PLAN 8 ENERGIA INFINITA LTDA
www.plan-8.cl
contacto@plan-8.cl



ANEXO 2.06. MODELO HIDRÁULICO OA 06

# PERMISO AMBIENTAL SECTORIAL 156 PARQUE HÍBRIDO EÓLICO, SOLAR Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA LAS QUINTAS (PHLQ)

Preparado por PLAN 8

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| A | | | | | | |
| **Rev.** | **Rev. Int.** | **Fecha** | **Emitido para** | **Emitido por** | **Revisado por** | **Aprobado por** |

| | | |
|---|---|---|
| | Comuna de San Pedro y Comuna de Litueche<br>Región Metropolitana<br>Región de O'Higgins | |
| | PAS156-DOC-02.06 | **Rev. A** |

# Contenidos

**1. Introducción ..... 4**

**2. Descripción del modelo ..... 4**

**3. Parámetros de entrada ..... 4**

3.1. Obra proyectada ..... 4
3.2. Coeficiente de rugosidad ..... 6
3.3. Condiciones de borde e iniciales ..... 6
3.4. Otras consideraciones ..... 8

**4. Resultados ..... 8**

4.1. Condición sin proyecto ..... 9
4.2. Condición con proyecto ..... 11

**5. Referencias ..... 13**

# Figuras

Figura 3-1. Topografía de la zona de estudio de la obra OA 06 y layout del proyecto (color gris). Condición sin proyecto ..... 5
Figura 3-2. Topografía de la zona de estudio de la obra OA 06 y layout del proyecto (color gris). Condición con proyecto ..... 5
Figura 3-3. Ubicación condiciones de borde. Incluye layout del proyecto (color negro) ..... 7
Figura 3-4: Hidrogramas de entrada ..... 8
Figura 4-1: Profundidad máxima con layout del proyecto (color negro). Caudal de diseño (100 años). Condición sin proyecto ..... 9
Figura 4-2. Velocidad máxima con layout del proyecto (color negro). Caudal de diseño (100 años). Condición sin proyecto ..... 9
Figura 4-3. Profundidad máxima con layout del proyecto (color negro). Caudal de verificación (200 años). Condición sin proyecto ..... 10
Figura 4-4. Velocidad máxima con layout del proyecto (color negro). Caudal de verificación (200 años). Condición sin proyecto ..... 10
Figura 4-5. Hidrograma a la salida del modelo. Condición sin proyecto ..... 11
Figura 4-6. Profundidad máxima con layout del proyecto (color gris). Caudal de diseño (100 años). Condición con proyecto ..... 11
Figura 4-7. Velocidad máxima con layout del proyecto (color gris). Caudal de diseño (100 años). Condición con proyecto ..... 12

Figura 4-8. Profundidad máxima con layout del proyecto (color gris). Caudal de verificación (200 años). Condición con proyecto ..... 12
Figura 4-9. Velocidad máxima con layout del proyecto (color gris). Caudal de verificación (200 años). Condición con proyecto ..... 13
Figura 4-10. Hidrograma a la salida del modelo. Condición con proyecto ..... 13

# Tablas

Tabla 2-1. Descripción general de los modelos hidráulicos ..... 4
Tabla 3-1. Condición del cauce para el cálculo del coeficiente de Manning con método Cowan. ..... 6
Tabla 3-2. Condiciones de borde e iniciales. ..... 7

# 1. Introducción

Se construyó el modelo hidráulico de la obra de atravieso denominada OA 06, empleando para ello el software HEC-RAS (HEC, 2022). El objetivo del modelo es representar la condición actual del cauce, sin proyecto, y su condición futura, con proyecto, para los caudales de diseño y verificación de la obra.

Los resultados entregados por el software permitirán conocer las características del flujo y la superficie inundada para cada condición. A continuación, se presentan las principales consideraciones para elaborar los modelos y los resultados más relevantes de cada caso.

# 2. Descripción del modelo

El modelo se construyó con el software HEC-RAS, utilizando para su cálculo un flujo bidimensional. La descripción general de cada modelo se representa a continuación:

Tabla 2-1. Descripción general de los modelos hidráulicos

| Condición | Descripción | Objetivo |
|---|---|---|
| Sin Proyecto | Representa la condición actual del cauce, en una extensión total de 540m a lo largo de su eje, centrado en la obra proyectada y manteniendo 420 m hacia aguas arriba y 120m hacia aguas abajo, desde el inicio y fin de la obra, respectivamente. | Representar la condición actual del cauce |
| Con Proyecto | Representa la condición futura del cauce. Mantiene las características del modelo Sin Proyecto, pero además incorpora la obra proyectada, correspondiente a un badén de mampostería con base de 10 cm, ancho de 6 m y altura de 1.5 m, talud de 2:1 (H:V) y largo de 30 m, acompañado de una transición de mampostería hacia la obra existente con pendiente 2:1 (H:V). | Representar la condición futura del cauce |

# 3. Parámetros de entrada

## 3.1. Obra proyectada

Las modificaciones del terreno y la obra de atravieso se proyectaron mediante las herramientas de geometría y RAS Mapper de HEC-RAS. A continuación, se muestra el terreno de la condición sin y con proyecto.

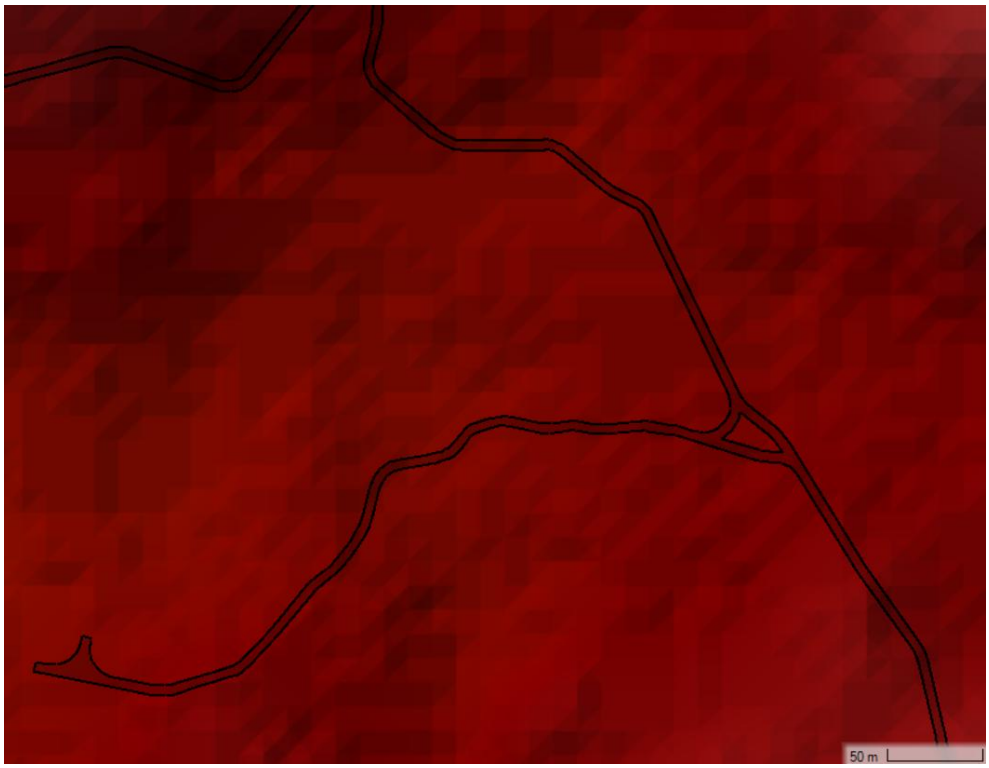



Figura 3-1. Topografía de la zona de estudio de la obra OA 06 y layout del proyecto (color gris). Condición sin proyecto




Figura 3-2. Topografía de la zona de estudio de la obra OA 06 y layout del proyecto (color gris). Condición con proyecto

## 3.2. Coeficiente de rugosidad

Se estimó el coeficiente de rugosidad de cada cauce a partir del método Cowan (MOP, 2020):

$$n = m \cdot (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \quad (1)$$

Donde:

$m$ : Coeficiente asociado a la sinuosidad y frecuencia de meandros
$n_0$ : Coeficiente asociado al material del lecho
$n_1$ : Coeficiente asociado al grado de irregularidad del perímetro mojado
$n_2$ : Coeficiente asociado a la variación de las secciones transversales
$n_3$ : Coeficiente asociado al efecto relativo de las obstrucciones
$n_4$ : Coeficiente asociado a la densidad de vegetación

La Tabla 3-1 muestra la condición del cauce según los criterios del método:

Tabla 3-1. Condición del cauce para el cálculo del coeficiente de Manning con método Cowan.

| Condición del cauce | | Símbolo | Valor |
|---|---|---|---|
| Material del lecho | Tierra | $n_0$ | 0.024 |
| Grado de irregularidad del perímetro mojado | Leve | $n_1$ | 0 |
| Variación de las secciones transversales | Gradual | $n_2$ | 0 |
| Efecto relativo de las obstrucciones | Leve | $n_3$ | 0.015 |
| Densidad de vegetación | Media | $n_4$ | 0.1 |
| Sinuosidad y frecuencia de meandros | Leve | $m$ | 1.15 |
| **Coeficiente de rugosidad** | | $\boldsymbol{n}$ | **0.16** |

En cambio, para la obra proyectada se asignó un valor de rugosidad igual a 0.019, basado en valores tabulados en la literatura (Chow, 1994).

## 3.3. Condiciones de borde e iniciales

Se definieron dos tipos de condiciones de borde (CB): (i) inicial o aguas arriba y (ii) final o aguas abajo. Las CB de aguas arriba incorpora el caudal de la cuenca desde el inicio del área de interés y se incluye la CB aguas abajo para permitir la salida del flujo.

Además, las CB poseen condición de borde de altura normal, definiendo el parámetro de pendiente normal a partir de la topografía del modelo. Todos los caudales están asociados a los periodos de retorno de diseño y verificación de la obra, correspondientes a 100 y 200 años, respectivamente. Un resumen de las CB y su ubicación se presenta en la Tabla 3-2 y Figura 3-3:

Tabla 3-2. Condiciones de borde e iniciales.

| Nombre CB | CB aguas arriba | CB aguas abajo | Caudal de diseño [$m^3/s$] | Caudal de verificación [$m^3/s$] | Pendiente [m/m] |
|---|---|---|---|---|---|
| US (BC Line 1) | ☑ | | 0.263 | 0.339 | 0.01 |
| DS (BC Line 2) | | ☑ | — | — | 0.012 |

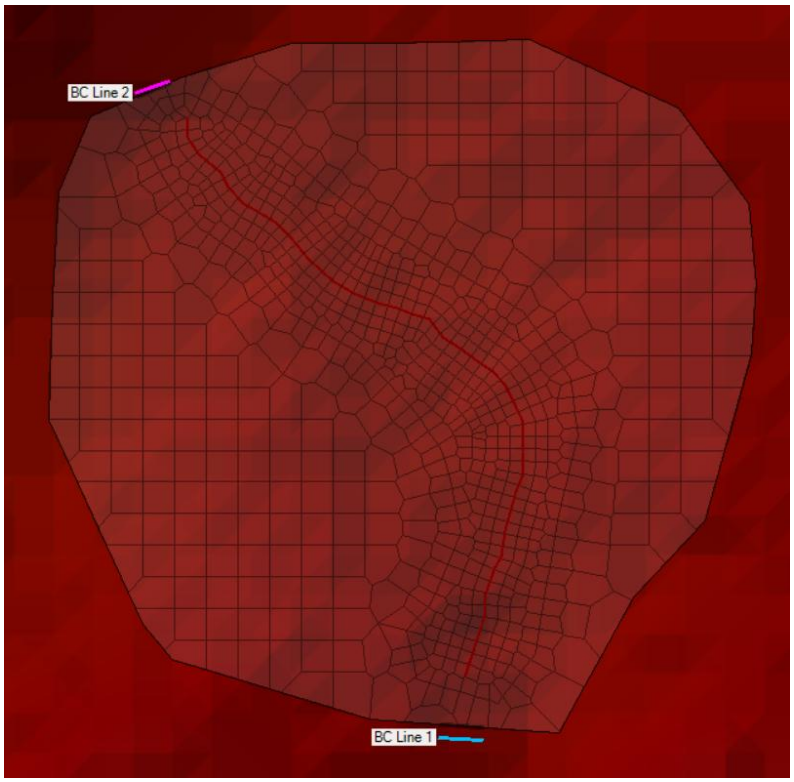



Figura 3-3. Ubicación condiciones de borde. Incluye layout del proyecto (color negro)

Si bien la hidrología entregó un caudal máximo instantáneo, el modelo bidimensional requiere de un hidrograma de crecida. Debido a las inestabilidades numéricas que podría inducir un hidrograma constante a la simulación, se optó por añadir hidrogramas que van de cero al máximo en un periodo de 1 hora y permanecen constantes por, a lo más, un periodo de 4 horas. La forma de los hidrogramas de entrada utilizados para los modelos se muestra a continuación:

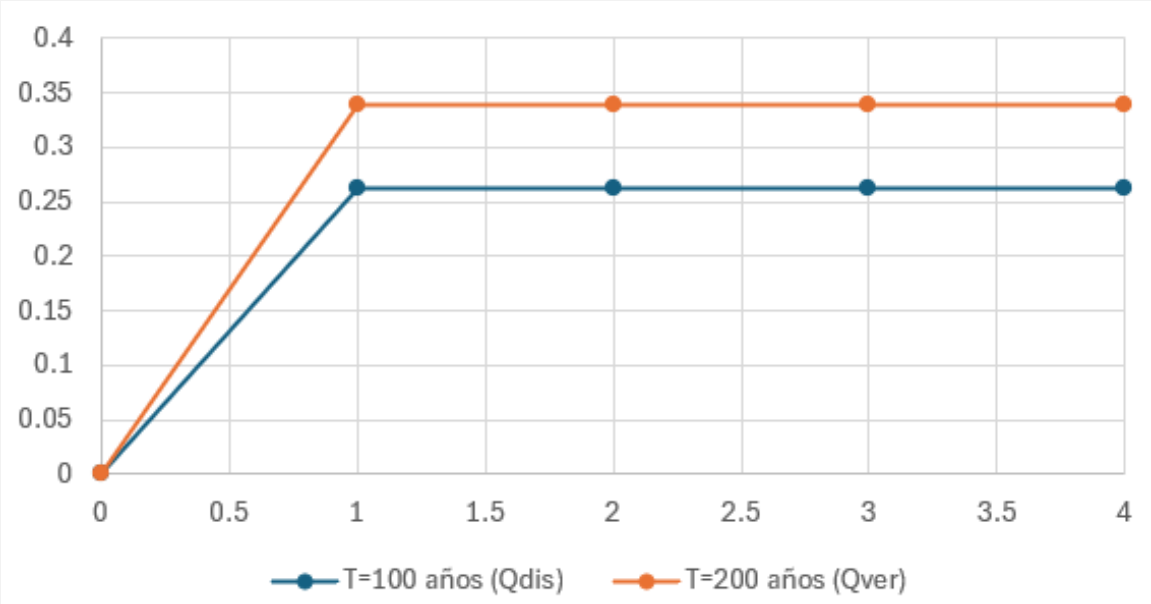



Figura 3-4: Hidrogramas de entrada

## 3.4. Otras consideraciones

En todos los modelos, el flujo bidimensional se calculó empleando las ecuaciones de Saint Venant (opción SWE-ELM en HEC-RAS 6.2). Además, el área de flujo se discretizó en celdas de 1 x 1 m y se utilizó un paso de tiempo de 1 s ajustado en función de los números de Courant del modelo, con un Courant mínimo de 0.15 y un máximo de 0.40. Se consideró un tiempo de modelo de 1 hora 40 minutos para que el flujo entrara en régimen permanente, con caudales de entrada iguales a los de salida, maximizando así su superficie inundada.

# 4. Resultados

A continuación, se presentan los resultados de profundidad y velocidad de inundación de cada modelo.

## 4.1. Condición sin proyecto

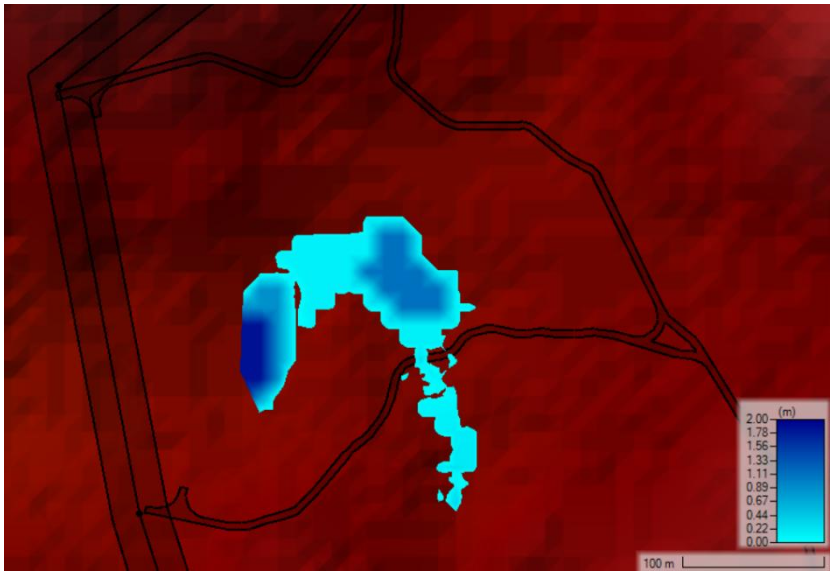



Figura 4-1: Profundidad máxima con layout del proyecto (color negro). Caudal de diseño (100 años). Condición sin proyecto

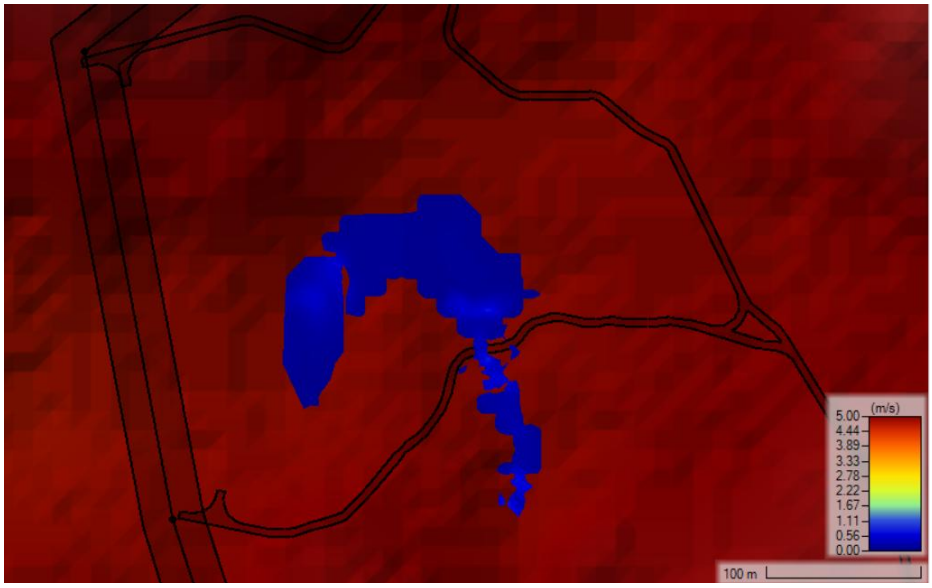



Figura 4-2. Velocidad máxima con layout del proyecto (color negro). Caudal de diseño (100 años). Condición sin proyecto

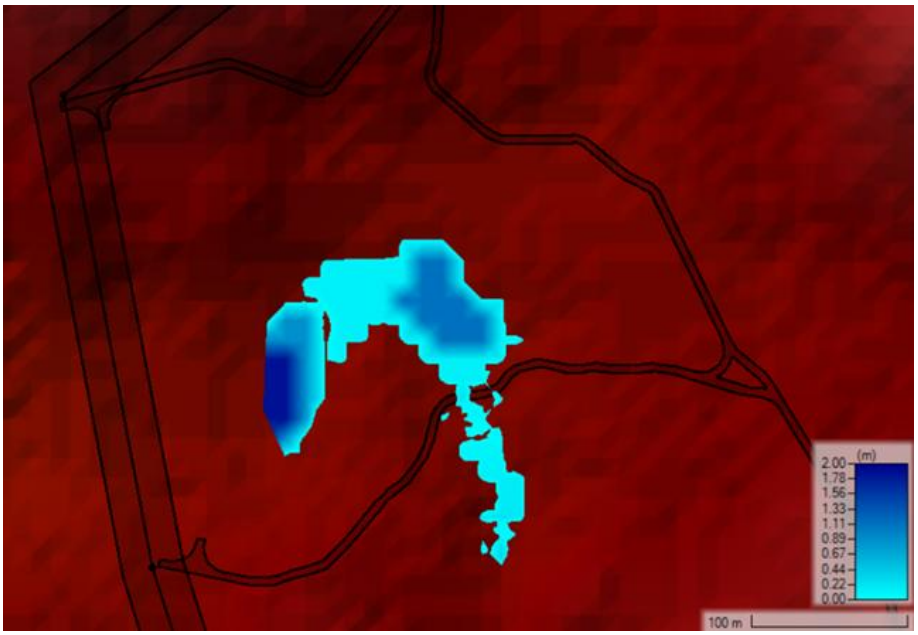



Figura 4-3. Profundidad máxima con layout del proyecto (color negro). Caudal de verificación (200 años). Condición sin proyecto

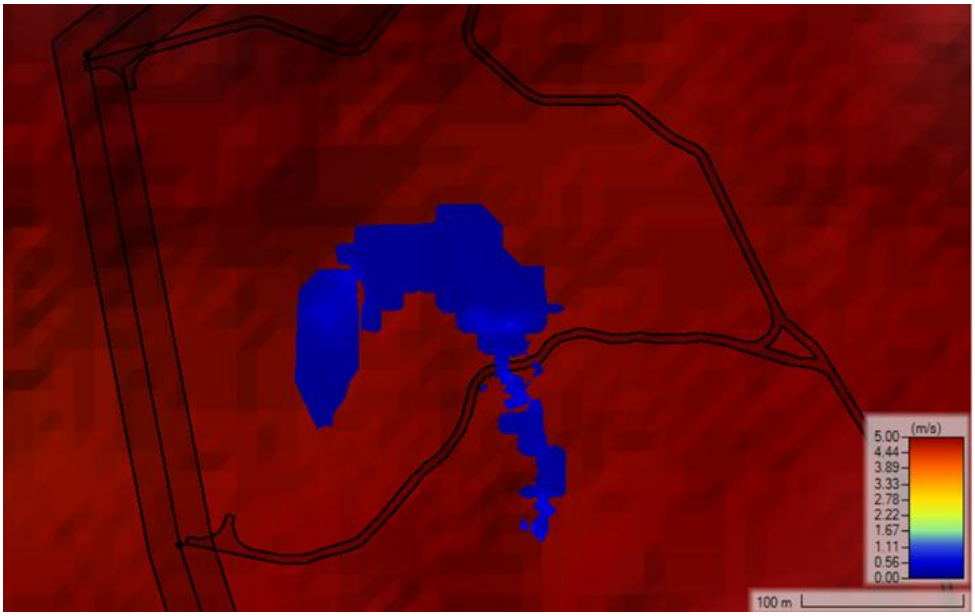



Figura 4-4. Velocidad máxima con layout del proyecto (color negro). Caudal de verificación (200 años). Condición sin proyecto

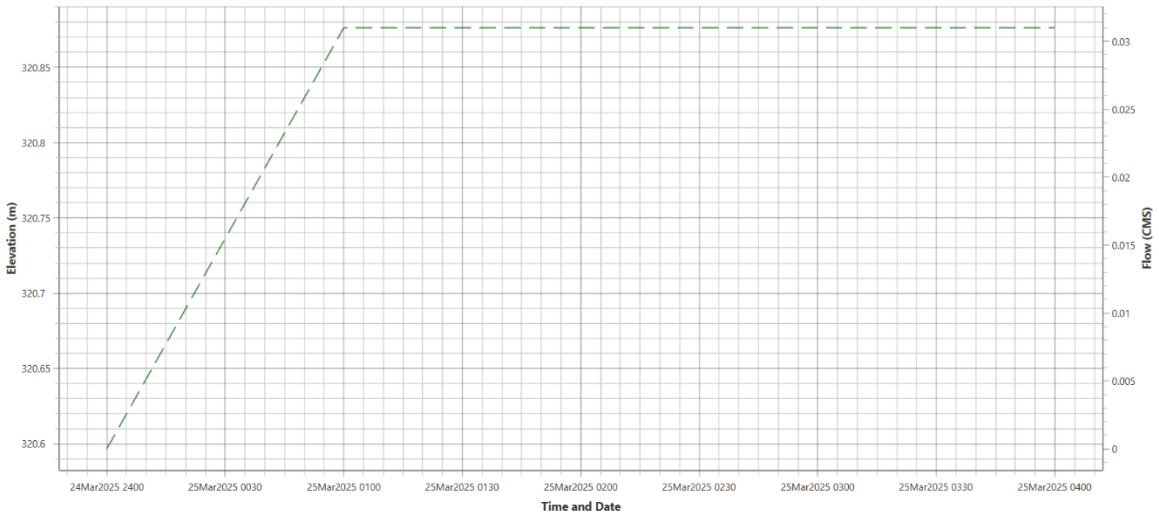



Figura 4-5. Hidrograma a la salida del modelo. Condición sin proyecto

## 4.2. Condición con proyecto

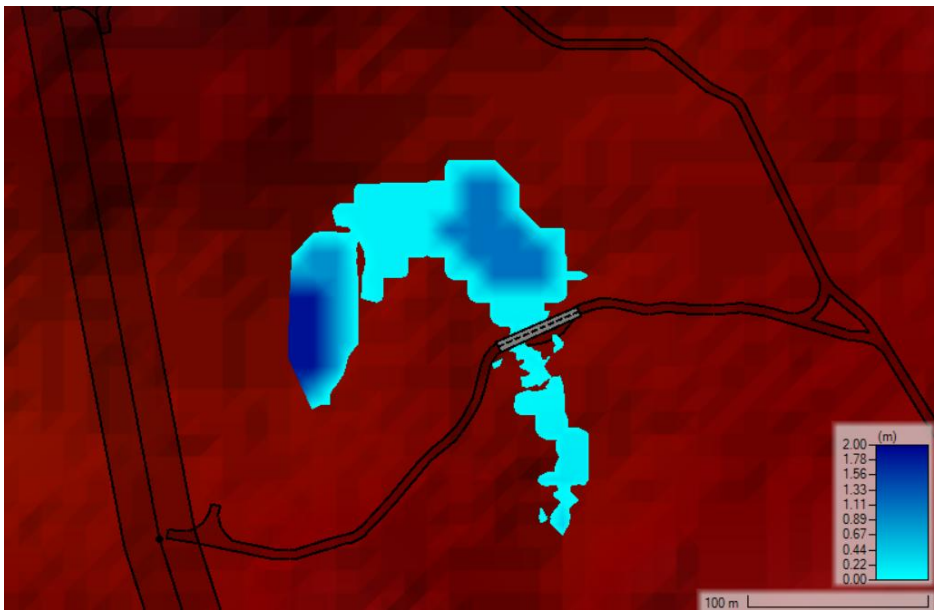



Figura 4-6. Profundidad máxima con layout del proyecto (color gris). Caudal de diseño (100 años). Condición con proyecto

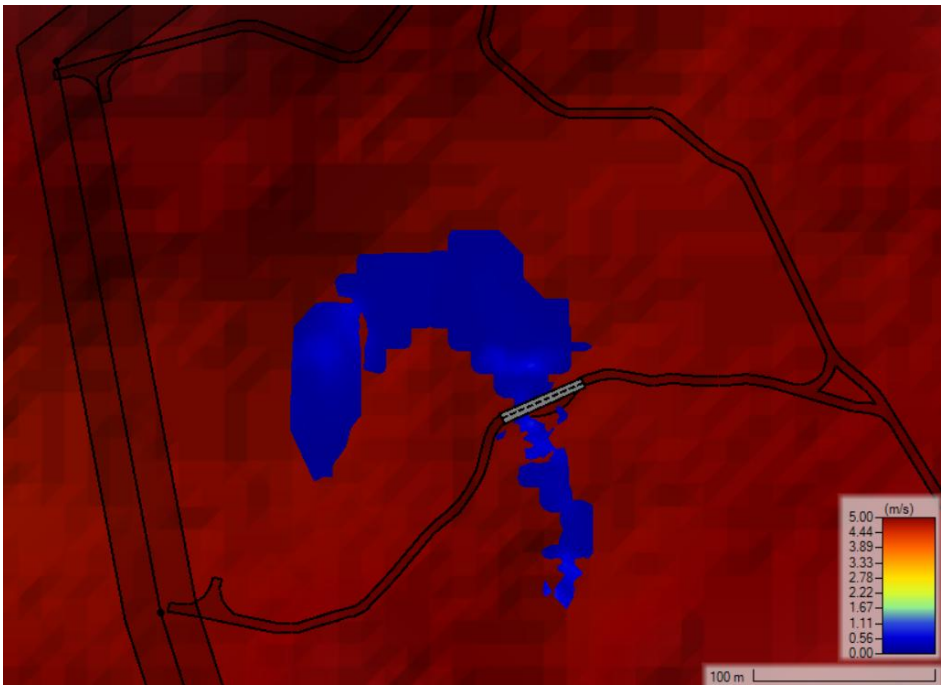



Figura 4-7. Velocidad máxima con layout del proyecto (color gris). Caudal de diseño (100 años). Condición con proyecto

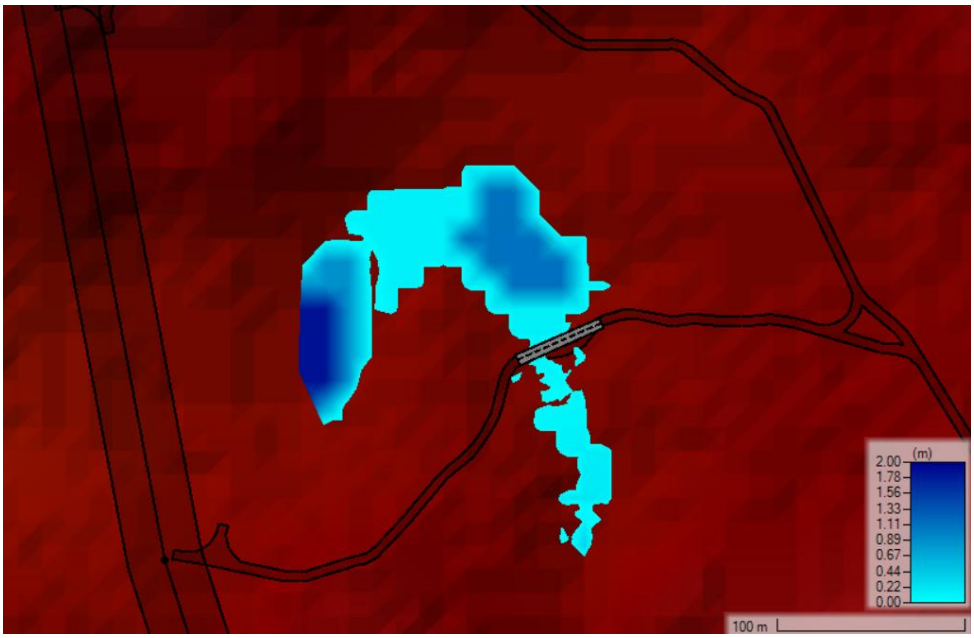



Figura 4-8. Profundidad máxima con layout del proyecto (color gris). Caudal de verificación (200 años). Condición con proyecto

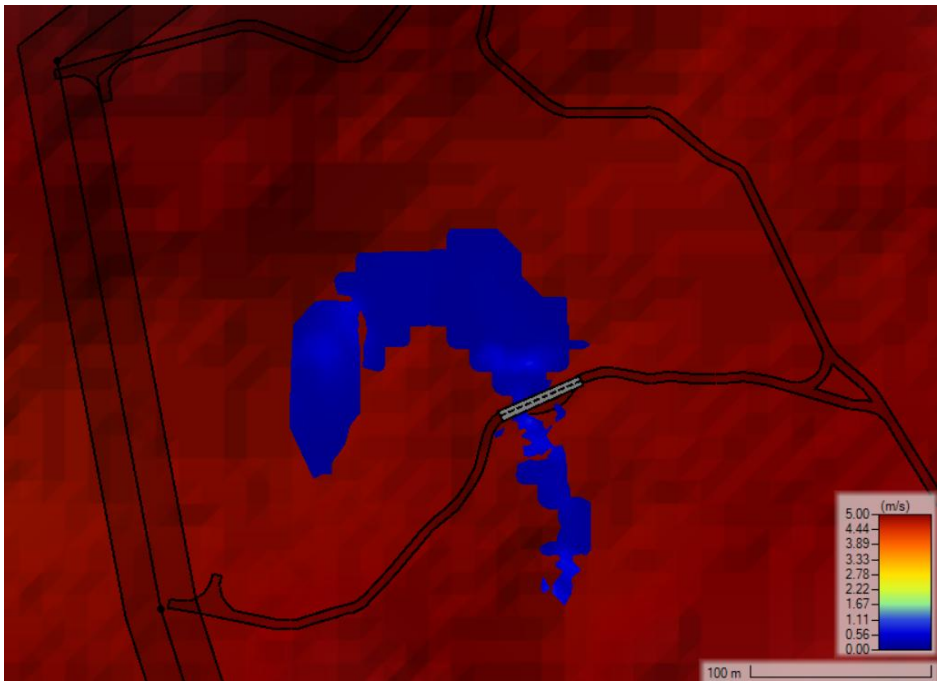



Figura 4-9. Velocidad máxima con layout del proyecto (color gris). Caudal de verificación (200 años). Condición con proyecto

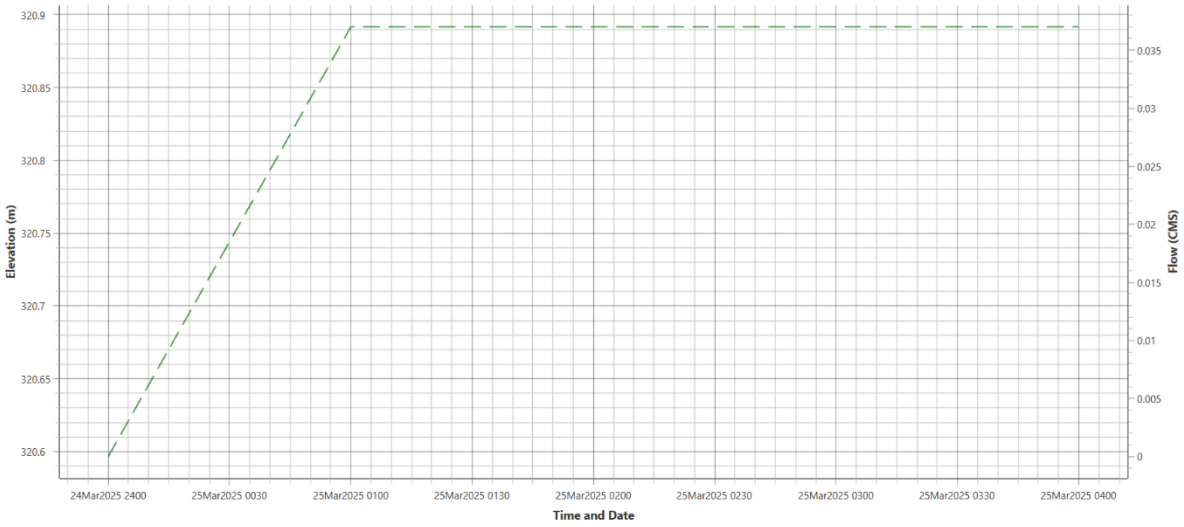



Figura 4-10. Hidrograma a la salida del modelo. Condición con proyecto

# 5. Referencias

Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de canales abiertos.* Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.

HEC. (2022). *HEC-RAS. Versión 6.2*. Hydrologic Engineering Center. Obtenido de https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/

MOP. (2020). *Manual de Carreteras. Volumen 3. Instrucciones y criterios de diseño.* Ministerio de Obras Públicas.

PLAN 8
ENERGIA INFINITA

www.plan-8.cl

+56 9 3400 1439