



Universidad de  
**los Andes**



**FACULTAD  
DE INGENIERÍA  
Y CIENCIAS  
APLICADAS**

---

# Caso 1: Central de bombeo

## Proyecto de Infraestructura Hidráulica

---

**Profesor:**

Oscar Loyola

**Alumnos:**

Bernardo Caprile Canala-Echevarría

Pedro Valenzuela

Francisco Zegers

22 de octubre de 2025

## 1. Resumen ejecutivo

## Índice

|   |          |
|---|----------|
| <b>1. Resumen ejecutivo</b>               | <b>1</b> |
| <b>2. Introducción</b>                    | <b>3</b> |
| 2.1. Objetivo . . . . .                   | 3        |
| <b>3. Marco Teórico</b>                   | <b>4</b> |
| <b>4. Desarrollo</b>                      | <b>5</b> |
| 4.1. Coeficiente de Manning . . . . .     | 5        |
| <b>5. Diseño de bocatoma</b>              | <b>5</b> |
| <b>6. Resultados</b>                      | <b>6</b> |
| 6.1. Dimensiones de la bocatoma . . . . . | 6        |

## 2. Introducción

### 2.1. Objetivo

### 3. Marco Teórico

## 4. Desarrollo

### 4.1. Coeficiente de Manning

Para poder obtener el coeficiente de Manning, se utilizaron los coeficientes dados en el libro Roughness Characteristics of Natural Channels-Barnes. En el cual, se encuentran fotografías de distintos tipos de cauces, y se les asigna un coeficiente de rugosidad. A continuación, se muestran las ubicaciones que más se asemejan al cauce del río Pilmaiquén junto con su respectivo coeficiente de Manning.

| Ubicación                                       | Coeficiente de Manning |
|---|------------------------|
| <i>Clark Fork at St. Regis, Mont</i>            | 0.028                  |
| <i>Columbia River at Vernita, Wash</i>          | 0.025                  |
| <i>Coeur d'Alene River near Prichard, Idaho</i> | 0.032                  |

## 5. Diseño de bocatoma

El diseño de la obra de toma es una parte importante dentro del proyecto, ya que se encarga de permitir el ingreso controlado del caudal desde el río hacia el túnel de conducción. La bocatoma capta  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  mediante una compuerta lateral.

En términos generales, la obra de toma se compone de tres elementos principales: la reja frontal, que cumple una función de protección; la compuerta de control, que regula el ingreso de agua y permite el cierre en caso de mantenimiento o emergencias; y el túnel de conducción, que transporta el caudal hacia la conducción principal.

La toma se dispone lateralmente al cauce principal, lo que permite reducir la velocidad de aproximación y minimizar el arrastre de sedimentos. La disposición lateral facilita además el mantenimiento y limpieza, ya que el flujo que ingresa a la toma es más controlado que en una entrada frontal.

En la base de la estructura se incorpora un pequeño canal de aproximación que suaviza la transición entre el flujo libre del río y el flujo dentro del túnel, este sector fue diseñado de modo que el flujo mantenga un régimen subcrítico, lo que reduce las pérdidas por turbulencia y evita cavitación.

Anterior a la compuerta se ubica la reja de protección, la cual fue diseñada considerando bajas velocidades de acercamiento para evitar el arrastre de sólidos y minimizar las pérdidas de carga. El ángulo de inclinación de la reja con respecto al flujo es un factor importante, ya que facilita la autolimpieza y reduce el impacto directo del flujo, lo que prolonga la vida útil y disminuye el riesgo de obstrucción. En este caso, la inclinación elegida permite que los residuos se desplacen hacia la superficie del río, donde pueden ser retirados manual o mecánicamente.

| Parámetro                       | Valor                |
|---------------------------------|----------------------|
| Caudal de diseño                | 10 m <sup>3</sup> /s |
| Ancho de la reja                | 4.0 m                |
| Velocidad en el túnel           | 1.00 m/s             |
| Porosidad de la reja            | 0.6                  |
| Inclinación de la reja vertical | 35 °                 |

Cuadro 1: Dimensiones y características principales de la bocatoma

| Parámetro                       | Valor  |
|---------------------------------|--------|
| Ancho de la reja                | 4.0 m  |
| Altura útil de la reja          | 4.2 m  |
| Espacio entre barras de la reja | 0.1 m  |
| Espesor de las barras           | 0.02 m |
| Ángulo de inclinación           | 35 °   |
| Pérdida de carga en la reja     | 0.15 m |

Cuadro 2: Dimensiones finales de la bocatoma

## 6. Resultados

### 6.1. Dimensiones de la bocatoma

El área efectiva necesaria para el paso del caudal se determina considerando la velocidad de acercamiento y la porosidad de la reja. De acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Q = V_a \cdot B \cdot H \cdot \phi \quad (1)$$

Reemplazando valores y despejando la altura:

$$H = \frac{Q}{V_a \cdot B \cdot \phi} = \frac{10}{1,00 \cdot 4,0 \cdot 0,6} = 4,17m \quad (2)$$

Por lo tanto, la altura útil de la reja se estima en 4,2 metros, lo que representa la superficie necesaria para permitir el paso del caudal de diseño sin exceder la velocidad de entrada adoptada.

Esta altura permite un flujo controlado y garantiza que el nivel del agua en la cámara de captación se mantenga dentro de los márgenes operativos previstos.

El área frontal total de la reja es de 16 m<sup>2</sup>, con un área libre efectiva de 9,6 m<sup>2</sup> considerando la porosidad del 60 %. El material propuesto es acero galvanizado de alta resistencia a la corrosión, montado sobre un marco de hormigón armado empotrado en la estructura de la toma.

Con todos los datos se procedió a ocupar el Software HEC-RAS, pero primero se ocupó los datos topográficos del terreno, para obtener los cortes transversales del río y de esta forma analizar de mejor manera el terreno. Luego, se subió esta información a HEC-RAS obteniendo lo siguiente:

Antes de empezar a incorporar al software las bocatomas y el muro se corrió con los 2 caudales asociados los periodos de retorno de categoría:

| Periodo de retorno (años) | Caudal (m <sup>3</sup> /s) |
|---------------------------|----------------------------|
| 250                       | 396                        |
| 500                       | 418                        |

Cuadro 3: Caudales asociados a los periodos de retorno

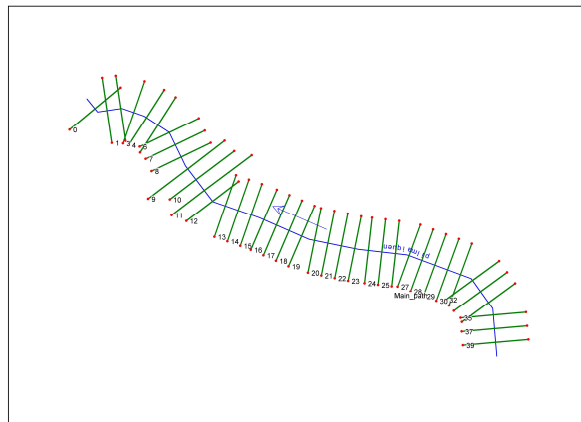


Figura 1: Cortes transversales del río Pilmaiquén obtenidos en HEC-RAS

A continuación, se muestran los perfiles hidráulicos con los caudales anteriormente mostrados:

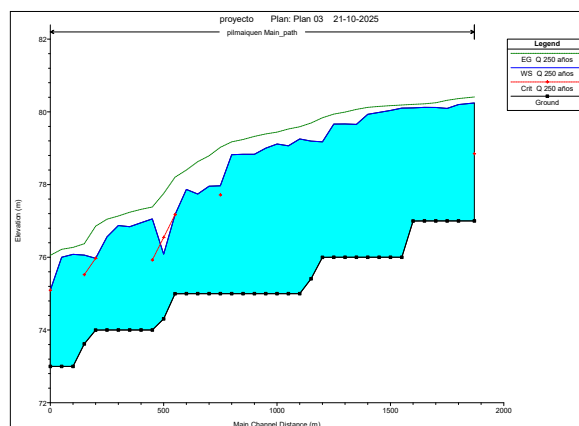


Figura 2: Perfil hidráulico con caudal asociado a periodo de retorno de 250 años



## Proyecto de infraestructura hidráulica

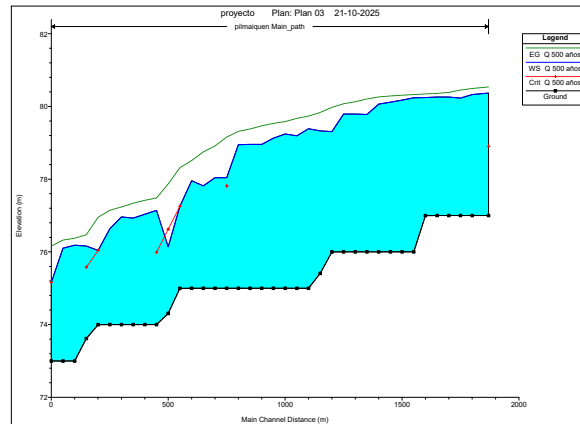


Figura 3: Perfil hidráulico con caudal asociado a periodo de retorno de 500 años

Con los cálculos anteriormente hechos se puede empezar a dimensionar el muro con las compuertas, que se vería de la siguiente manera:

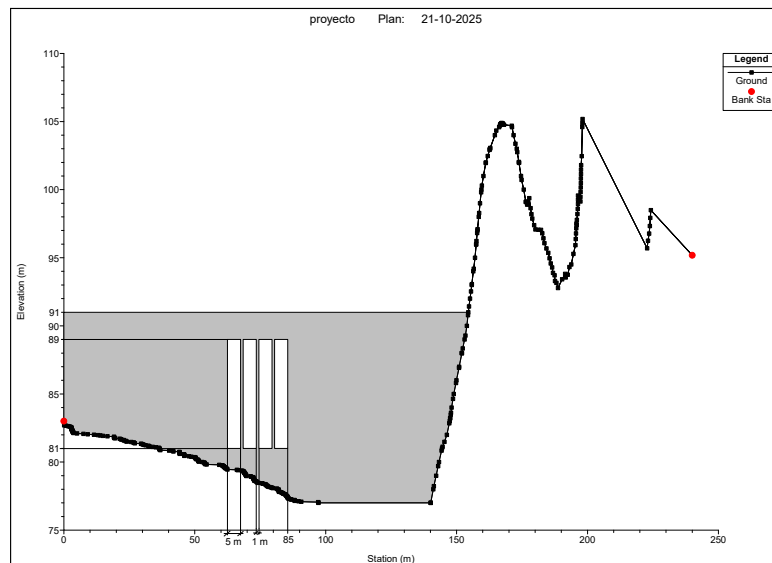


Figura 4: Muro con bocatomas incorporadas al cauce del río Pilmaiquén

En donde sería un muro mixto, desde los 100 metros hacia la ribera derecha del río sería de hormigón, mientras que la otra parte sería un terraplén de tierra compactada.

## Proyecto de infraestructura hidráulica

Luego, ocupando la experiencia de Haber-Maas, se decidió poner el muro al principio de la primera curva, de esta manera la cantidad de sedimento que se va a tener que filtrar y contener será menor. Por lo que, la nueva vista de esta sección del río se verá de la siguiente manera:

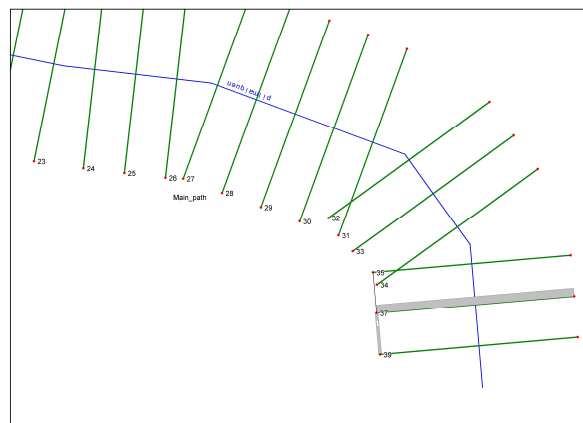


Figura 5: Cortes transversales del río Pilmaiquén con el muro y las bocatomas incorporadas

Una vez lista la geometría, se procedió a correr la simulación con los periodos de retorno anteriormente mencionados. Dando los siguientes resultados:

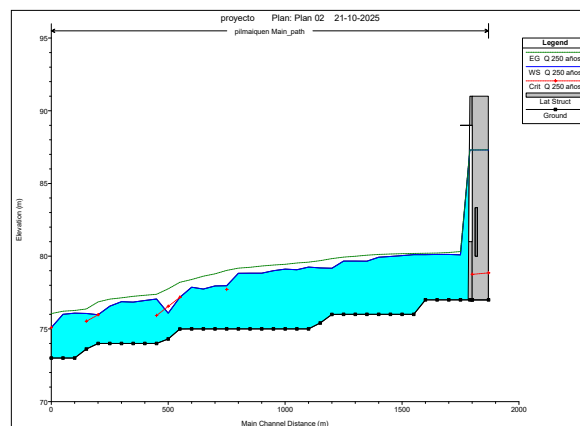


Figura 6: Perfil hidráulico con caudal asociado a periodo de retorno de 250 años con muro y bocatomas

## Proyecto de infraestructura hidráulica

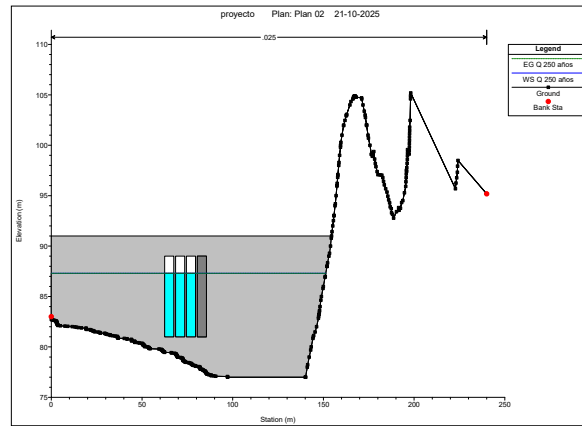


Figura 7: Corte transversal del río Pilmaiquén con muro y bocatomas para periodo de retorno de 250 años

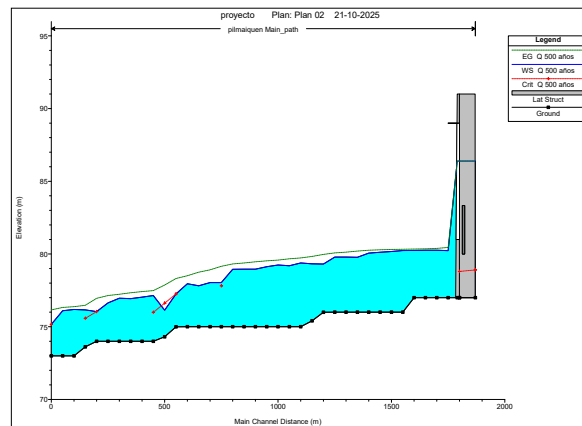


Figura 8: Perfil hidráulico con caudal asociado a periodo de retorno de 500 años con muro y bocatomas

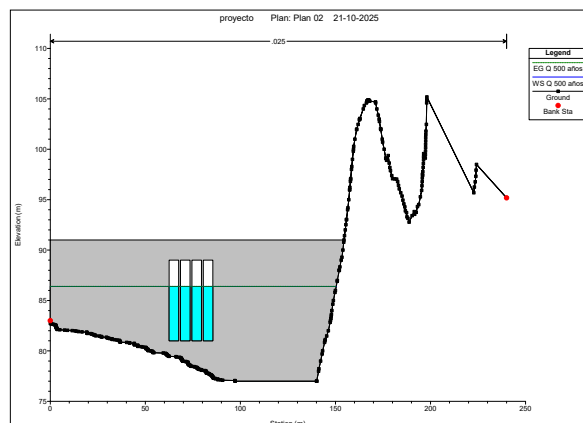


Figura 9: Corte transversal del río Pilmaiquén con muro y bocatomas para periodo de retorno de 500 años