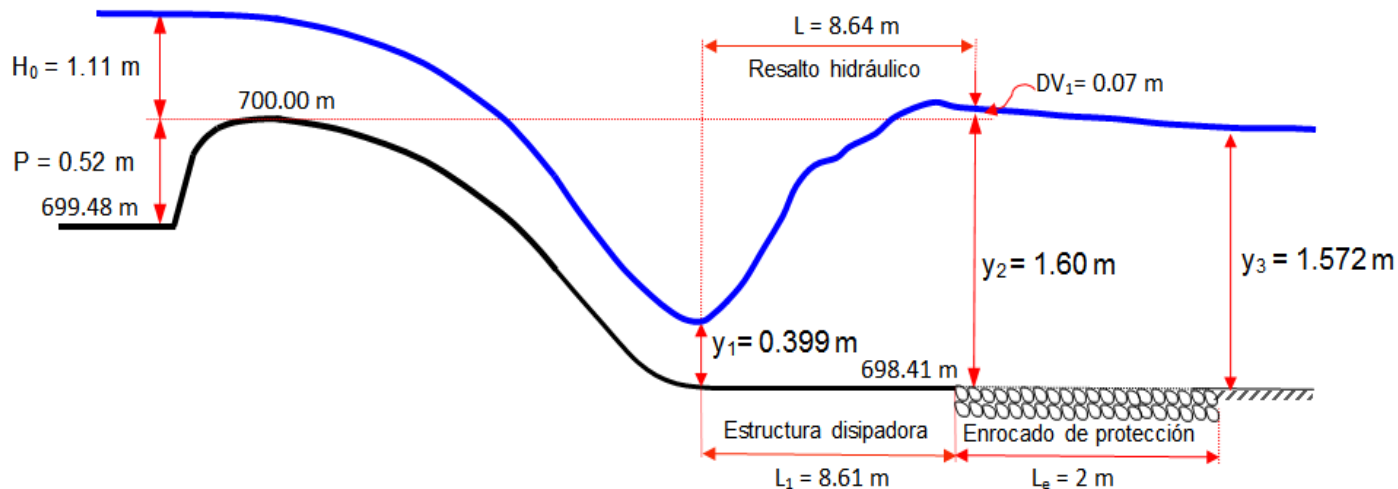


Figura N° 2: Sección completa de diseño.

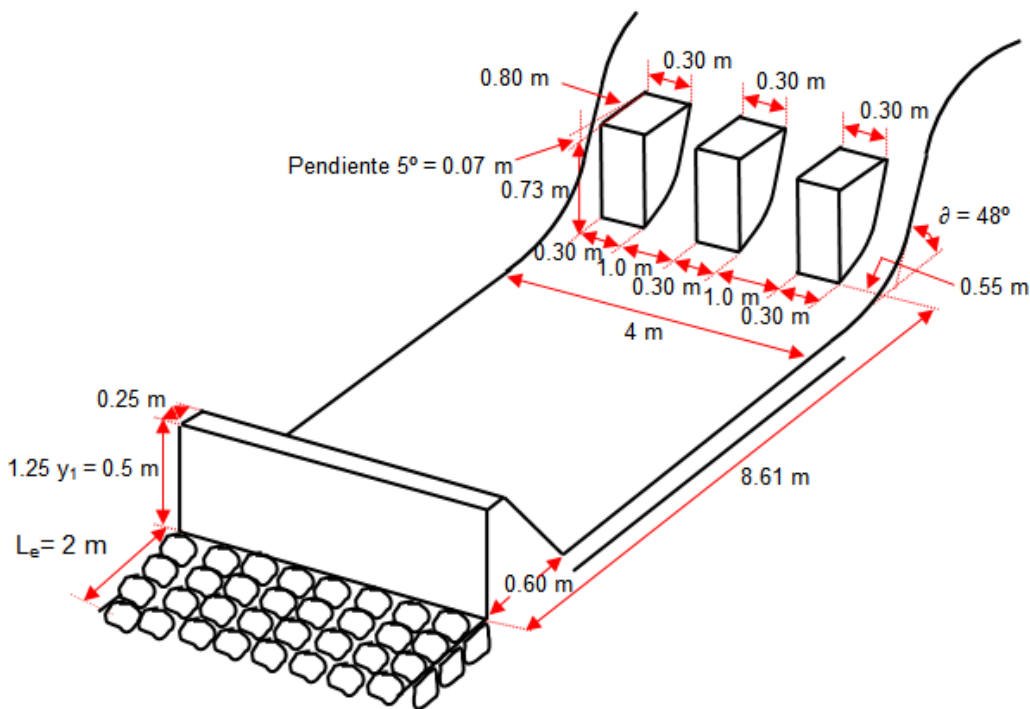


Figura N° 3: Diseño de la sección del cuenco disipador USBR IV.

### Caso práctico N° 8: Estructura desarenadora

Se presenta un resumen de las dimensiones y criterios de diseño de la zona de sedimentación:

Tabla N° 5: Diseño según las secciones transversales para  $V_s = 6.8$  cm/seg.

Sección Transversal	Dimensiones (m)		Velocidades (m/seg)		Tiempo (seg)		Largo (m)
	Base "B"	Altura "H"	$V_s$	$V_d$	$t_s$	$t_d$	
Rectangular	2.66	1.33	0.068	0.24	23.06	29.33	7.04

Para la sección vertedora a la salida del desarenador se estima el diseño:

Tabla N° 6: Diseño de la sección vertedora a la salida del desarenador.

Geometría	Ancho (m) "b"	Coefficiente de descarga "C"	Altura (m) "Hv"	Velocidad (m/seg) "V"
Curva circular	5	1.84	0.20	0.85

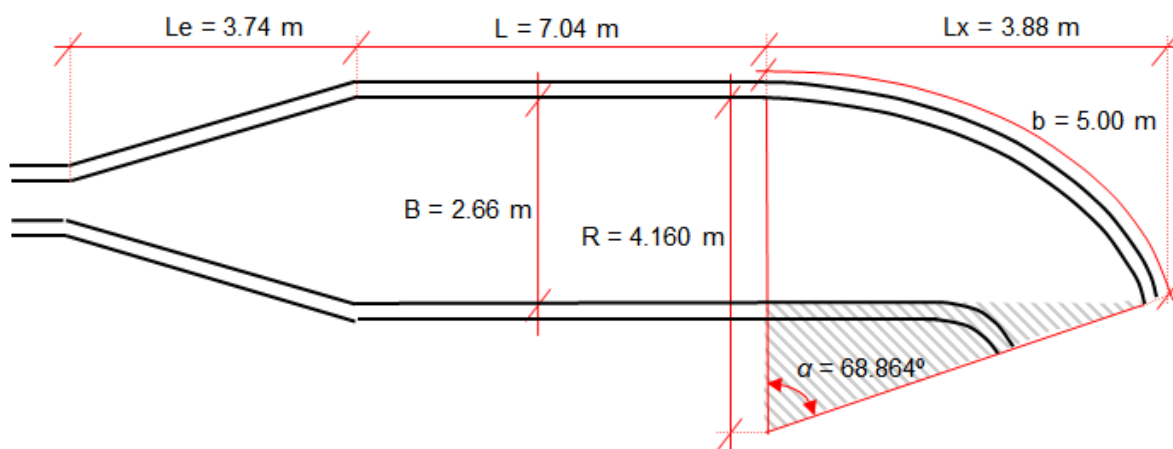


Figura N° 4: Diseño de la sección vertedora a la salida del desarenador.

### Caso práctico N° 9: Diseño de estabilidad estructural

Entre las diferentes fuerzas o solicitaciones que pueden llegar a afectar la estabilidad estructural de la obra de captación con rejilla de fondo, como se observa en la figura N° 5, tendremos las siguientes:

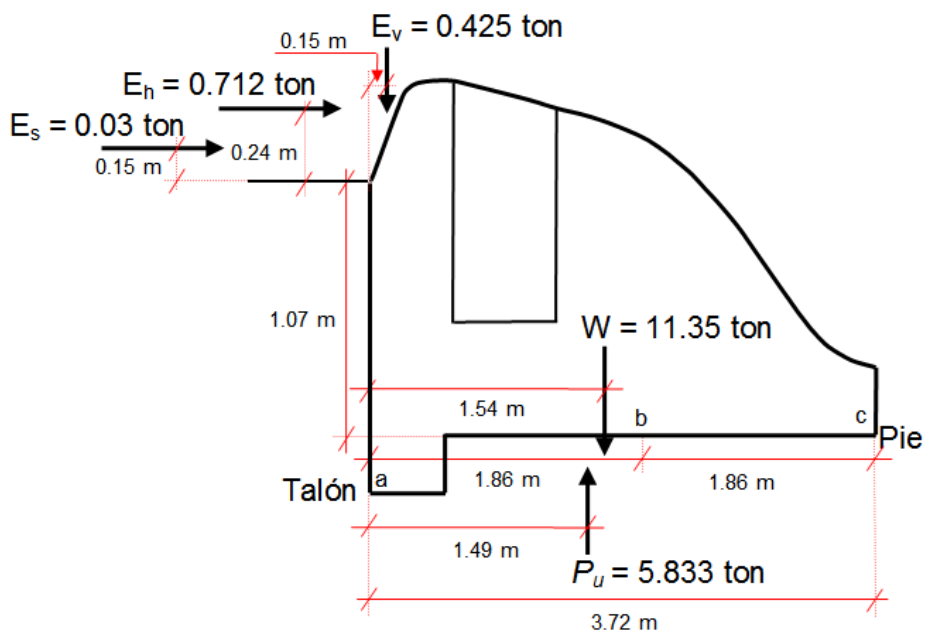


Figura N° 5: Fuerzas o cargas actuantes en el dique.



Considerando las fuerzas actuantes en el dique, el análisis estructural prevé las siguientes condiciones:

**Tabla N° 7:** Análisis estructural de la obra de captación con rejilla de fondo.

Vuelco $F_v \geq 1.5$	Excentricidad		Deslizamiento $f_v$	Esfuerzos $\sigma_z$
	E	1/3 B y 2/3 B		
$1.88 \geq 1.5$	2.07 m	$1.24 < 2.07 < 2.48$	$3.20 \geq 2$	$\sigma_{z(+)} = 2.50 \text{ ton/m}^2$ $\sigma_{z(-)} = 0.70 \text{ ton/m}^2$

## Conclusiones y recomendaciones

El libro “Obra de captación con rejilla de fondo. Diseño hidráulico y estructural” facilita una orientación al diseño de las obras hidráulicas de captación con reja o rejilla de fondo, conocidas también como bocatomas de fondo, o con el nombre genérico de vertedor tirolés

Esta edición representa una guía didáctica que facilita el conocimiento a estudiantes en su formación académica universitaria, a profesionales en el diseño de este tipo de obras hidráulicas y a todas a aquellas personas que de alguna manera buscan plantear la forma de captar el agua de escorrentía en ríos de montañas. El texto es un manual práctico de aprendizaje para estudiantes, técnicos y agricultores de las zonas de montañas.

## Referencias

1. Krochin, S. (1986). Diseño Hidráulico (Tercera ed.). Quito, Ecuador: Colección Escuela Politécnica Nacional. pp. 52-55, 62-69, 76-80, 92-106 y 125-135.
2. Sotelo, G. (2002). Hidráulica de canales. México: Editorial Limusa. pp. 285, 331-333 y 641-657 y 665.
3. Ven Te, C. (2004). Hidráulica de canales abiertos. Serie McGraw-Hill INTERAMERICA S.A. Editorial S.A. Santa Fe, Colombia. pp. 320-331, 352-380, 385-413.
4. Tirolés, T. (2010). Criterios de diseño y construcción de obras de captación para riego (Segunda ed.). Cochabamba, Bolivia: Editorial Selva Roca. pp. 47-58 y 69-71.
5. Acevedo, F. (2016). Capítulo VI. Presa derivadora y obra de toma. 96,98 y 99 p. Recuperado de la Biblioteca Digital ULA.. [http://bdigital.ula.ve/storage/pdfthesis/postgrado/tde\\_arquivos/56/TDE-2012-11-08T03:46:40Z-2508/Publico/racedofrancisco\\_parte2.pdf](http://bdigital.ula.ve/storage/pdfthesis/postgrado/tde_arquivos/56/TDE-2012-11-08T03:46:40Z-2508/Publico/racedofrancisco_parte2.pdf).



6. Motskow, M., (1957). Sur le calcul des grilles de prise d'eau. La Houille Blanche, vol. 4, 569-576 p.
7. Frank, J. (1956). "Hydraulische Untersuchungen für das TirolerWehr", Der Bauingenieur, 31(3), 96-101 p.
8. Simmler (1978). Technische Universität Graz. Institute für Wasserwirtschaft und Konstruktiven Wasserbau.
9. GTZ,H.; y Lauterjung/Gangolf, S. (1989). Planning of Water and Hydropower Intake Structures. Community Development Library. Germany, 41-49 p. <https://www.irwash.org/sites/default/files/Lauterjung-1989-Planning.pdf>
10. United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation (1987). Design of Small Dams. A water resources technical publication. Third Edition. For sale by the U.S. Government Printing Office Superintendent of Documents, Washington DC. 315-337 p. <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/mands-pdfs/SmallDams.pdf>
11. Arreguín, F., y Alcocer, V. (2011). Diseño hidráulico de vertedores. Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.. pp 6-53 y 190-204.
12. Sotelo, G. (1994). Diseño hidráulico de estructuras. Apuntes de hidráulica II. Capítulo 8. Facultad de ingeniería, UNAM, México. pp. 513-519, 526-531, 552-556 y 641. Recuperado en <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/13287/1/DISE%C3%91O%20HIDRAULICO%20DE%20ESTRUCTURAS.pdf>
13. Mejía, F. (2002). Consideraciones para la realización de obras hidráulicas en laderas andinas (Escuela de Ingeniería de Antioquia). 1-7 p. Recuperado en <http://www.eia.edu.co/sitios/webalumnos/laderas%20andinas/index.htm>
14. Kwiers, H. (1966). Tomo V: Presas de escolleras, Presas de Gravedad y Obras de Derivación. Edición Instituto Agrario Nacional. Caracas, Venezuela. pp. 11-50 y 356-371.
15. CEPIS (2005). Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores. "Programa Regional OPS/CEPIS/05.158 UNATSABAR-BVSDE. Segunda edición. Lima; 3-11 p. Recuperado en <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>.