



ANEXO 4: ESTUDIO HIDRÁULICO Y RIESGO DE INUNDACIÓN

**Estudio Hidrológico y de Inundabilidad del Río
Campanillas y Análisis de Soluciones Técnicas para Paliar
los Efectos de sus Avenidas**



Índice

Índice	iii
Índice de Tablas	v
Índice de Figuras	vii
Notación	ix
1 Introducción	3
2 Modelo Hidráulico	3
2.1. Rugosidad	3
2.2. Modelización de infraestructuras	14
2.2.1. Puentes	15
2.2.2. Paso inferior	18
3 Resultados	19
3.1. Perfiles transversales	19
3.2. Comportamiento hidrodinámico del cauce con estructuras	24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Valores tabulados rugosidad para la formulación establecida por Cowan	4
Tabla 2-2 Cálculos del número de Manning según la formulación de Cowan	12

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Puntos de información hidráulica del cauce del río Campanillas	5
Figura 2-2 Sección aguas arriba (izquierda) y aguas abajo (derecha) – Punto n° 1	6
Figura 2-3 Sección cauce – Punto n°1	6
Figura 2-4 Sección aguas arriba arroyo Pilonés– Punto n° 2	7
Figura 2-5 Sección cauce – Punto n°2	7
Figura 2-6 Sección cauce aguas abajo – Punto n°3	8
Figura 2-7 Sección cauce aguas arriba – Punto n°3	8
Figura 2-8 Sección cauce – Punto n°3	8
Figura 2-9 Sección cauce aguas abajo – Punto n°4	9
Figura 2-10 Sección cauce aguas arriba – Punto n°4	9
Figura 2-11 Sección cauce – Punto n°4	9
Figura 2-12 Sección cauce aguas abajo – Punto n°5	10
Figura 2-13 Sección cauce aguas arriba – Punto n°5	10
Figura 2-14 Sección cauce – Punto n°5	10
Figura 2-15 Sección aguas arriba – Punto n° 6	11
Figura 2-16 Zonificación de valores de n Manning en el cauce y llanuras de inundación	13
Figura 2-17 Infraestructura que interactúa con el cauce del río Campanillas	14
Figura 2-18 Puentes presentes en el cauce del río Campanillas	16
Figura 2-19 Perfil transversal Puente n°1	16
Figura 2-20 Perfil transversal Puente n°2	16
Figura 2-21 Perfil transversal Puente n°3.1 y 3.2 (Puente de doble tablero)	17
Figura 2-22 Perfil transversal Puente n°4.1 y 4.2 (Puente de doble tablero)	17
Figura 2-23 Perfil transversal Puente n° 5	18
Figura 2-24 Paso inferior	18
Figura 3-1 Localización de perfiles transversales	19
Figura 3-2 Perfil transversal 1	20
Figura 3-3 Perfil transversal 2	20
Figura 3-4 Perfil transversal 3	20
Figura 3-5 Perfil transversal 4	21
Figura 3-6 Perfil transversal 5	21
Figura 3-7 Perfil transversal 6	21

Figura 3-8 Perfil transversal 7	22
Figura 3-9 Perfil transversal 8	22
Figura 3-10 Perfil transversal 9	22
Figura 3-11 Perfil transversal 10	23
Figura 3-12 Perfil transversal 11	23
Figura 3-13 Efecto de la presencia del puente n° 1 en la hidrodinámica del cauce	24
Figura 3-14 Efecto de la presencia del puente n° 2 en la hidrodinámica del cauce	24
Figura 3-15 Efecto de la presencia del puente n° 3 en la hidrodinámica del cauce	25
Figura 3-16 Efecto de la presencia del puente n° 4 y 5 en la hidrodinámica del cauce	25

1 INTRODUCCIÓN

En el presente apartado se recogen, por tanto, los resultados de la simulación hidráulica del cauce del río Campanillas. Para ello, se ha empleado el software Iber, capaz de realizar cálculo bidimensional de flujo para ríos. Como resultados principales se presentan gráficamente las zonas inundables y los datos numéricos de las variables hidráulicas que caracterizan el flujo. Adicionalmente, se efectúa un estudio de la capacidad de desagüe de las distintas obras de paso localizadas en la red fluvial.

2 MODELO HIDRÁULICO

A continuación, se adjuntan los cálculos de parámetros hidráulicos como el coeficiente de Manning y la caracterización de las infraestructuras presentes en la cuenca bajo estudio.

2.1. Rugosidad

Para la correcta simulación del régimen hidráulico de una determinada avenida es necesario adoptar valores coherentes y adecuados del coeficiente de Manning para el cauce, las llanuras y del resto de zonas existentes en la superficie a modelar.

Para la obtención de unos valores lo más aproximados a la realidad se recopiló una extensa información fotográfica de diferentes tramos del cauce con la que se caracterizaron los distintos tramos a partir de su naturaleza y propiedades morfológicas. En concreto, se ha utilizado la clasificación de tramos fluviales propuesta por Cowan, que permite, mediante una sencilla formulación, obtener el número de rugosidad de Manning. De esta forma:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot m_5$$

donde n_0 depende del material que conforma el lecho

n_1 depende del grado de irregularidad del lecho

n_2 depende del tipo de variación de la sección transversal

n_3 depende del efecto relativo de obstrucciones

n_4 depende de tipo de vegetación existente

m_5 es función de la cantidad de meandros

cuyos valores se encuentran tabulados según tabla adjunta:

Tabla 2-1 Valores tabulados rugosidad para la formulación establecida por Cowan

<i>Condiciones del canal</i>		<i>Valores</i>	
Material considerado	Tierra	n_0	0.020
	Roca cortada		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de irregularidad	Liso	n_1	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal del canal	Gradual	n_2	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010–0.015
Efectivo relativo de obstrucciones	Despreciable	n_3	0.000
	Menor		0.010–0.015
	Apreciable		0.020–0.030
	Severo		0.040–0.060
Vegetación	Baja	n_4	0.005–0.010
	Media		0.010–0.025
	Alta		0.025–0.050
	Muy alta		0.050–0.100
Cantidad de meandros	Menor	m_5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severa		1.300

Para aplicar dicha formulación se recopiló la siguiente información acerca del cauce fluvial del río Campanillas, la cual se concreta para los puntos que se muestran en la siguiente figura.

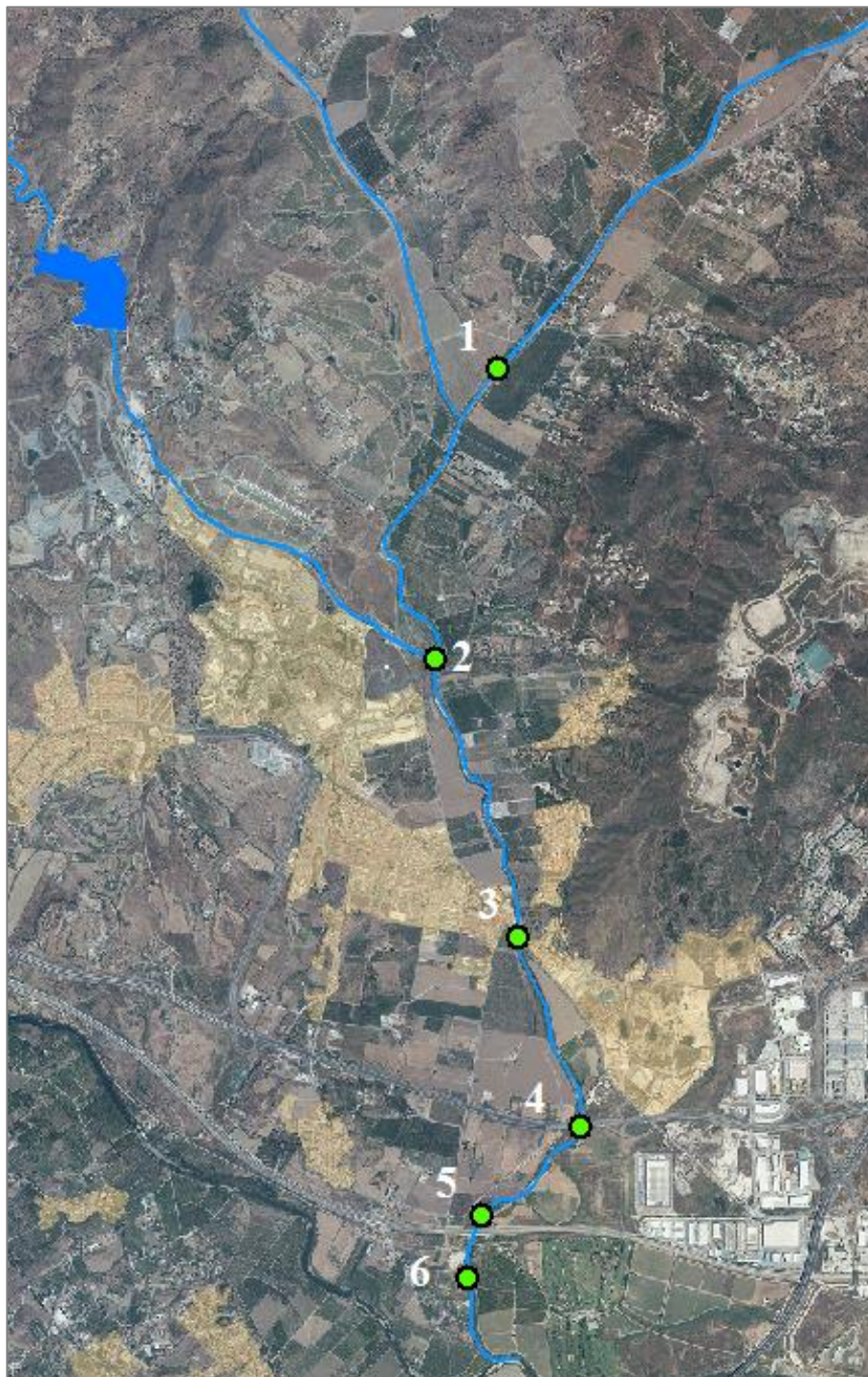


Figura 2-1 Puntos de información hidráulica del cauce del río Campanillas

Punto n° 1 Cauce río Campanillas

Figura 2-2 Sección aguas arriba (izquierda) y aguas abajo (derecha) – Punto n° 1

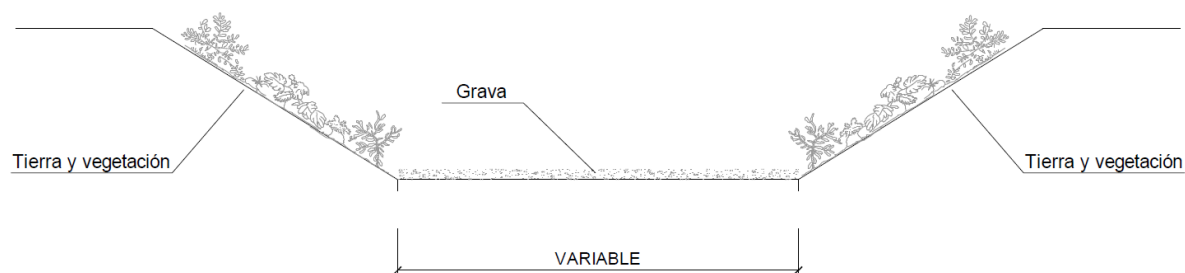


Figura 2-3 Sección cauce – Punto n°1

Descripción del cauce:

- Geometría: Trapecial
- Regularidad de la sección: media
- Revestimiento: cauce en tierras con vegetación abundante en márgenes. Presencia de grava.

Punto n° 2 Cauce río Campanillas

Figura 2-4 Sección aguas arriba arroyo Pilonos– Punto n° 2

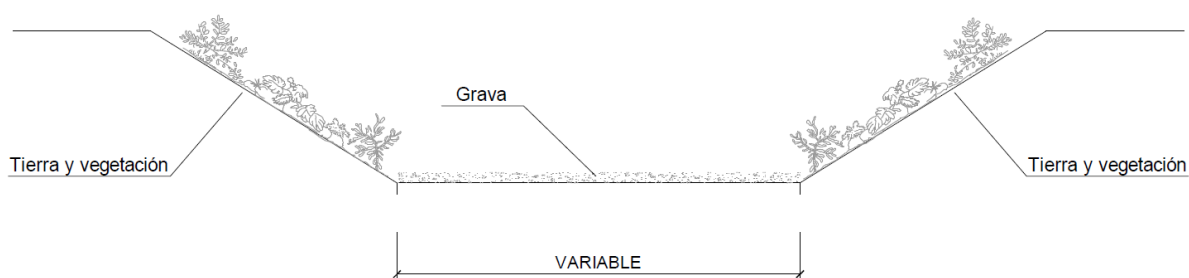


Figura 2-5 Sección cauce – Punto n°2

Descripción del cauce:

- Geometría: Trapecial
- Regularidad de la sección: media
- Revestimiento: cauce en tierras con vegetación abundante en márgenes. Presencia de grava.

Punto n° 3 Cauce río Campanillas

Figura 2-6 Sección cauce aguas abajo – Punto n°3



Figura 2-7 Sección cauce aguas arriba – Punto n°3

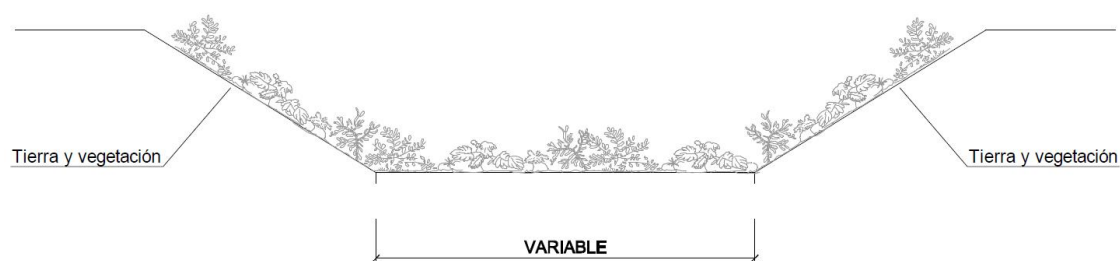


Figura 2-8 Sección cauce – Punto n°3

Descripción del cauce:

- Geometría: Trapecial
- Regularidad de la sección: media
- Revestimiento: cauce en tierras con vegetación abundante en márgenes. Presencia de grava.

Punto n° 4 Cauce río Campanillas

Figura 2-9 Sección cauce aguas abajo – Punto n°4



Figura 2-10 Sección cauce aguas arriba – Punto n°4

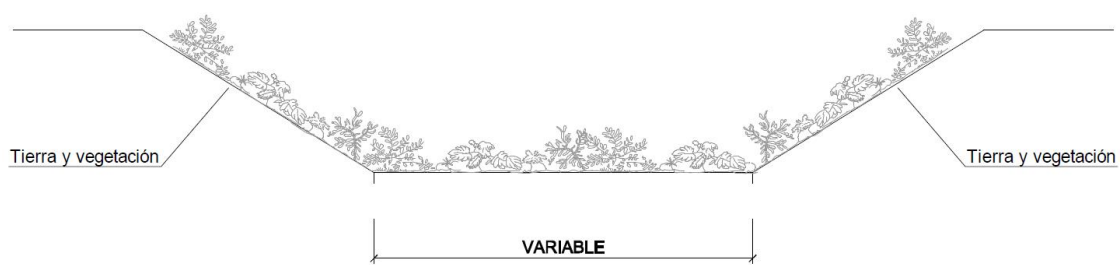


Figura 2-11 Sección cauce – Punto n°4

Descripción del cauce:

- Geometría: Trapecial
- Regularidad de la sección: media
- Revestimiento: cauce en tierras con vegetación abundante en márgenes

Punto n° 5 Cauce río Campanillas



Figura 2-12 Sección cauce aguas abajo – Punto n°5



Figura 2-13 Sección cauce aguas arriba – Punto n°5

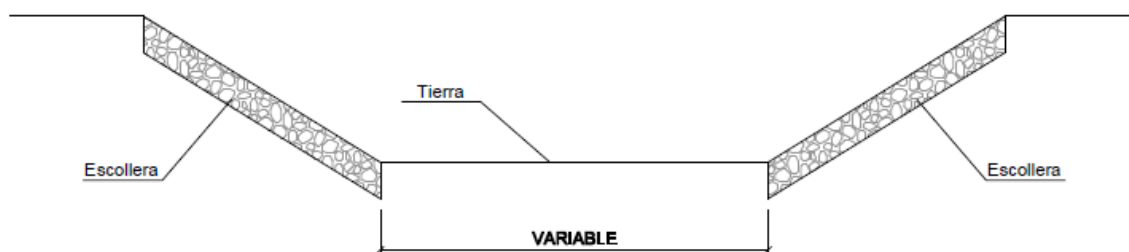


Figura 2-14 Sección cauce – Punto n°5

Descripción del cauce:

- Geometría: Trapecial
- Regularidad de la sección: Buena
- Revestimiento: cauce en tierras con vegetación y escollera en ambos márgenes

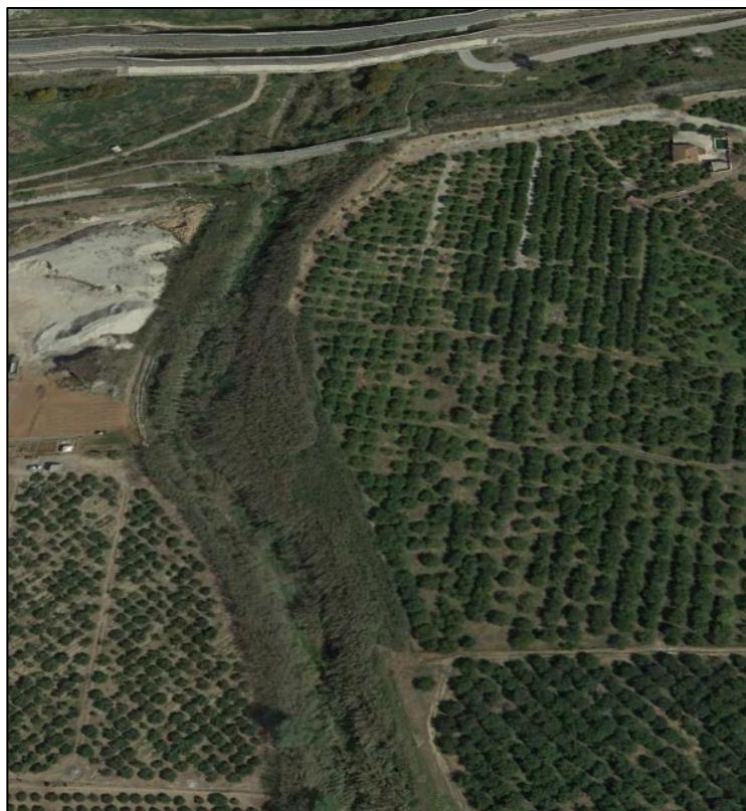
Punto n° 6 Cauce río Campanillas

Figura 2-15 Sección aguas arriba – Punto n° 6

Descripción del cauce:

- Geometría: Trapecial
- Regularidad de la sección: Buena
- Revestimiento: cauce en tierras con vegetación abundante en ambos márgenes

A partir de toda la información recopilada, se poseguió a realizar una estimación del valor de la rugosidad media del cauce del río Campanillas, mostrándose a continuación los cálculos realizados.

Tabla 2-2 Cálculos del número de Manning según la formulación de Cowan

SEGUN COWAN:

Condiciones del río:			
material del cauce:	A	terroso	
	B	rocoso	
	C	gravoso fino	
	D	gravoso grueso	
material del cauce adoptado:			A = 0,020
Grado de irregularidad:	A	ninguna	
	B	leve	
	C	regular	
	D	severo	
Grado de irregularidad adoptado:			B = 0,005
Secciones	A	leve	
Variables	B	regular	
	C	severo	
variación de la sección adoptada:			B = 0,005
Efecto de las obstrucciones:	A	despreciables	
	B	menor	
	C	apreciable	
	D	severo	
Efecto de las obstrucciones adoptado:			B = 0,010
vegetación:	A	ninguna	
	B	poco	
	C	regular	
	D	alta	
vegetación adoptada:			C = 0,025
grado de sinuosidad:	A	Insignificante	
	B	regular	
	C	considerable	
grado de sinuosidad adoptado:			A = 1,000
valor de " n " adoptado según COWAM			n = 0,06

Además, se recurrió a bibliografía existente y de acuerdo a la experiencia de los modelos físicos elaborados por el CEDEX, el cual, con modelizaciones físicas y matemáticas de procesos tormentosos, con datos conocidos de precipitación y láminas de agua en cauces o llanuras de inundación de la cuenca sur mediterránea, obtuvo los valores de rugosidad de los cauces de una forma más precisa para la zona bajo estudio, resultado un valor para el cauce del río campanillas algo menor del obtenido por el método de Cowan.

Con estas premisas se han considerado los siguientes valores de Manning:

- Cauces normales con vegetación: 0,045-0,05
- Núcleos urbanos: 0,13 (Urbano)
- Zonas urbanizadas de carácter rural: 0,08 (Urbano 2)
- Superficies agrícolas: 0,04 (Agrícola)
- Superficie de vegetación arbórea: 0,055 (Vegetación 2)
- Superficie de carreteras inundables: 0,02 (Infraestructura)
- Encauzamientos y obras de drenaje transversal en hormigón armado: 0,03 – 0,035
- Encauzamientos en escollera o mampostería: 0,040

La implementación de los valores de rugosidad en la malla de cálculo del modelo IBER resulta tal y como se puede observar en la siguiente figura.

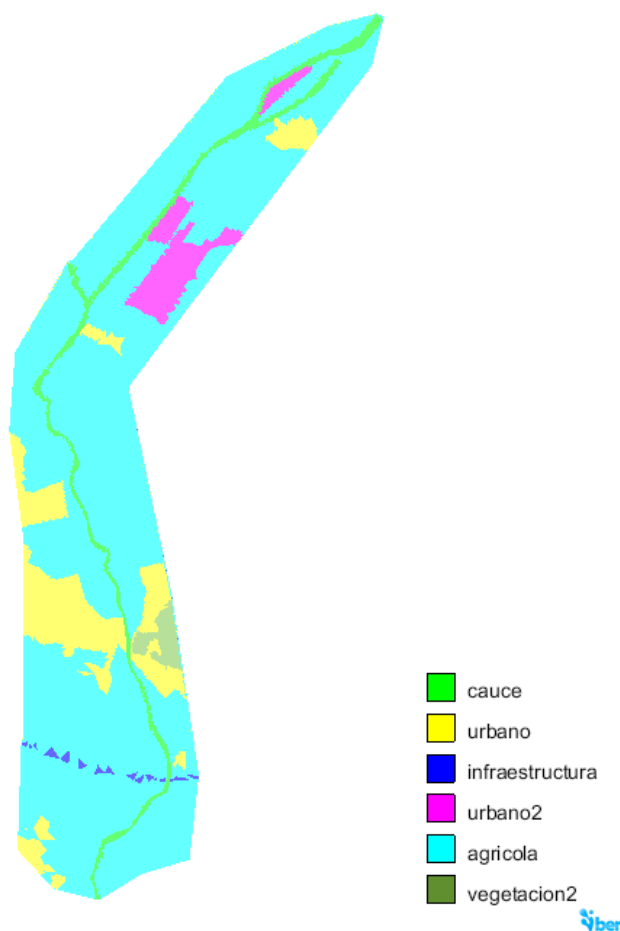


Figura 2-16 Zonificación de valores de n Manning en el cauce y llanuras de inundación

2.2. Modelización de infraestructuras

Interactuando con el río Campanillas se encuentran presentes 5 puntos del cauce donde se localizan infraestructuras tipo puentes, existiendo un total de 7 puentes a modelizar. Además, interviniendo en la superficie inundable, interviene un paso inferior localizado en la parte inferior de la cuenca del río Campanillas, el cual también será modelizado.



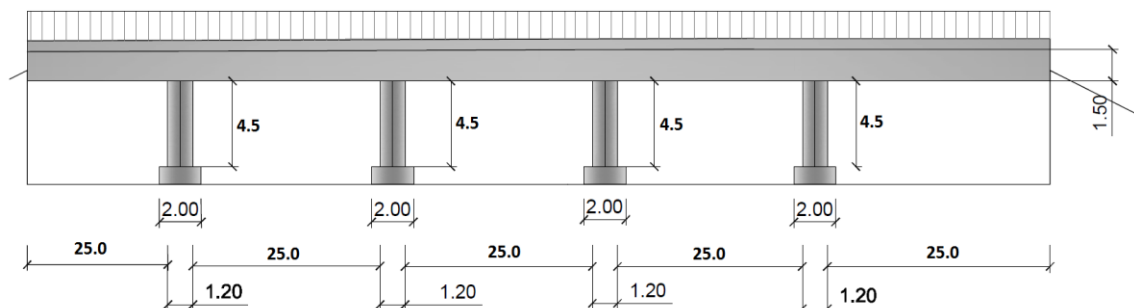
Figura 2-17 Infraestructura que interactúa con el cauce del río Campanillas

A continuación, se expondrá los detalles de la modelización de dichas infraestructuras en el modelo de inundación realizado en IBER.

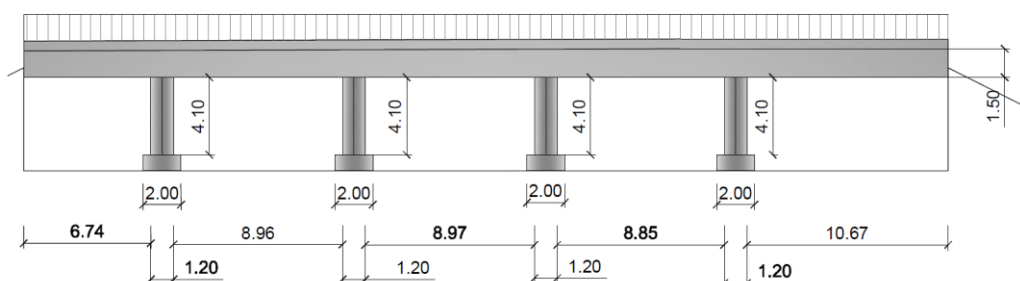
2.2.1. Puentes

En primer lugar, se realiza una caracterización geométrica de todos los puentes existentes, lo cual queda reflejado en las siguientes imágenes.

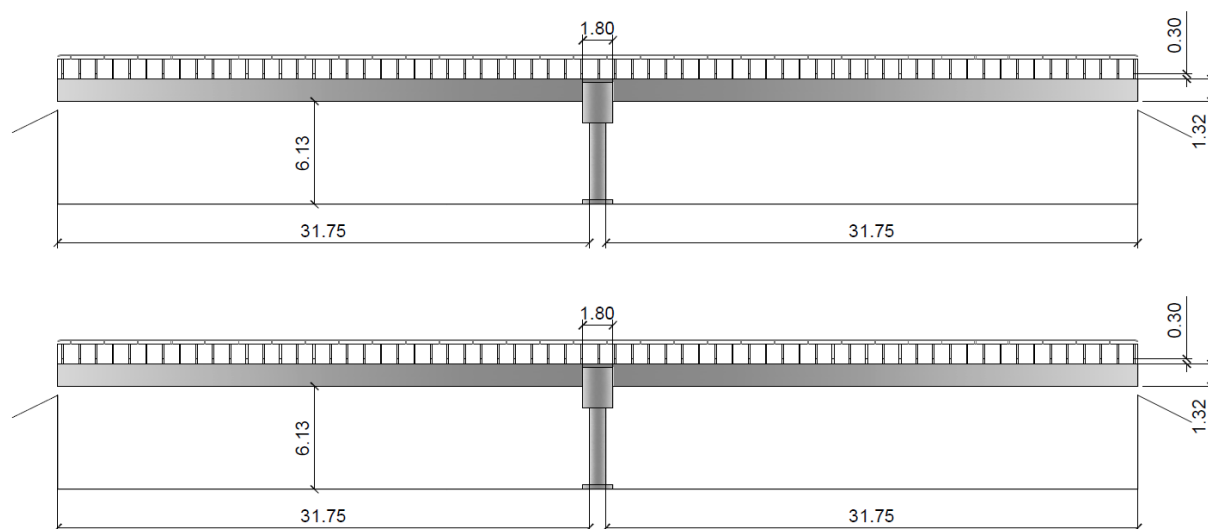
Puente n° 1:



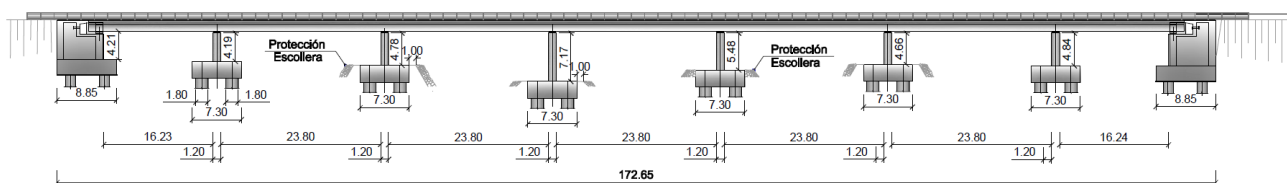
Puente n° 2:

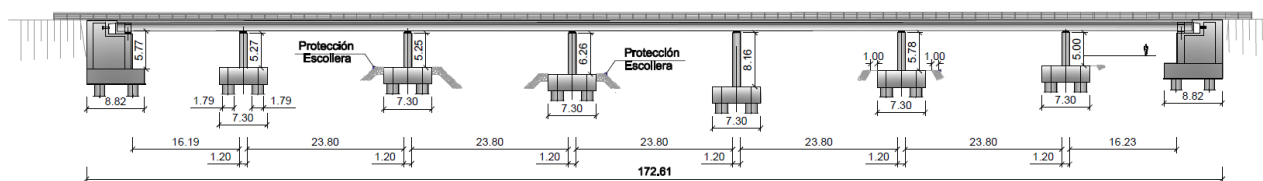


Puente n° 3



Puente n° 4





Puente n° 5

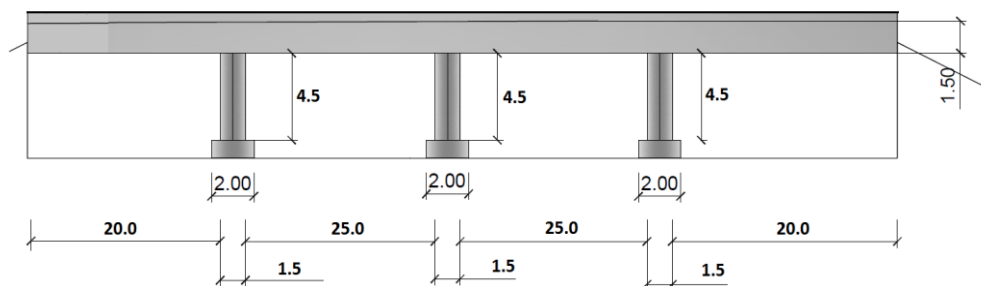


Figura 2-18 Puentes presentes en el cauce del río Campanillas

La cota del tablero se extrajo del modelo digital del terreno a través de los siguientes perfiles transversales que representan la sección donde se ubica el puente.

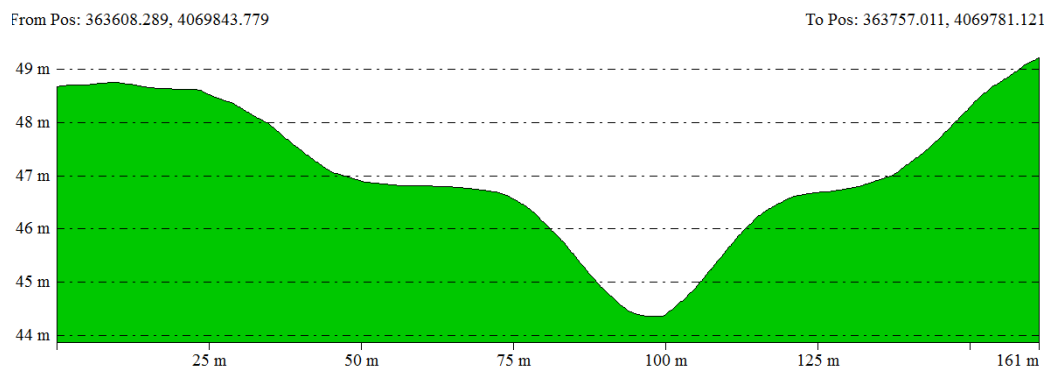


Figura 2-19 Perfil transversal Puente n°1

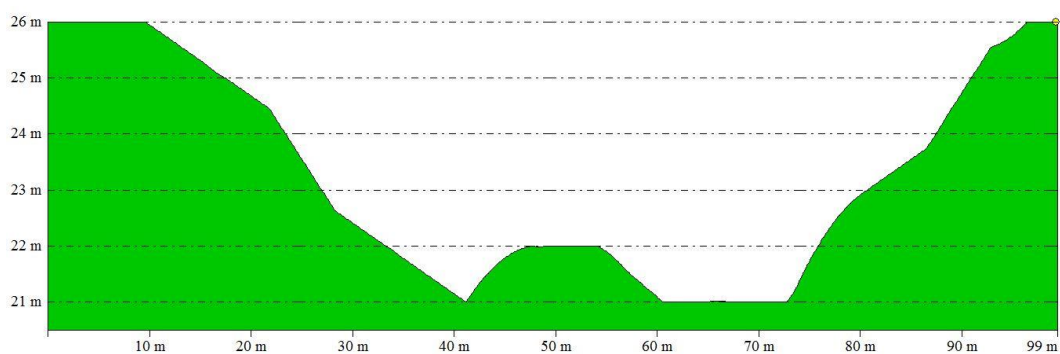


Figura 2-20 Perfil transversal Puente n°2

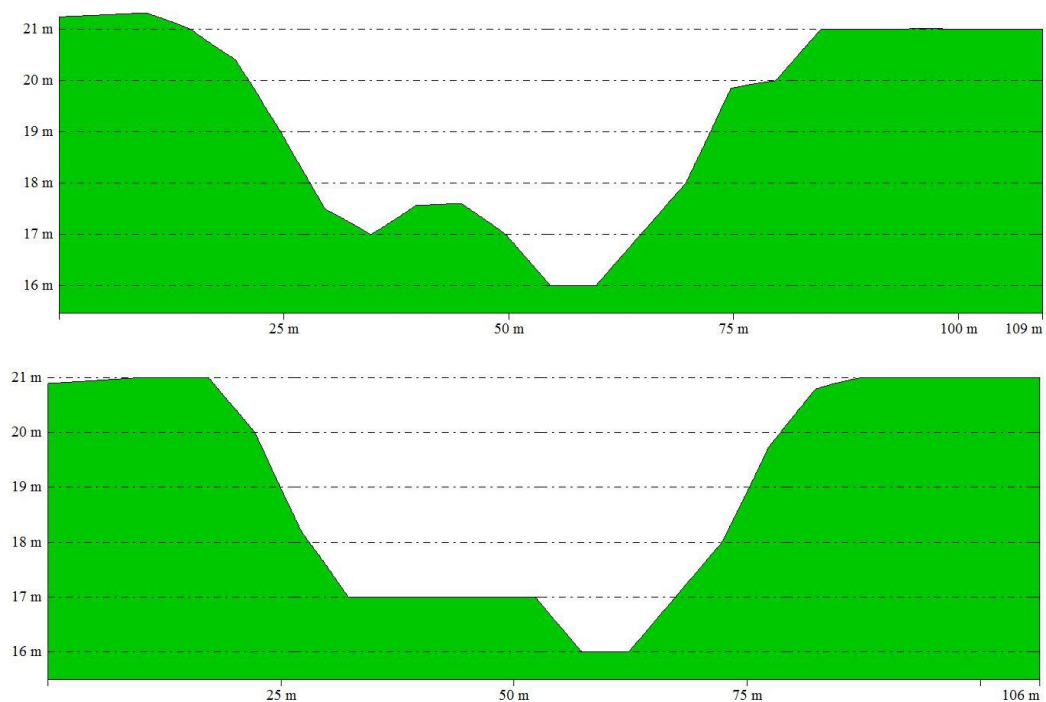


Figura 2-21 Perfil transversal Puente n°3.1 y 3.2 (Puente de doble tablero)

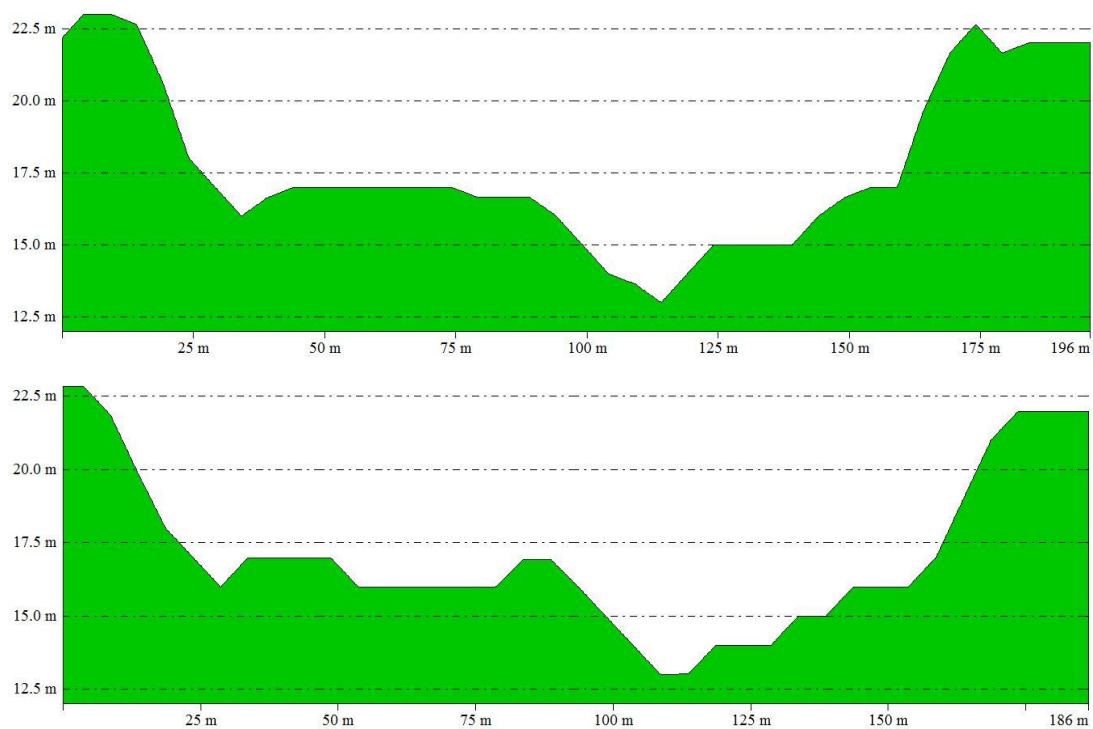


Figura 2-22 Perfil transversal Puente n°4.1 y 4.2 (Puente de doble tablero)

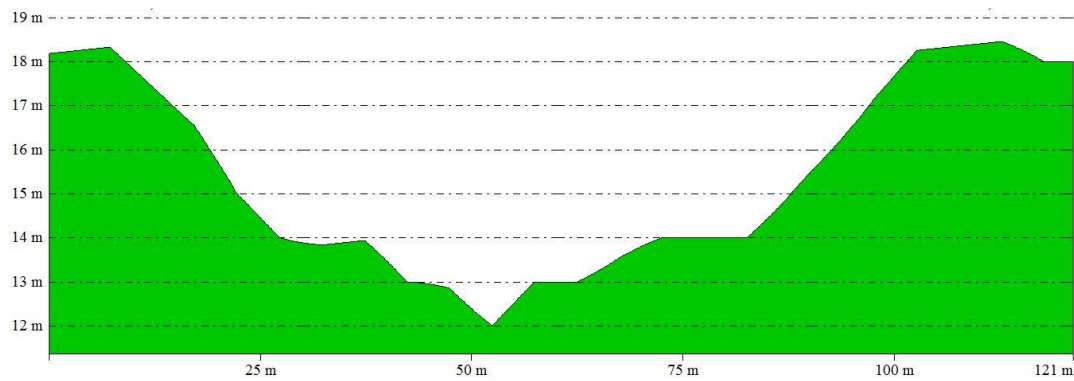


Figura 2-23 Perfil transversal Puente nº 5

2.2.2. Paso inferior

El paso inferior de la vía de ferrocarril cumple además la función de drenaje transversal, permitiendo el paso de agua de un punto a otro de las vías con el fin de evitar la anegación de zonas en las que un flujo superficial podría provocar problemas.

Para su modelado se ha introducido una estructura tipo Alcantarilla, de forma rectangular, la cual cumple con dicha función. Las dimensiones del paso inferior son de 9 m de ancho por 3 m de altura, y las cotas de la solera en el inicio y final son de 15.5 m y 14.9 m.



Figura 2-24 Paso inferior

3 RESULTADOS

En este apartado se completa la información ofrecida en la Memoria acerca de los resultados obtenidos del estudio de inundabilidad realizado con el software Iber.

3.1. Perfiles transversales

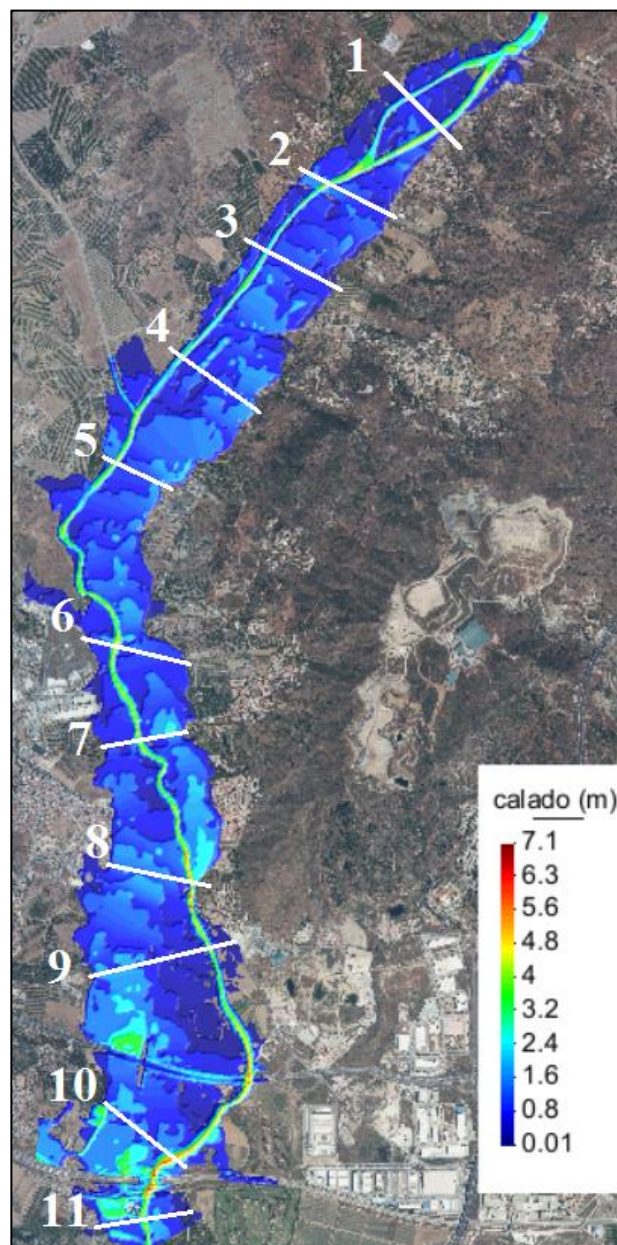


Figura 3-1 Localización de perfiles transversales

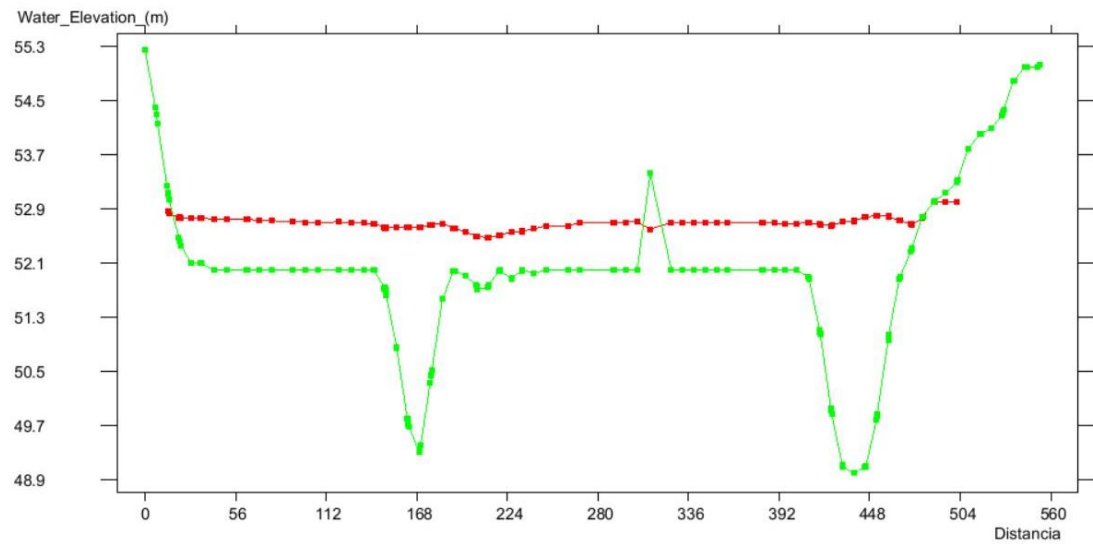


Figura 3-2 Perfil transversal 1

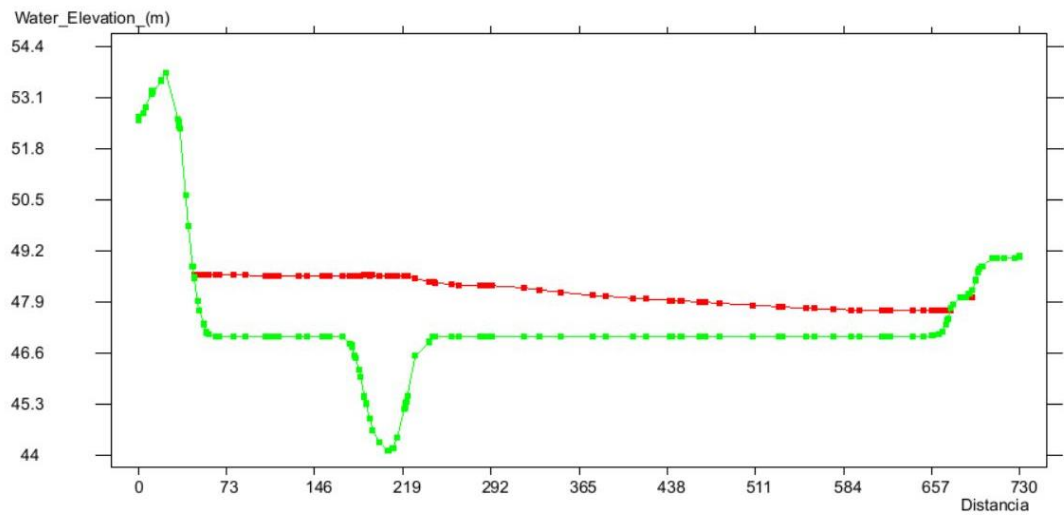


Figura 3-3 Perfil transversal 2

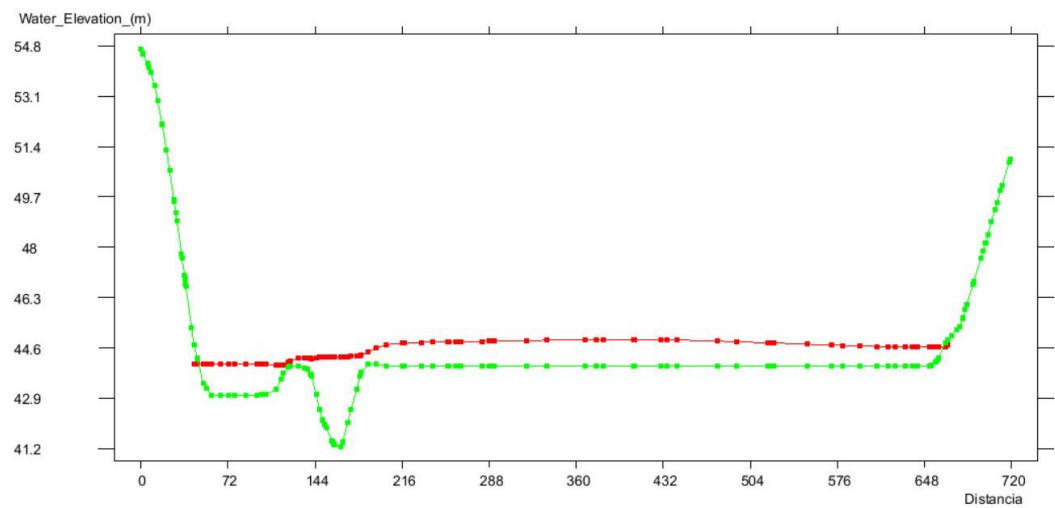


Figura 3-4 Perfil transversal 3

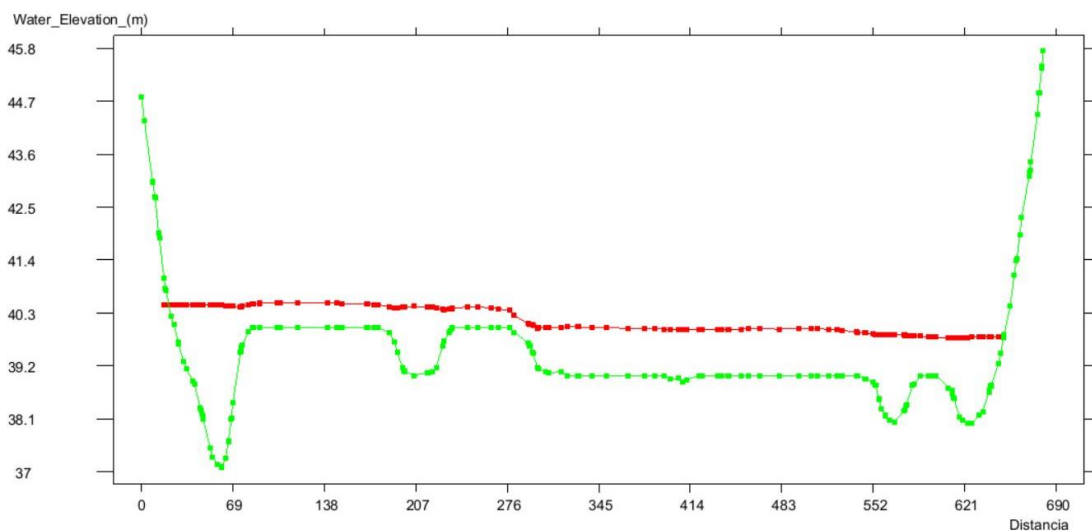


Figura 3-5 Perfil transversal 4

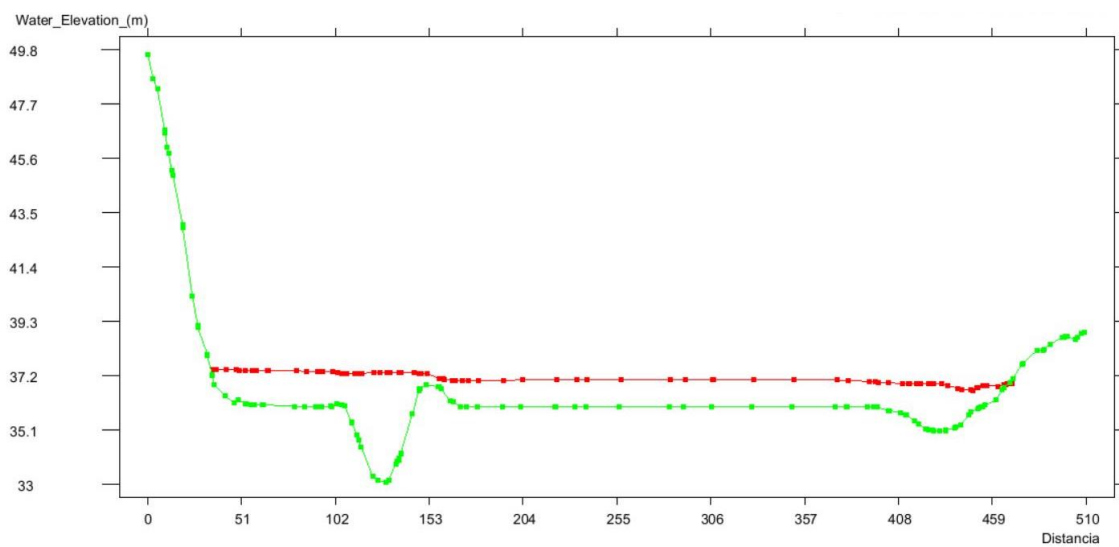


Figura 3-6 Perfil transversal 5

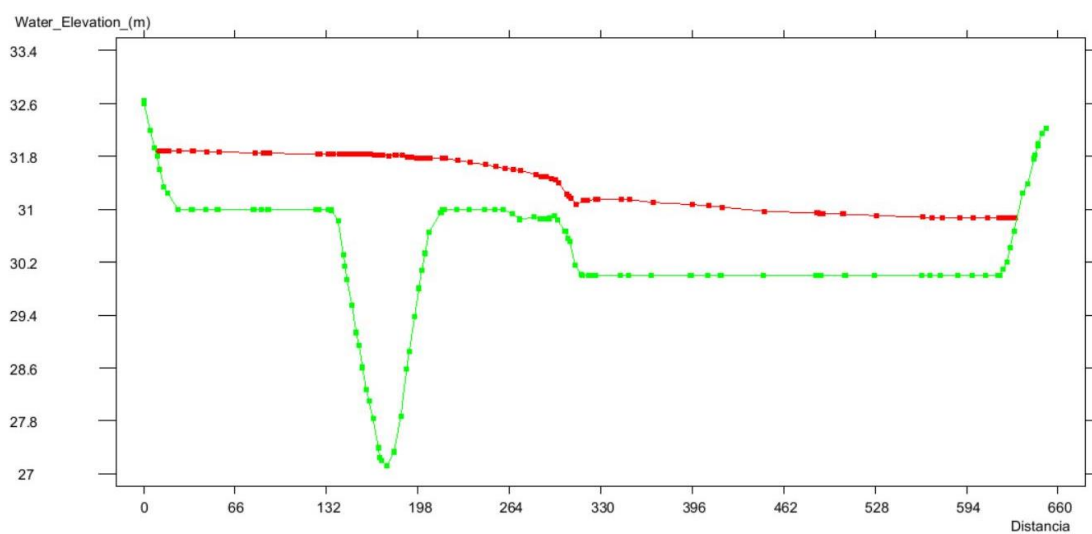


Figura 3-7 Perfil transversal 6

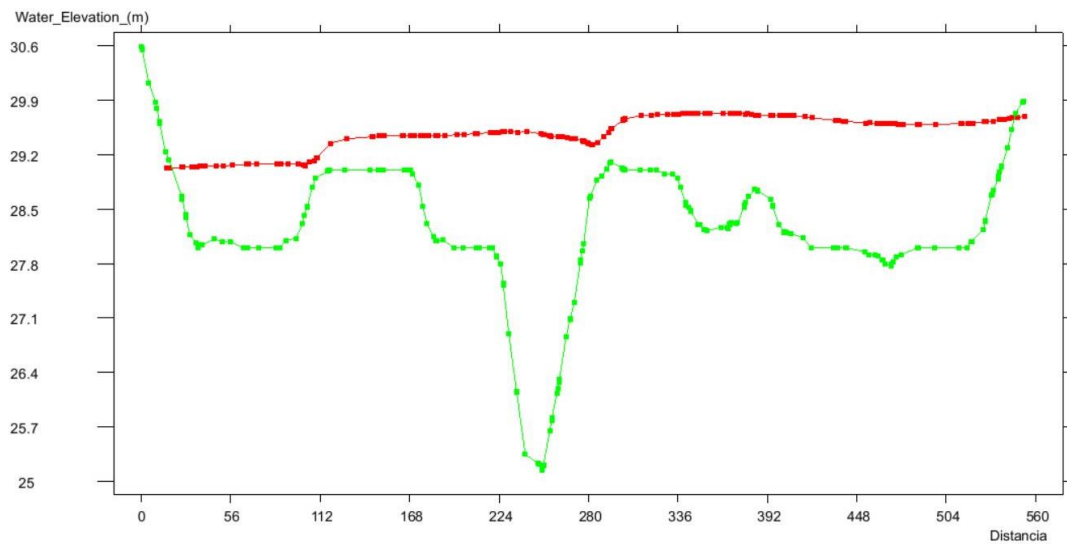


Figura 3-8 Perfil transversal 7

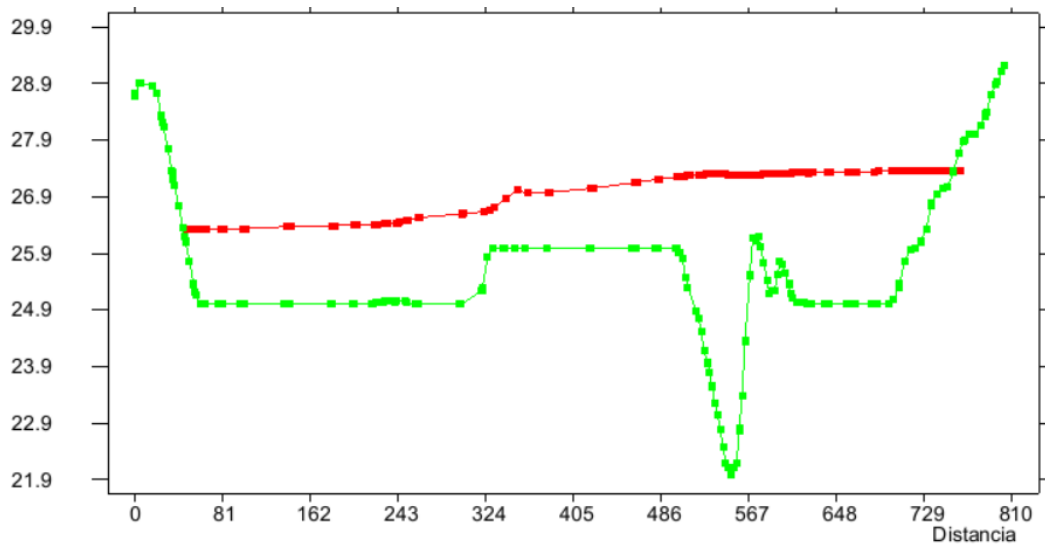


Figura 3-9 Perfil transversal 8

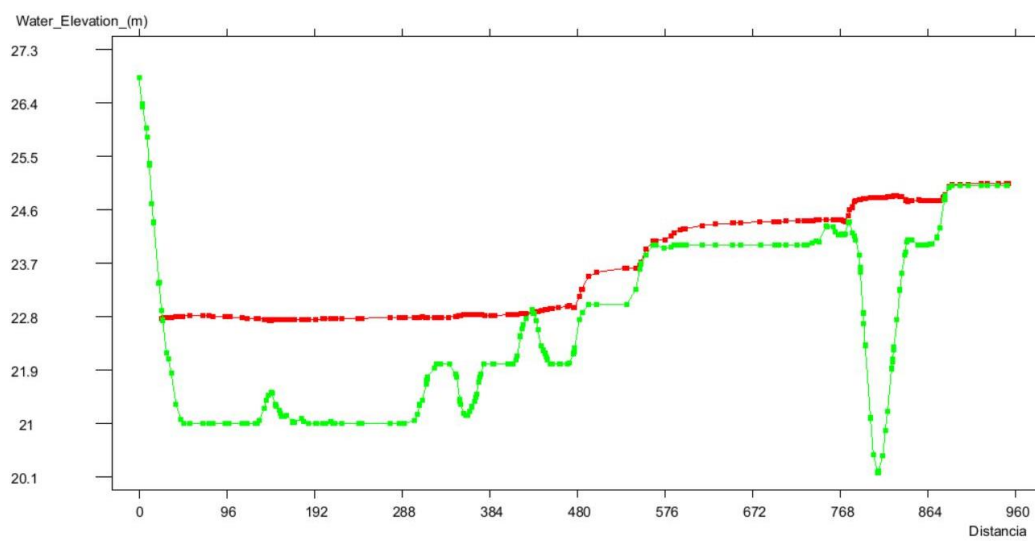


Figura 3-10 Perfil transversal 9

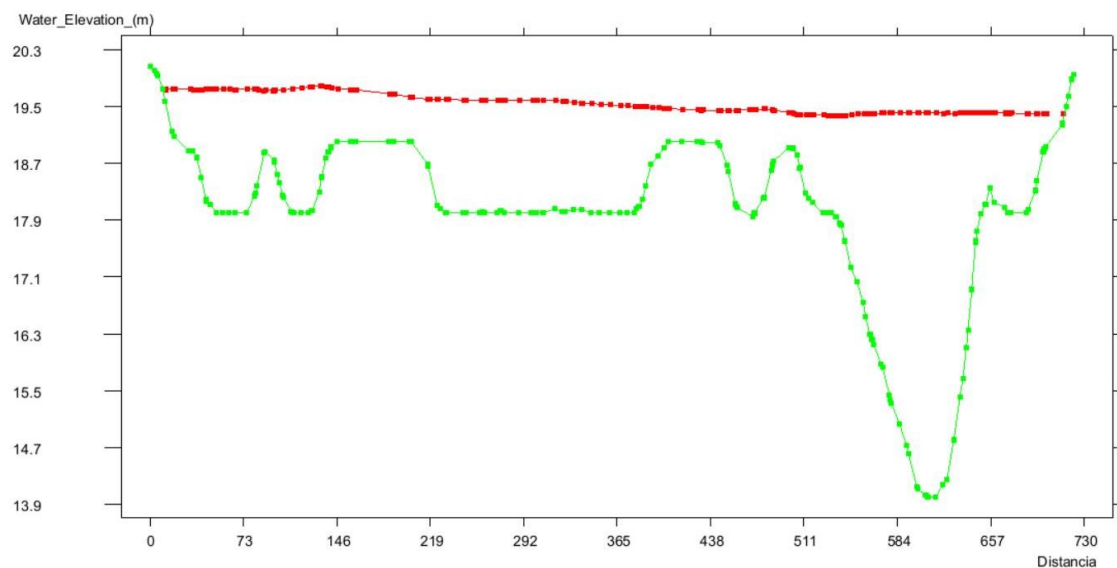


Figura 3-11 Perfil transversal 10

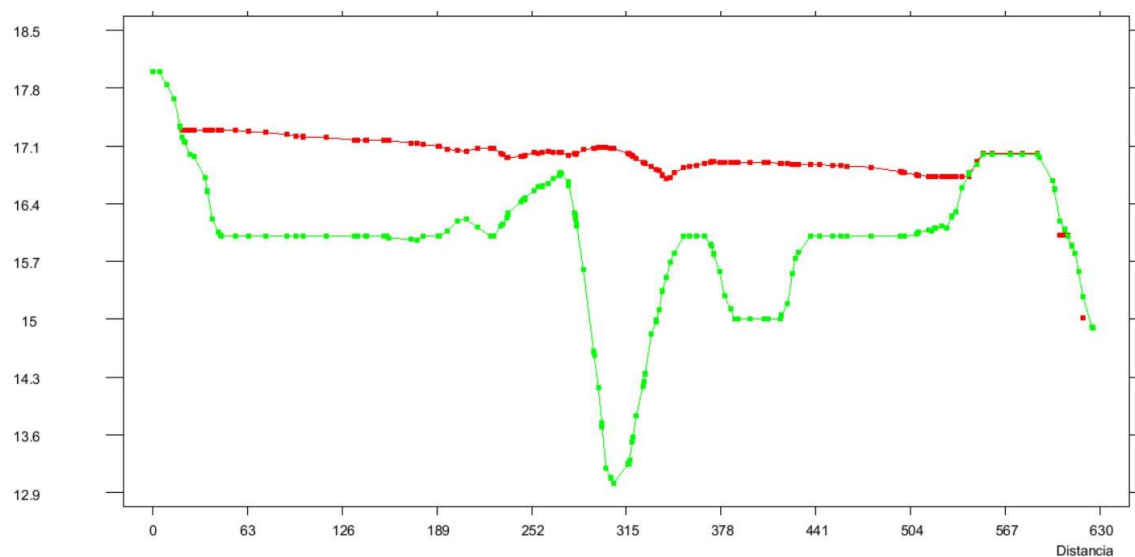


Figura 3-12 Perfil transversal 11

3.2. Comportamiento hidrodinámico del cauce con estructuras

Cabe destacar la influencia de los puentes sobre la hidrodinámica del curso fluvial, dado que produce una obstrucción generando un aumento de la lámina de agua, efecto que se extiende aguas arriba de dichos puentes. A continuación, se muestran una serie de imágenes en las que se puede observar el aumento del calado en torno a la ubicación de dichas infraestructuras.

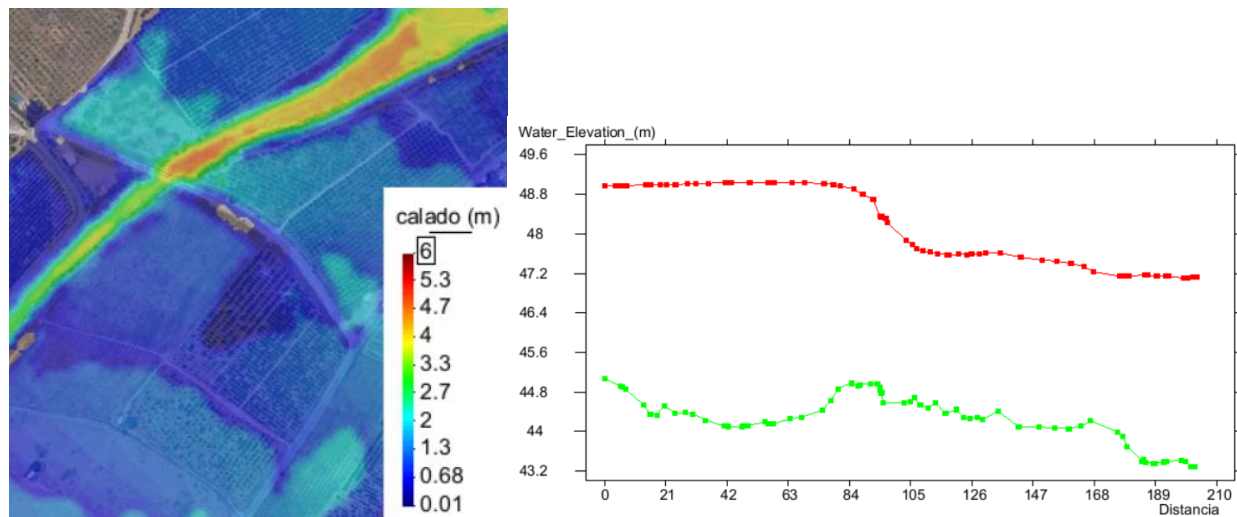


Figura 3-13 Efecto de la presencia del puente n° 1 en la hidrodinámica del cauce

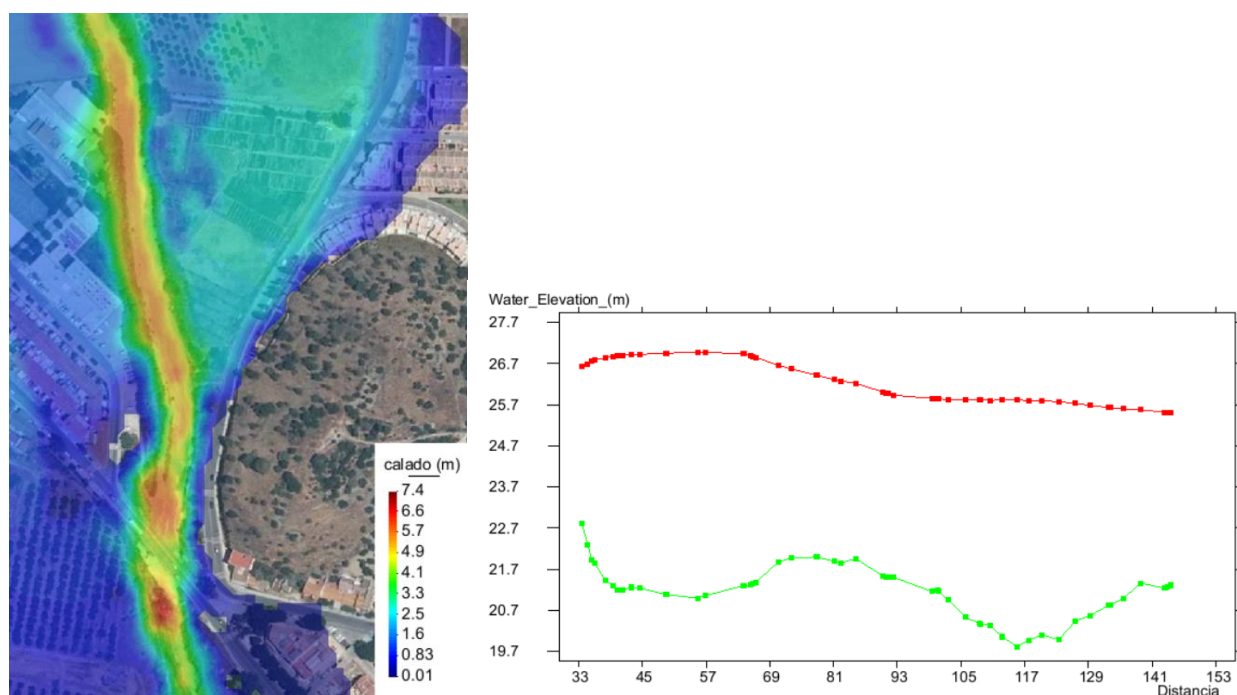


Figura 3-14 Efecto de la presencia del puente n° 2 en la hidrodinámica del cauce

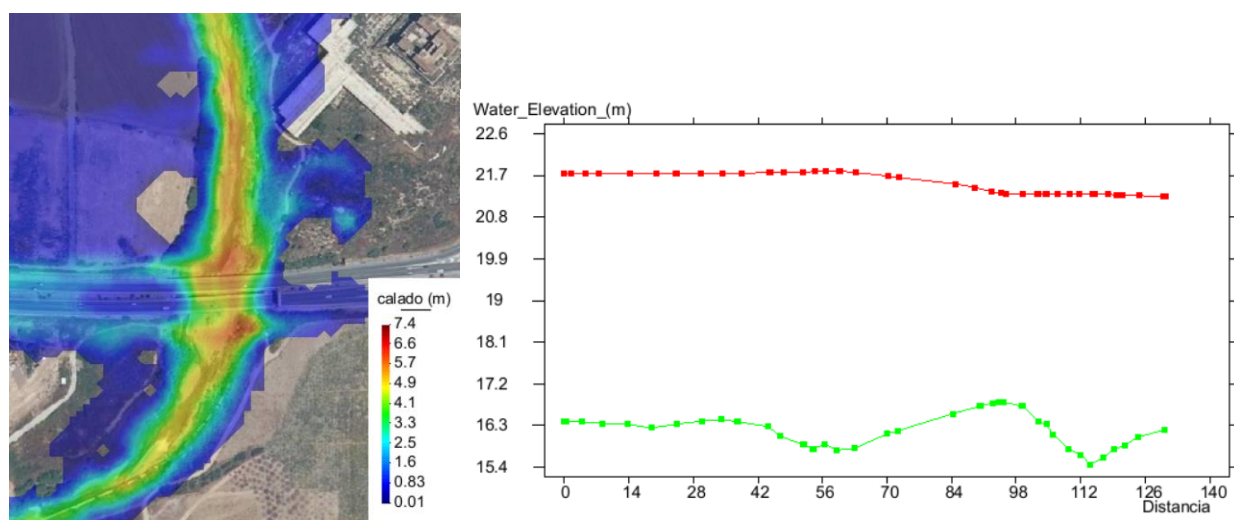


Figura 3-15 Efecto de la presencia del puente n° 3 en la hidrodinámica del cauce

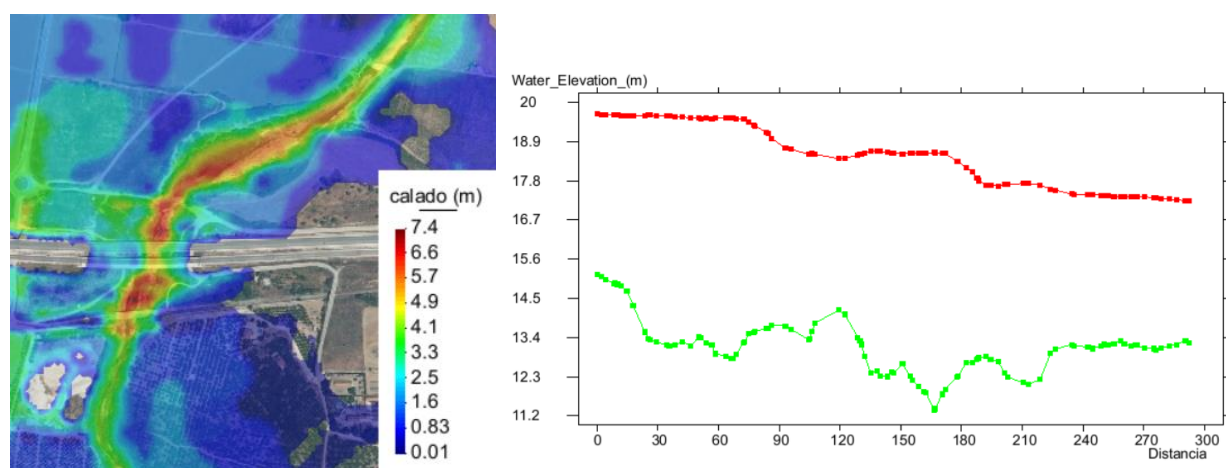


Figura 3-16 Efecto de la presencia del puente n° 4 y 5 en la hidrodinámica del cauce

