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



ANEXO 2.04. MODELO HIDRÁULICO OA 04

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 Región Metropolitana Región de O'Higgins	
	PAS156-DOC-02.04	**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 04 y layout del proyecto (color gris). Condición sin proyecto 5
Figura 3-2. Topografía de la zona de estudio de la obra OA 04 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 04, 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 685m a lo largo de su eje, centrado en la obra proyectada y manteniendo 400 m hacia aguas arriba y 285m 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 una alcantarilla bajo camino interno PF, compuesta de 5 tubos de acero corrugado de diámetro 1 m y largo 24 m.	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.

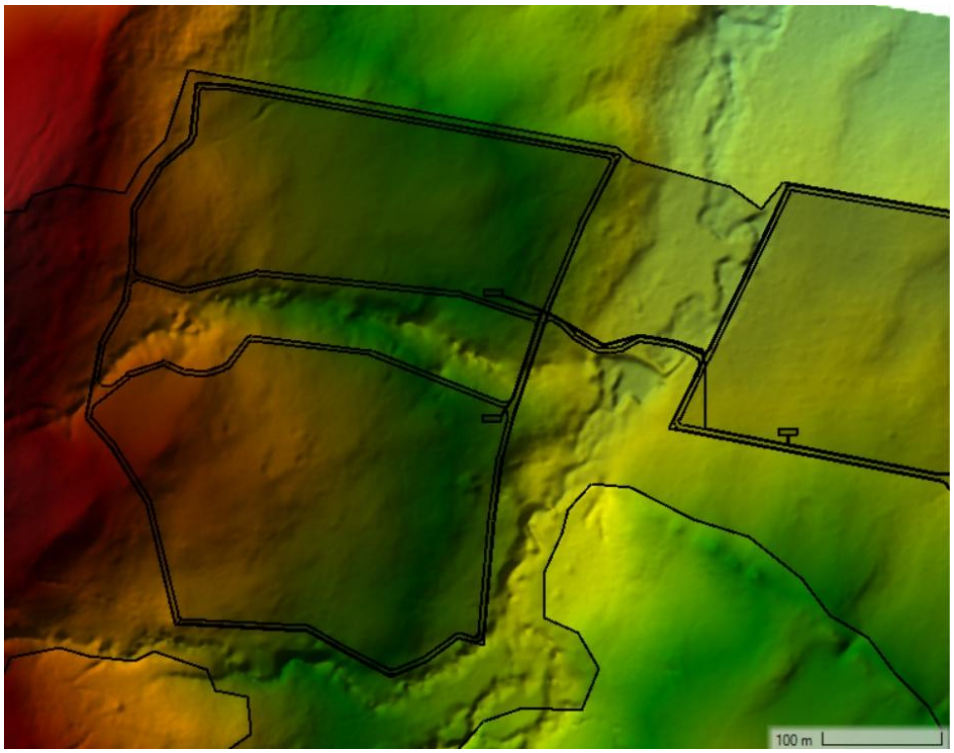


Figura 3-1. Topografía de la zona de estudio de la obra OA 04 y layout del proyecto (color gris). Condición sin proyecto

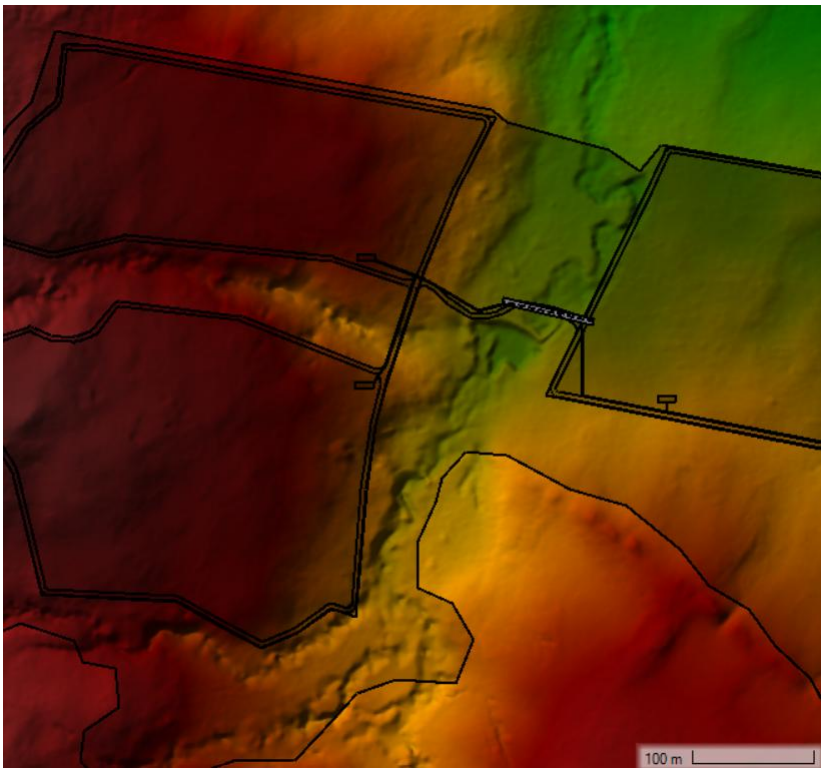


Figura 3-2. Topografía de la zona de estudio de la obra OA 04 y layout del proyecto (color gris). Condición con proyecto

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_01	☑		0.023	0.032	0.01
US_02	☑		0.031	0.037	0.01
DS		☑	—	—	0.012

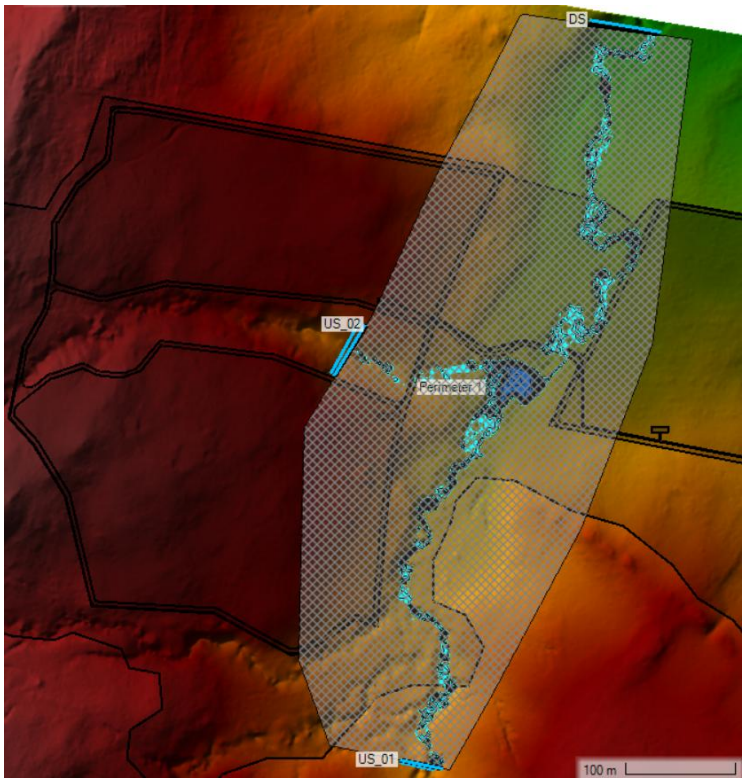


Figura 3-3. Ubicación condiciones de borde. Incluye layout del proyecto (color negro)

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:

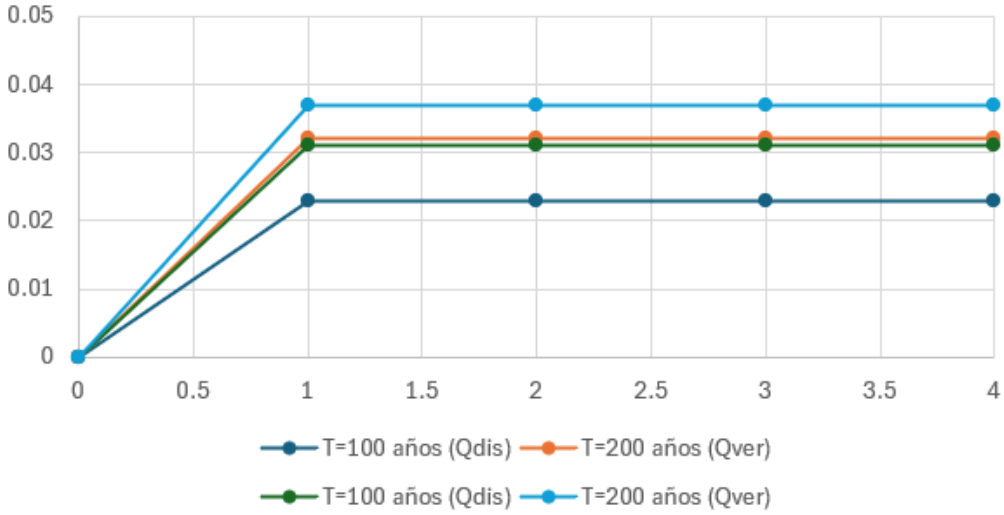


Figura 3-4: Hidrogramas de entrada

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

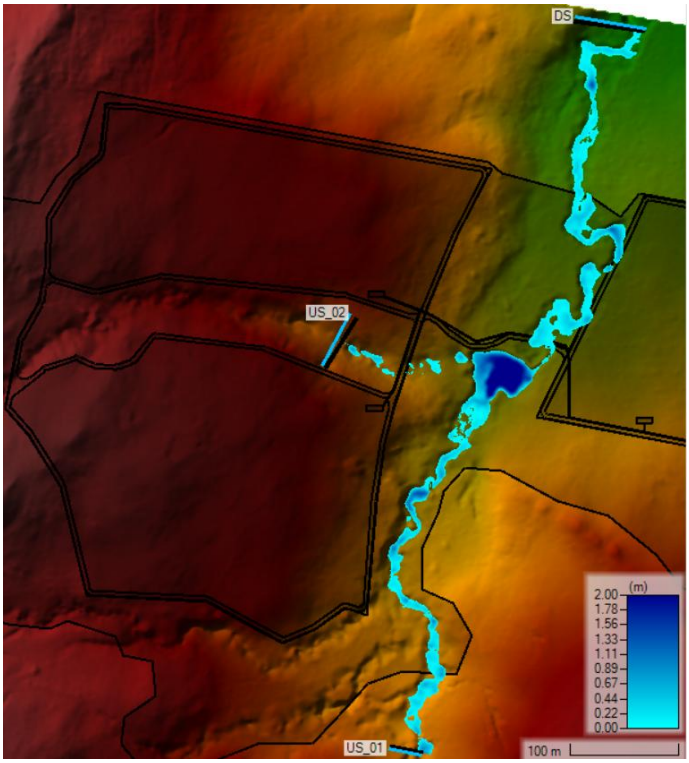


Figura 4-1: Profundidad máxima con layout del proyecto (color negro). Caudal de diseño (100 años). Condición sin proyecto

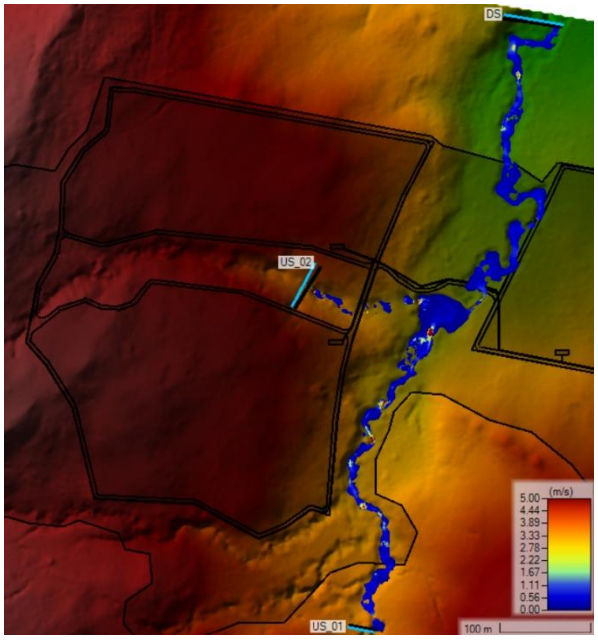


Figura 4-2. Velocidad máxima con layout del proyecto (color negro). Caudal de diseño (100 años). Condición sin proyecto

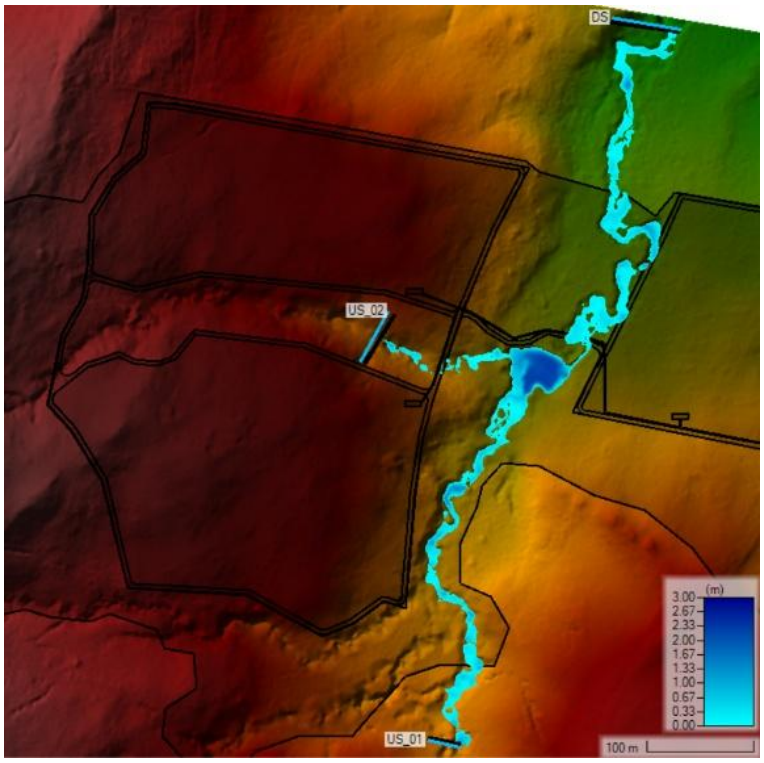


Figura 4-3. Profundidad máxima con layout del proyecto (color negro). Caudal de verificación (200 años). Condición sin proyecto

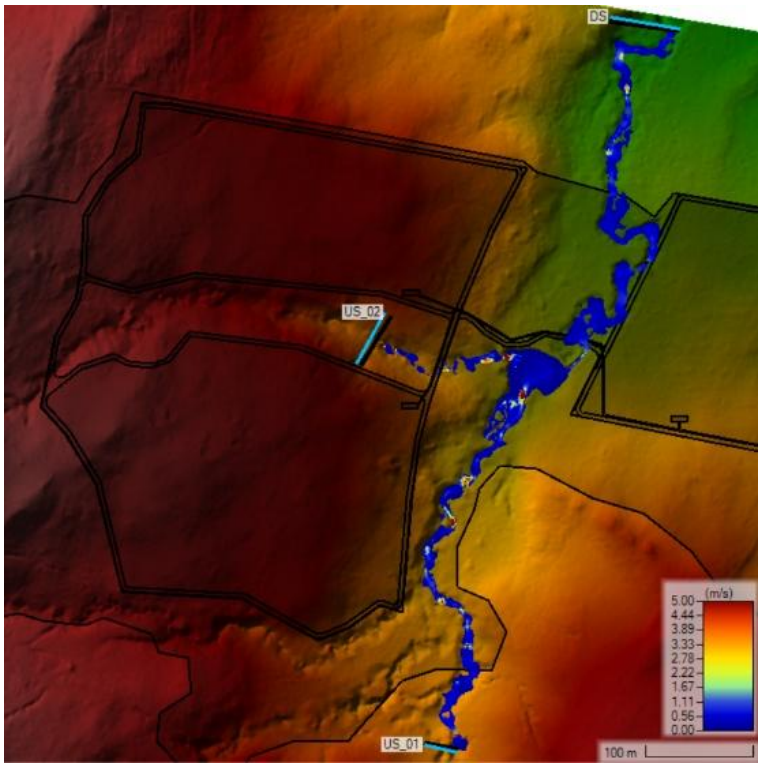


Figura 4-4. Velocidad máxima con layout del proyecto (color negro). Caudal de verificación (200 años). Condición sin proyecto

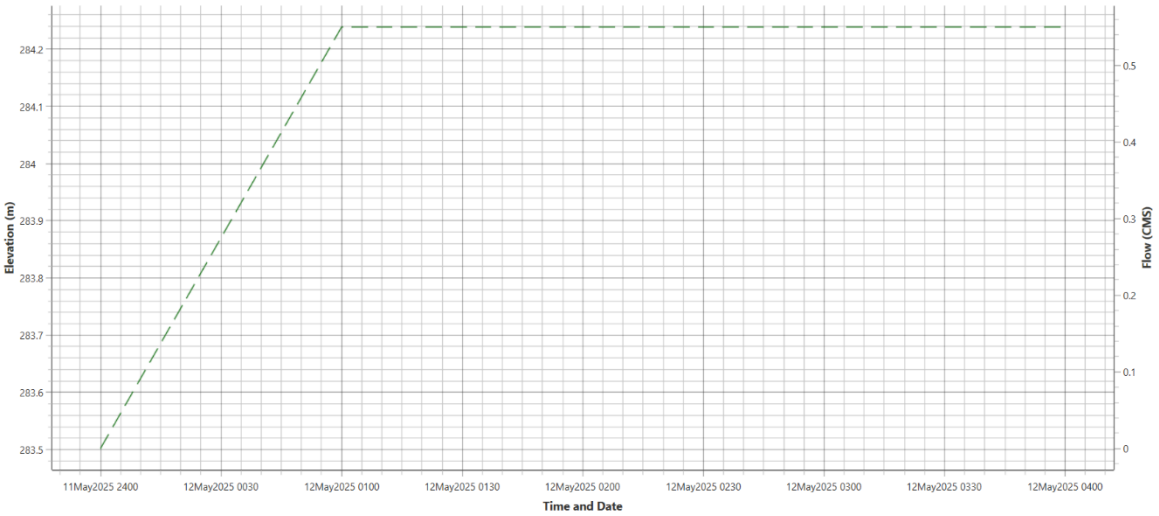


Figura 4-5. Hidrograma a la salida del modelo. Condición sin proyecto

4.2. Condición con proyecto

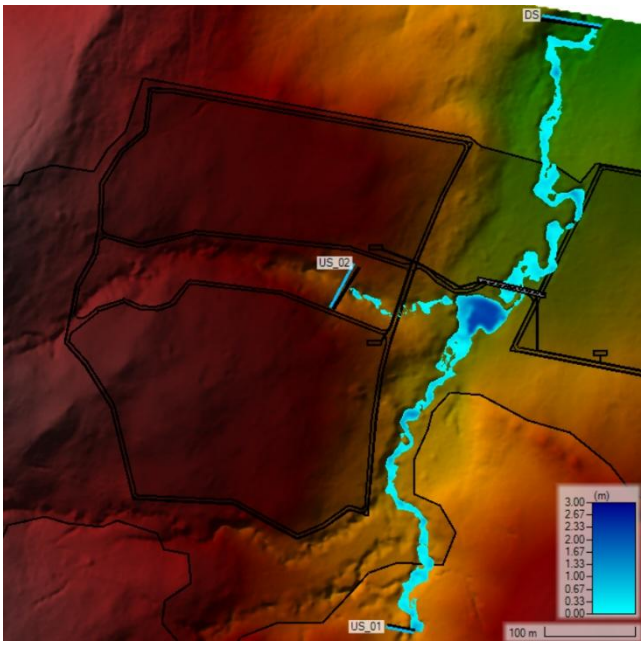


Figura 4-6. Profundidad máxima con layout del proyecto (color gris). Caudal de diseño (100 años). Condición con proyecto

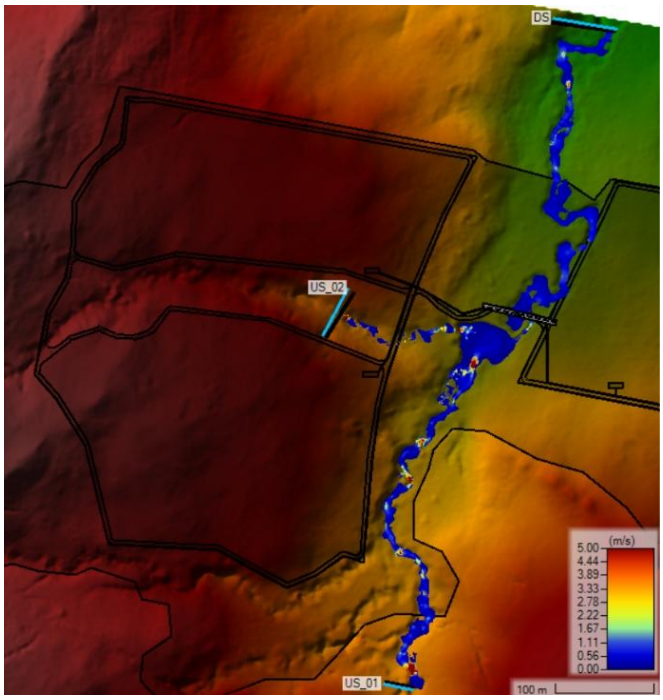


Figura 4-7. Velocidad máxima con layout del proyecto (color gris). Caudal de diseño (100 años). Condición con proyecto

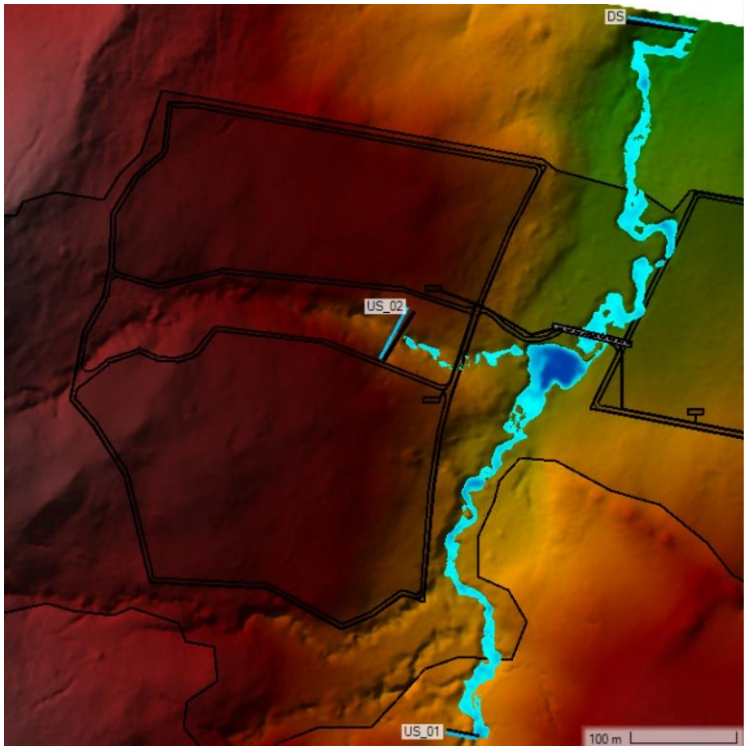


Figura 4-8. Profundidad máxima con layout del proyecto (color gris). Caudal de verificación (200 años). Condición con proyecto

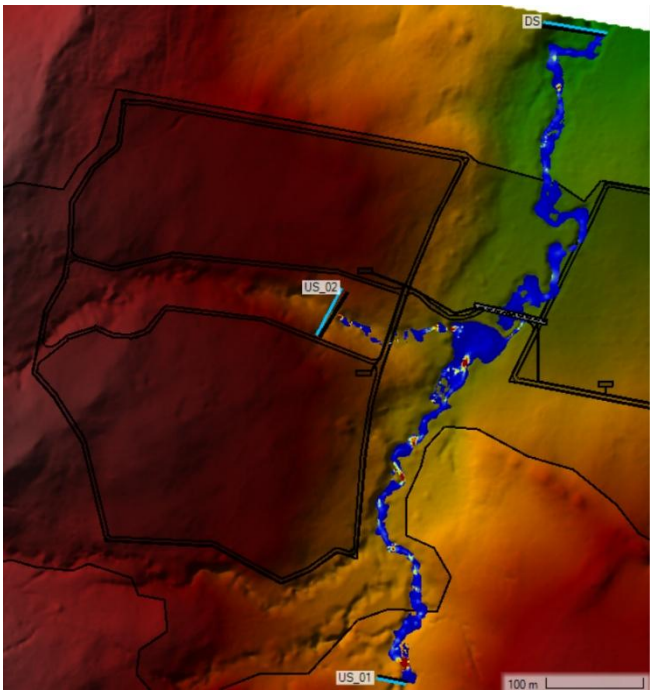


Figura 4-9. Velocidad máxima con layout del proyecto (color gris). Caudal de verificación (200 años). Condición con proyecto

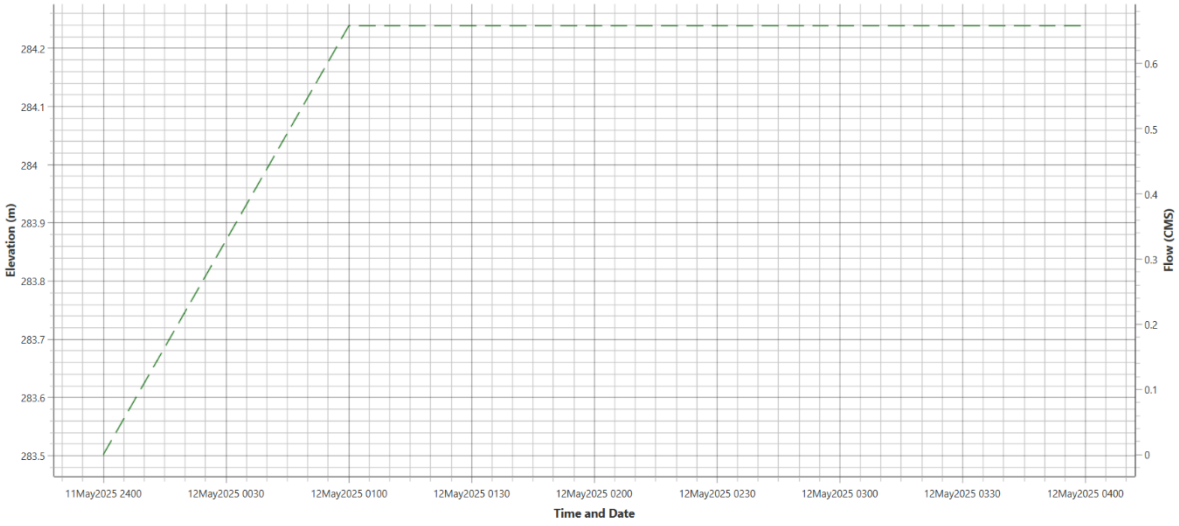


Figura 4-10. Hidrograma a la salida del modelo. Condición con proyecto

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