



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  
E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos  
Grado de Ingeniería de Obras Públicas



# Análisis del Posible Desvío de Caudales de Crecida desde el Río Girona hacia el Barranco de Portelles (T.M. Els Poblets, Alicante)

---

2. Estudios Hidráulicos y Análisis de Alternativas

**Autor: Micó Pérez, Guillermo**

**Tutor: Eguibar Galán, Miguel Ángel**  
**Cotutor: Albentosa Hernández, Eduardo**

**Junio, 2014**



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**  
**Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos**

Grado de Ingeniería de Obras Públicas  
TRABAJO FINAL DE GRADO

**Análisis del posible desvío de caudales de crecida desde el Río Girona hacia el Barranco de Portelles (T.M. de Els Poblets, Alicante). Estudios hidráulicos y análisis de alternativas.**

Autor: Micó Pérez, Guillermo  
Tutor: Eguibar Galán, Miguel Ángel

Fecha: Junio, 2014

**RESUMEN**

El presente trabajo académico tiene por objeto analizar la posibilidad de realizar un desvío de caudales desde el río Girona hacia el barranco de Portelles en una situación de crecida, con la finalidad de reducir los riesgos de inundación en los municipios por los que discurren sus tramos finales. Este documento se centrará en los estudios hidrológicos que permitan la obtención de los caudales de crecida para diferentes periodos de retorno en ambos cauces.

El río Girona tiene una longitud aproximada de 38 km, y paralelo a él en su tramo final, desemboca el Portelles, con una longitud de 6 km aproximadamente, atravesando municipios como El Verger, Ondara o Els Poblets y desembocando ambos en el mar Mediterráneo. Es en sus tramos finales (entre la AP-7 y la desembocadura) donde es necesaria la ubicación de un canal de desvío que comunique ambos cauces, transfiriendo caudales del Girona al Portelles en situación de crecida. Tal necesidad de actuación viene precedida de graves daños históricos y recientes provocados por desbordamientos incontrolados en los municipios colindantes del río Girona.

Para ello, partiendo de los resultados de caudales de crecida extraídos del Trabajo Final de Grado del alumno Carlos Téllez Preseguer, en el que, como complemento a este trabajo, se desarrolla un exhaustivo análisis hidrológico de la zona, se ha realizado un diagnóstico de la situación actual. Tal evaluación se ha efectuado mediante la implementación de un modelo hidráulico correspondiente a los tramos finales de ambos cauces en el *software* HEC-RAS. Dicho diagnóstico ha concluido en la necesidad de realizar actuaciones para mejorar el funcionamiento hidráulico del sistema y prevenir inundaciones. Diversas alternativas han sido analizadas, tales como modificación del río Girona, ampliando sus secciones más críticas, construcción de balsas que retengan parte del caudal de avenida o la construcción de un canal de desvío del Girona al Portelles con ampliación de ambos cauces; siendo, esta última, la solución finalmente adoptada.

Para finalizar, se realiza la valoración económica de la nueva actuación y la evaluación del funcionamiento del sistema para un periodo de retorno de 100 años.

**Palabras clave:** Estudio hidráulico, Modelación hidráulica, Río Girona, Barranco de Portelles, Diagnóstico de la situación actual, Análisis de alternativas, Canal de desvío

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**  
**Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos**

Grado de Ingeniería de Obras Públicas  
TREBALL FI DE GRAU

**Anàlisi de la possible desviació de cabals de de crecudada des del Riu Girona cap al Barranc de Portelles (T.M. d'Els Poblets, Alacant). Estudis hidràulics i anàlisi d'alternatives.**

Autor: Micó Pérez, Guillermo  
Tutor: Eguibar Galán, Miguel Ángel

Data: Juny, 2014

**RESUM**

El present treball acadèmic té com a objecte analitzar la possibilitat de realitzar una desviació de cabals des del riu Girona cap al barranc de Portelles en una situació de crecudada, amb la finalitat de reduir els riscos d'inundació en els municipis pels quals recorren els seus trams finals. Este document se centrará en els estudis hidrològics que permeten l'obtenció dels cabals de crecudada per a diferents períodes de retorn en ambdós cursos.

El riu Girona té una longitud aproximada de 38 km, i paral·lel a ell en el seu tram final, desemboca el Portelles, amb una longitud de 6 km aproximadament, travessant municipis com El Verger, Ondara o Els Poblets i desembocant ambdós en el mar Mediterrani. És en els seus trams finals (entre l'AP-7 i la desembocadura) on és necessària la ubicació d'un canal de desviació que comuniqui ambdós cursos, transferint cabals del Girona al Portelles en situació de crecudada. Tal necessitat d'actuació ve precedida de greus danys històrics i recents provocats per desbordaments incontrolats en els municipis limítrofs del riu Girona.

Per a això, partint dels resultats de cabals de crecudada extrets del Treball Final de Grau de l'alumne Carlos Téllez Preseguer, en el que, com a complement a este treball, es desenvolupa un exhaustiu anàlisi hidrològic de la zona, s'ha realitzat un diagnòstic de la situació actual. Tal avaluació s'ha efectuat per mitjà de la implementació d'un model hidràulic corresponent als trams finals d'ambdós cursos en el programa HEC-RAS. El diagnòstic ha conclòs en la necessitat de realitzar actuacions per a millorar el funcionament hidràulic del sistema i previndre inundacions. Diverses alternatives han sigut analitzades, com ara modificació del riu Girona, ampliant les seues seccions més crítiques, construcció de basses que retinguen part del cabal d'avinguda o la construcció d'un canal de desviació del Girona al Portelles amb ampliació d'ambdós cursos; sent, esta última, la solució finalment adoptada.

Per a finalitzar, es realitza la valoració econòmica de la nova actuació i l'avaluació del funcionament del sistema per a un període de retorn de 100 anys.

**Paraules clau:** Estudi hidràulic, Modelació hidràulica, Riu Girona, Barranc de Portelles, Diagnòstic de la situació actual, Anàlisi d'alternatives, Canal de desviació

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**  
**Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos**

Grado de Ingeniería de Obras Públicas  
FINAL DEGREE PROJECT

**Analysis of possible diversion of flood flows from the Girona River to the Portelles Canyon.  
(Municipality of Els Poblets, Alicante). Hydraulic studies and analysis of alternatives.**

Author: Micó Pérez, Guillermo  
Tutor: Eguibar Galán, Miguel Ángel

Date: June, 2014

**SUMMARY**

This academic work is to analyse the possibility of a diversion of flow from the river Girona to Portelles Canyon in a flood situation, in order to reduce the risk of flooding in the nearby municipalities in their final stretches. This paper will focus on hydrological studies to obtain the flood flows for different return periods in both rivers.

The Girona River has a length of 38 km, and parallel to it in its final stretch, the Portelles ends with a length of 6 km approximately, through towns like El Verger, Els Poblets and Ondara and leading both to the Mediterranean Sea. It is in its final stages (between the AP-7 and the sea) where the location of a diversion channel to communicate both rivers, transferring flows from Girona to Portelles in flood situation is necessary. This need for action is preceded by serious historical and recent damages caused by uncontrolled overflows in the neighbouring towns of Girona River.

Then, based on the results of flood flows extracted from the Final Degree Project of Carlos Téllez Preseguer student, wherein, in addition to this work, a comprehensive hydrological analysis of the area is developed, a diagnosis of current situation has been analysed. This evaluation was performed by implementing a corresponding end stretches models of both rivers in the HEC-RAS hydraulic modelling software. This diagnosis concludes on the needing of action to improve the hydraulic behaviour of the system and to prevent flooding situations. Various alternatives have been analysed, such as modification of the Girona River, extending its most critical sections, raft building to retain part of the flood flow or the construction of a diversion channel from Girona to Portelles with enlargement of both rivers; being, the latter option, the solution finally adopted.

Finally, an economical valuation of the new action and the evaluation of the hydraulic behaviour of the system for a return period of 100 years have been made.

**Keywords:** Hydraulic study, Hydraulic modelling, Girona River, Portelles Canyon, Diagnosis of the current situation, Analysis of alternatives, Diversion channel



CONTENIDO	
1. INTRODUCCIÓN .....	8
1.1. EMPLAZAMIENTO.....	8
1.2. DESCRIPCIÓN DE LOS CAUCES Y ANTECEDENTES .....	8
1.3. OBJETIVOS.....	9
1.4. PARTICIÓN DE DOCUMENTOS .....	9
2. ESTUDIO HIDROLÓGICO .....	9
3. ESTUDIO HIDRÁULICO .....	10
3.1 INTRODUCCIÓN.....	10
3.1.1 MÉTODO HIDRÁULICO A EMPLEAR.....	10
3.1.2 INFORMACIÓN UTILIZADA .....	12
3.2 CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA .....	12
3.2.1 DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	12
3.2.2 CAUDALES EMPLEADOS .....	12
3.3 SITUACIÓN ACTUAL.....	13
3.3.1 NORMATIVA PATRICOVA .....	13
3.3.2 RÍO GIRONA.....	14
3.3.2.1 FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO EN LOS PUENTES.....	15
3.3.2.2 PERFIL LONGITUDINAL RÍO GIRONA .....	20
3.3.3 BARRANCO PORTELLES .....	21
3.3.3.1 FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO EN LOS PUENTES.....	22
3.3.3.2 PERFIL LONGITUDINAL BARRANCO PORTELLES .....	24
3.4 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.....	25
3.4.1 Balsa de Regulación.....	25
3.4.2 MODIFICACIÓN DEL RÍO GIRONA.....	26
3.4.3 NUEVA Balsa de Regulación con Modificación del Río Girona.....	27
3.4.4 CANAL DE DESVIO CON MODIFICACIÓN DEL RÍO GIRONA .....	27
3.5 ELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN A DESARROLLAR .....	28
3.5.1 MODIFICACIÓN DEL RÍO GIRONA.....	29
3.5.2 CANAL DE DESVÍO .....	33
3.5.2.1 DEFINICIÓN GEOMÉTRICA DE LA "SECCIÓN TIPO" .....	33
3.5.2.1.1 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO .....	33
3.5.2.1.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS FUNCIONAL.....	34
3.5.2.2 DISEÑO DE LOS REVESTIMIENTOS .....	34
3.5.2.2.1 DIMENSIONADO DEL LECHO CON ESCOLLERADO .....	34
3.5.2.2.2 PREDIMENSIONAMIENTO DEL REVESTIMIENTO DE MÁRGENES CON GEOCELDAS.....	37
3.5.3 AMPLIACIÓN DEL BARRANCO DE PORTELLES.....	38
3.5.3.1 MODIFICACIÓN DE SECCIONES TRANSVERSALES.....	38
3.5.3.1.1 ESTIMACIÓN DE LA RUGOSIDAD .....	38
3.5.3.1.2 DISEÑO SECCIÓN TRANSVERSAL.....	39
3.5.3.2 MODIFICACIÓN DE LOS PUENTES .....	40
3.5.3.3 PERFIL LONGITUDINAL RESULTANTE DEL BARRANCO DE PORTELLES AMPLIADO .....	44
3.5.4 HIDROGRAMAS RESULTANTES .....	45
3.5.5 RESULTADOS NÚMEROS DEL MODELO .....	46
4. VALORACIÓN ECONÓMICA .....	49
5. CONCLUSIONES .....	50
6. REFERENCIAS.....	50



## 1. INTRODUCCIÓN

A continuación se presenta el documento correspondiente al Trabajo Final de Grado presentado por el alumno Guillermo Micó Pérez con la colaboración de Carlos Téllez Preseguer, ambos estudiantes del Grado en Ingeniería de Obras Públicas de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universitat Politècnica de València.

El documento hará referencia a lo aprendido durante todo el Grado, enfocándose especialmente en materias relacionadas con la hidráulica y la hidrología.

Se presentan, por lo tanto, los documentos correspondientes a un estudio de inundaciones, estando éstos conformados, principalmente, por un estudio hidrológico y su posterior análisis hidráulico.

### 1.1. EMPLAZAMIENTO



Figura 1.1. Conjunto de imágenes de la zona objeto de estudio. Fuente: Google Earth

La zona de trabajo se encuentra dentro de la Comunidad Valenciana, al norte de la provincia de Alicante, en las cercanías de las poblaciones de Els Poblets, El Verger y Ondara, además de otros pueblos de tamaño más reducido colindantes a los cauces. El estudio hidrológico, por una parte, abordará por completo las cuencas de los ríos Girona y Portelles, mientras que el estudio hidráulico estará enfocado en el análisis de sus tramos finales.

### 1.2. DESCRIPCIÓN DE LOS CAUCES Y ANTECEDENTES

El río Girona tiene su recorrido en su totalidad dentro de la provincia de Alicante, pasando en los alrededores de términos municipales como Els Poblets, El Verger, Ondara, Benimeli, Pego, Beniarbeig, Benidoleig, Orba o Sanet y Negrals. Nace en el barranco de Fontblanca, dentro del término municipal de Valle de Alcalá. Su recorrido transcurre con posterioridad por las cercanías de la Sierra de la Carrasca, lugar donde recibe aportaciones provenientes de reducidos manantiales. Seguidamente entra en un barranco de formación caliza en donde sufre infiltraciones de caudales, desapareciendo éstos, prácticamente, durante la totalidad del año.

Al atravesar las poblaciones citadas en primera ocasión, desemboca en el mar Mediterráneo con una anchura aproximada de 30 metros, haciendo frontera entre los municipios de Els Poblets y Denia, en una zona conocida como punta de la Almadraba.

En los últimos años, durante diversos episodios de tormenta, se han generado inundaciones de una elevada gravedad en el tramo final del río, causando graves daños a la población de los municipios El Verger y Els Poblets.

En septiembre de 1919 las inundaciones afectaron al municipio de Beniarbeig, con socavaciones en los cimientos de algunas viviendas y alturas de 5 metros de agua. Las inundaciones se repitieron con posterioridad en 1941 y 1985, con elevado riesgo poblacional.

Una de sus peores inundaciones ocurrió recientemente en octubre de 2007, con lluvias superiores a los 400 mm, que provocaron desbordamientos incontrolados a lo largo de todo el tramo final del río, alcanzando niveles de agua superiores a cualquier inundación precedente. Tal crecida destruyó el puente de unión entre las localidades de Beniarbeig y Ondara, provocó el fallecimiento de una anciana, ahogada en su casa de El Verger, y el derrumbamiento de un edificio de unos 10 metros de altura en el mismo municipio, donde se alcanzaron cotas de hasta 2 metros de agua en las calles.

En consecuencia, ante tal situación, se encuentra necesaria la realización de estudios hidrológico e hidráulico, permitiendo caracterizar la situación actual del sistema y evaluando, a su vez, la posibilidad de implementar soluciones que puedan reducir los daños causados por inundaciones en su tramo final.

El barranco de Portelles, por su parte, tiene su nacimiento en la Sierra de Segària, en una zona conocida como Las Umbrías de Segària, con altitudes en torno a los 450 msnm. Al salir de la sierra, discurre por el municipio de Els Poblets de forma paralela al tramo final del río Girona, desembocando, de la misma forma, en el mar Mediterráneo.

Como será descrito en el apartado de Hidrología, la cuenca de este cauce es notablemente inferior a la del Girona, por lo que las crecidas no suelen provocar graves inundaciones que puedan causar daños en los lugares por los que discurre su, a su vez, breve recorrido.

### 1.3. OBJETIVOS

A tenor de lo anteriormente mencionado, este estudio tiene por objeto el análisis de un posible desvío de caudales desde el río Girona hacia el barranco de Portelles, con la finalidad de que éste último pueda aliviar parte de las crecidas habituales ocurridas en el Girona, reduciendo su caudal punta. De esta forma, los riesgos y episodios de inundación quedarán reducidos en los términos municipales colindantes a la actuación.

Para ello se realizará un exhaustivo análisis hidrológico de la zona objeto de estudio, sobre las cuencas del río Girona y el barranco de Portelles. Con ello se obtendrán los caudales correspondientes a diferentes periodos de retorno con los que elaborará el correspondiente estudio hidráulico. Este estudio consistirá en un análisis de la situación actual de ambos cauces, seleccionando aquellas secciones críticas que marcan un inicio de desbordamiento dentro de unos tramos definidos. Finalmente se analizarán un número determinado de soluciones concluyendo en la necesidad de desviar caudales mediante la implantación de un canal de derivación

La comparación entre los diferentes hidrogramas se realizará en el punto de desembocadura de ambos cauces, de forma que se valore orientativamente la reducción del pico del hidrograma del Girona.

### 1.4. PARTICIÓN DE DOCUMENTOS

El presente estudio ha sido dividido en dos documentos, estando el primero de ellos enfocado especialmente en el estudio hidrológico exhaustivo de la zona y el segundo centrado en el estudio hidráulico de la situación actual, el análisis de las alternativas hidráulicas posibles y la justificación de la solución final a adoptar que permita subsanar los graves episodios de inundación provocados. La asignación de cada documento a los dos alumnos participantes en el presente estudio ha sido la siguiente:

Téllez Preseguer, Carlos: Estudio Hidrológico (apartado 2)

Micó Pérez, Guillermo: Estudio Hidráulico (apartado 3)

## 2. ESTUDIO HIDROLÓGICO

En este apartado se presentan resumidamente los trabajos realizados en la fase de desarrollo y aplicación de un modelo hidrológico de crecidas para el sistema hidrológico constituido por el río Girona y el Barranco de Portelles, orientado a la estimación máximo probable de los hidrogramas esperados en la desembocadura al mar Mediterráneo de ambos cauces.

En el presente modelo se ha hecho uso de toda la información hidrológica disponible correspondiente a series de pluviometría extrema, así como la información geomorfológica del sistema Girona-Portelles convenientemente procesada mediante técnicas SIG.

**Este apartado correspondiente al estudio hidrológico se encuentra ampliamente desarrollado en el Documento correspondiente al Trabajo Final de Grado presentado por el alumno Carlos Téllez Preseguer (apartado 2. ESTUDIO HIDROLÓGICO).**

### 3. ESTUDIO HIDRÁULICO

A continuación se desarrollan los contenidos correspondientes al estudio hidráulico de la zona objeto de estudio, conformada por los tramos finales del río Girona y el barranco de Portelles.

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

En primer lugar, y como consecuencia de los resultados ampliados y modificados que arroja el estudio hidrológico presentado en el apartado anterior, se adapta el estudio preliminar en modelo unidimensional cuya finalidad es, por una parte, tener una primera aproximación de la cota de la lámina de agua en el río Girona entre la nacional N-332 y la desembocadura al Mar Mediterráneo.

El objetivo de este estudio es analizar la respuesta hidráulica del río Girona a su paso por los municipios de Els Poblets y El Vergel, con el fin de diagnosticar y caracterizar los desbordamientos procedentes del mismo que se producen en el tramo de estudio. Dicha caracterización consiste en identificar, por una parte, los puntos por donde se produce el desbordamiento y por otra, garantizar una solución capaz de soportar un Riesgo 4 según el Plan de Acción Territorial de la Comunidad Valenciana (PATRICOVA).

*Figura 3.1*

#### 3.1.1 MÉTODO HIDRÁULICO A EMPLEAR

En cuanto a las entradas hidrológicas, se han considerado los hidrogramas completos obtenidos en el apartado anterior, y la modelación del estudio hidráulico se efectuará con el modelo matemático HEC-RAS River Analysis System creado por el U.S. Army Corps of Engineers del Hydrologic Engineering Center, que es el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos. En el presente estudio se hace uso de la versión más reciente del citado software, conocida por el número 4.1.0.

El HEC-RAS 4.1.0 está diseñado para el desarrollo de un flujo unidireccional en cauces naturales o canales construidos, tanto en régimen permanente como transitorio. La hipótesis del flujo unidireccional es asumible en cauces naturales en los que la dirección del flujo sigue la dirección del cauce y no es perpendicular a ella.

El sistema HEC-RAS es un paquete informático de programas de análisis hidráulico, que se compone de una interfaz gráfica que permite al usuario operar con el sistema, así como el tratamiento de forma separada de los diferentes componentes para el análisis hidráulico (flujo permanente o transitorio) utilizando los mismos datos geométricos del cauce, capacidad de almacenamiento y manejo de datos, y facilidades tanto gráficas como de importación y exportación de datos. Además, el sistema contiene varias opciones para el diseño hidráulico que pueden ser utilizadas una vez se ha desarrollado el cálculo de los perfiles de superficie de agua.

El cálculo de los perfiles de la superficie de agua se basa en la resolución de dos ecuaciones, en función de que el flujo sea uniforme o rápidamente variado, es decir:

- a) Para flujo gradualmente variado se resuelve la ecuación de la energía en su forma unidimensional, que tiene en cuenta las pérdidas de energía debidas a la fricción (mediante la fórmula de Manning) y las pérdidas localizadas en contracciones y expansiones (a través de un coeficiente multiplicador del cambio en la altura de velocidad).

b) Para flujo rápidamente variado se resuelve la ecuación de cantidad de movimiento. Este tipo de flujo incluye los cálculos de flujo mixto (por ejemplo, en resaltos hidráulicos), hidráulica de puentes, y evaluación de perfiles en confluencias fluviales. De esta forma se pueden tener en cuenta el efecto que producen en el flujo obstrucciones como puentes, alcantarillas, vertederos y otras estructuras.

En el sistema HEC-RAS se ha de introducir la geometría del cauce que puede ser creada en el mismo sistema o importada desde ArcView mediante la extensión HEC-GeoRAS, a la que habrá que introducir todas las estructuras que puedan suponer una obstrucción al flujo. Posteriormente, se permite el desarrollo de las características del flujo según se vaya a analizar mediante flujo permanente o transitorio, mediante los caudales y las condiciones de contorno del tramo a analizar.

Finalmente, para una determinada geometría del cauce y unas condiciones del flujo se especifica el tipo de flujo: subcrítico, supercrítico o mixto, y así es posible ejecutar el sistema y obtener los perfiles para la superficie de agua.

El procedimiento de cálculo de los perfiles de la superficie de agua se lleva a cabo mediante la aplicación de la ecuación de la energía de forma iterativa (método standard step) entre una sección transversal y la siguiente.

La energía por unidad de peso disponible en cada punto del sistema fluvial es la siguiente:

$$h = Z + \frac{P}{\gamma} + \alpha \frac{v^2}{2g}$$

De tal forma que:

$$Z + \frac{P}{\gamma} = Zl = Zp + d \cos \theta = Zp + Y \cos^2 \theta$$

Por tanto la ecuación de la energía entre dos secciones transversales consecutivas se formula de la siguiente manera:

$$h = Zp + Y \cos^2 \theta + \alpha v^2 / 2g$$

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 v_2^2 / 2g = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 v_1^2 / 2g + h_e$$

siendo,

$Y_1, Y_2$	calado en las secciones transversales;
$Z_1, Z_2$	cota del lecho del cauce respecto al nivel de referencia;
$V_1, V_2$	velocidades medias (caudal / área de flujo);
$\alpha_1, \alpha_2$	coeficientes de velocidad;
$g$	aceleración de la gravedad;
$h_e$	pérdidas de energía entre ambas secciones.

Este modelo hidráulico en HEC-RAS fue proporcionado por el Departamento de Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia, y posteriormente verificado en campo.

Dicho modelo se realizó atendiendo al levantamiento topográfico de 121 secciones del cauce mas 8 puentes, e interpolando entre cada una de ellas, para el río Girona. Y en 39 secciones de cauce y 4 puentes para el barranco del Portelles.

### 3.1.2 INFORMACIÓN UTILIZADA

La información básica utilizada para la elaboración del estudio hidráulico ha sido la siguiente:

- Modelación hidráulica del HEC-RAS realizada por Miguel Ángel Eguibar en 2009.
- Información cartográfica procedente del Visor Web de Cartografía de la Comunidad Valenciana.
- Cartografía base de referencia correspondiente a la zona de estudio, extraída del visor Google Maps.
- Ortofoto a escala 1:5.000 del año 2012 suministrada por el Instituto Cartográfico Valenciano, Terr@sit.

### 3.2 CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA

En este apartado se desarrolla la forma en la que el sistema ha sido caracterizado geométricamente, delimitando la zona objeto de estudio y los caudales empleados para realizar las simulaciones hidráulicas

#### 3.2.1 DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El tramo analizado hidráulicamente tiene una longitud aproximada de 3.700 metros, con una diferencia de cota entre ambos de 14.50 metros.

Para definir la extensión del modelo, hacia aguas arriba y hacia aguas abajo de la zona de estudio, se identificaron:

- Secciones donde puedan establecerse con relativa facilidad condiciones de contorno hidráulicas, tanto en el extremo de aguas arriba del modelo como en el de aguas abajo.
- Elementos singulares que puedan afectar al flujo (pasos fundamentalmente).

Unos 2604 metros aguas arriba de la desembocadura, una estructura de paso cruza el río Girona produciendo un estrangulamiento del cauce que lleva a la sección mas limitante del modelo, en la que se generan desbordamientos con periodos de retorno entre 5 y 10 años, cuando el estudio tiene que asegurar la capacidad para un T= 100 años. Es por lo que esta sección debe de verse reflejada en el modelo, y se establece como condición de contorno justo aguas abajo del cruce con la Autopista del Mediterráneo.

Junto a la desembocadura del río Girona se ha desarrollado durante las últimas décadas un importante crecimiento urbanístico, lo cual esto supone para la evacuación del agua de lluvia al mar un obstáculo. La consecuencia de todo esto supone un alto riesgo de inundación en el término municipal de Els Poblets, según indica el PATRICOVA, como se representará más adelante.

La condición de contorno aguas abajo se establece a 33 metros del mar, asegurando así que la lámina de agua alcance al calado normal.

En el caso del barranco del Portelles se han empleado las mismas condiciones de contorno, siendo para aguas arriba el cruce con la Autopista del Mediterráneo y aguas abajo a 20 metros de la desembocadura al mar.

#### 3.2.2 CAUDALES EMPLEADOS

Para realizar el diagnóstico del estado actual se han efectuado las simulaciones que corresponden a los caudales de 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años de período de retorno. Según los resultados del estudio hidrológico, dichos caudales son los que se recogen en la tabla siguiente:

- Río Girona

T (años)	5	10	25	50	100	200	500
Q (m <sup>3</sup> /s)	47.70	112.20	296.81	349.60	486.10	644.30	873.70

Tabla 3.1. Caudales pico resultado del estudio hidrológico

- Barranco de Portelles

T (años)	5	10	25	50	100	200	500
Q (m <sup>3</sup> /s)	9.90	24.00	52.10	80.20	113.60	152.80	212.80

Tabla 3.2. Caudales pico resultado del estudio hidrológico

### 3.3 SITUACIÓN ACTUAL

Tras la ejecución de los caudales en el modelo hidráulico HEC-RAS, actualmente el río Girona en su sección más crítica, a 2604 metros de la desembocadura, su capacidad es de  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ , caudal correspondiente a un periodo de retorno entre 5 y 10 años.

El periodo de retorno representa la probabilidad de ocurrencia de un evento hidrológico. El periodo de retorno T, expresado en años, se define como el número promedio de años en que un evento puede ser igualado o superado.

La probabilidad de que un evento con un periodo de retorno T ocurra en cualquier año, es igual a:

$$probabilidad = \frac{1}{T}$$

En el siguiente estudio se asegurará la capacidad del río Girona para una tormenta con una probabilidad de ocurrencia de 0.01 a lo largo de un año cualquiera, equivalente a  $486.1 \text{ m}^3/\text{s}$ , siendo este el caudal provocado por una tormenta de 100 años de periodo de retorno.

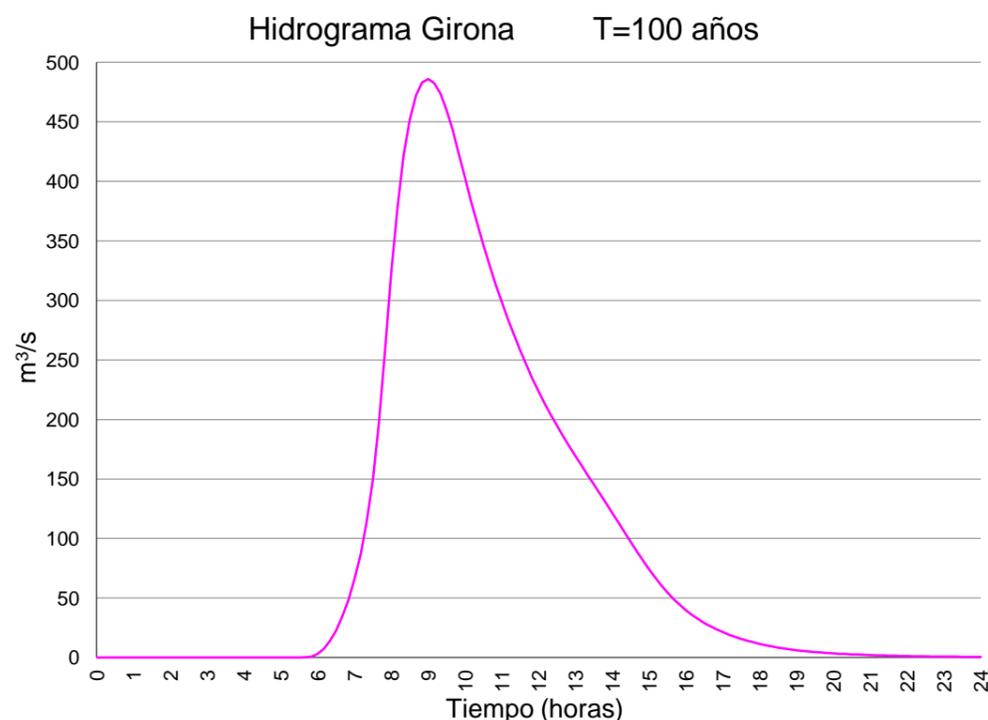


Gráfico 3.1 Hidrograma del río Girona para T = 100 años

### 3.3.1 NORMATIVA PATRICOVA

El objeto fundamental del Plan de Acción Territorial de la Comunidad Valenciana es la adecuación de la cartografía de riesgos, a la determinada en la actualidad por metodologías hidrológicas-hidráulicas y geomorfológicas que cuentan con un mayor alcance tecnológico y de conocimiento del riesgo, así como la integración del Plan al nuevo marco legislativo que ha surgido con posterioridad a la entrada en vigor del PATRICOVA.

Este Plan establece una Peligrosidad de Inundación en el Término Municipal de Els Poblets entre un Nivel 2 y un Nivel 4, en la zona próxima a la desembocadura.

- Nivel 2: Frecuencia media (100 años) y calado alto (> 0.8 m).
- Nivel 3: Frecuencia alta (25 años) y calado bajo (< 0.8 m).
- Nivel 4: Frecuencia media (100 años) y calado bajo (< 0.8 m).

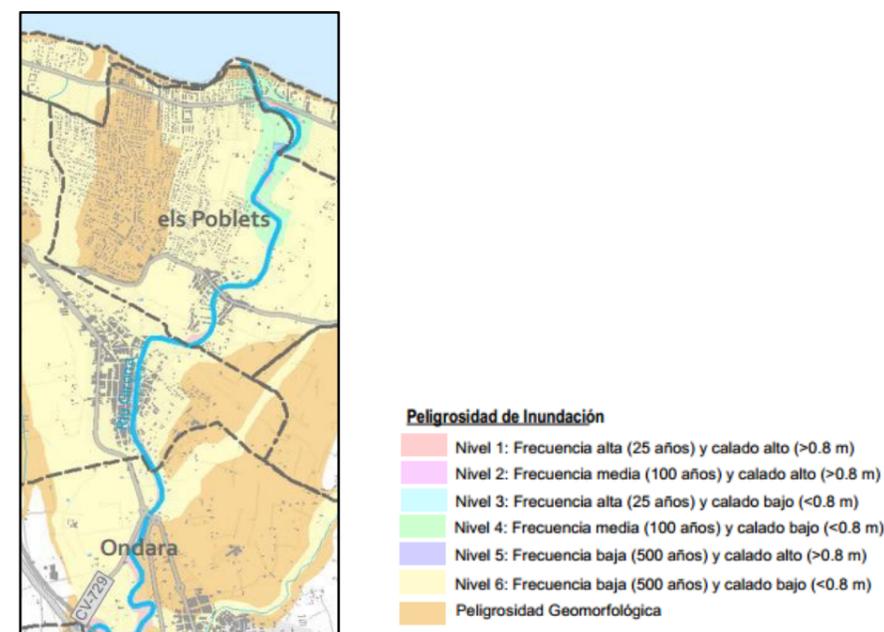


Figura 3.2 Obtenida del plano de Zonificación Peligrosidad de Inundación y Clasificación suelo realizado por el PATRICOVA

Atendiendo la solución a cubrir un Riesgo 4, la Normativa del PATRICOVA establece seis niveles de riesgos de inundación, que ordenados de mayor a menor son:

- Riesgo 1. Cuando la probabilidad de que en un año cualquiera se sufra, al menos, una inundación es superior a 0.04 (equivalente a un periodo de retorno inferior a 25 años), con un calado máximo generalizado alcanzado por el agua a ochenta centímetros (80 cm).
- Riesgo 2. Cuando la probabilidad de que en un año cualquiera se sufra, al menos, una inundación se encuentra entre 0.04 y 0.01 (equivalente a un periodo de retorno entre 25 y 100 años), con un calado máximo generalizado alcanzado por el agua superior a ochenta centímetros (80 cm).
- Riesgo 3. Cuando la probabilidad de que en un año cualquiera se sufra, al menos, una inundación superior a 0.04 (equivalente a un periodo de retorno inferior a 25 años), con un calado máximo generalizado alcanzado por el agua inferior a ochenta centímetros (80 cm).
- Riesgo 4. Cuando la probabilidad de que en un año cualquiera se sufra, al menos, una inundación se encuentra entre 0.04 y 0.01 (equivalente en un periodo de retorno entre 25 y 100 años), con un calado máximo generalizado alcanzado por el agua inferior a ochenta centímetros (80 cm).
- Riesgo 5. Cuando la probabilidad de que en un año cualquiera se sufra, al menos, una inundación se encuentra entre 0.01 y 0.002 (equivalente a un periodo de retorno entre 100 y 500 años), con un calado máximo generalizado alcanzado por el agua superior a ochenta centímetros (80 cm).
- Riesgo 6. Cuando la probabilidad de que en un año cualquiera se sufra, al menos, una inundación se encuentra entre 0.01 y 0.002 (equivalente a un periodo de retorno entre 100 y 500 años), con un calado máximo generalizado alcanzado por el agua inferior a ochenta centímetros (80 cm).

Figura 3.3

### 3.3.2 RÍO GIRONA

De los resultados obtenidos con el modelo hidráulico del Río Girona se obtiene la siguiente capacidad según tramos.

RÍO GIRONA			
TRAMO	CAUDAL	PK	T (años)
0 metros y 290 metros (Puente C/Les Marines)	150 m <sup>3</sup> /s	0+72.951	10 – 25
290 metros y 650 metros	191 m <sup>3</sup> /s	0+530.807	10 – 25
650 metros y 870 metros	240 m <sup>3</sup> /s	0+769.941	10 – 25
870 metros y 1250 metros	575 m <sup>3</sup> /s	0+882.481	100 – 200
1250 metros y 1500 metros	388 m <sup>3</sup> /s	1+339.06	50 – 100
1500 metros y 2170 metros (Puente peatonal)	350m <sup>3</sup> /s	1+594.38	50 – 100
2170 metros y 2367 metros (Puente CV- 723)	385 m <sup>3</sup> /s	2+299.99	50 – 100
2367 metros y 2604 metros (Puente C/Girona)	191 m <sup>3</sup> /s	2+536.67	10 – 25

RÍO GIRONA			
TRAMO	CAUDAL	PK	T (años)
Capacidad reducida	60 $m^3/s$	2+604 BR	5 – 10
2604 metros y 2950 metros	162 $m^3/s$	2+712.836	10 – 25
2950 metros y 3400 metros	215 $m^3/s$	3+213 BR	10 – 25
3400 metros y 3627 metros (Puente C/del Forn)	400 $m^3/s$	3+478.62	50 – 100
Cap. Reducida en entorno	211 $m^3/s$	3+627 BR	10 – 25
3627 metros y 3850 metros	453 $m^3/s$	3+638.119	50 – 100
3850 metros y 4612 metros (Puente N-332a)	775 $m^3/s$	4+522.13	200 – 500
4612 metros y 4800 metros	620 $m^3/s$	4+615	100 – 200
4800 metros y 6000 metros	420 $m^3/s$	5+326.971	50 – 100
6000 metros y AP-7	275 $m^3/s$	6+073.39	10 – 25

Tabla 3.3. Caudales por tramo en el río Girona

Las capacidades por tramos se han obtenido analizando el punto de desbordamiento en tramos de comportamiento más o menos homogéneo.

### 3.3.2.1 FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO EN LOS PUENTES

Debido a la multitud de secciones que tiene el modelo, se representarán únicamente las secciones transversales de los puentes, considerándolos como los puntos más susceptibles a sufrir desbordamientos.

Los puentes pertenecientes a los tramos de estudio, tanto los del río Girona como los del barranco de Portelles, quedan identificados en la siguiente ortofoto:

Figura 3.4

El resultado de la lámina de agua en dichos puntos ordenado de aguas abajo a aguas arriba queda de la siguiente manera:

PUENTE C/ LES MARINES

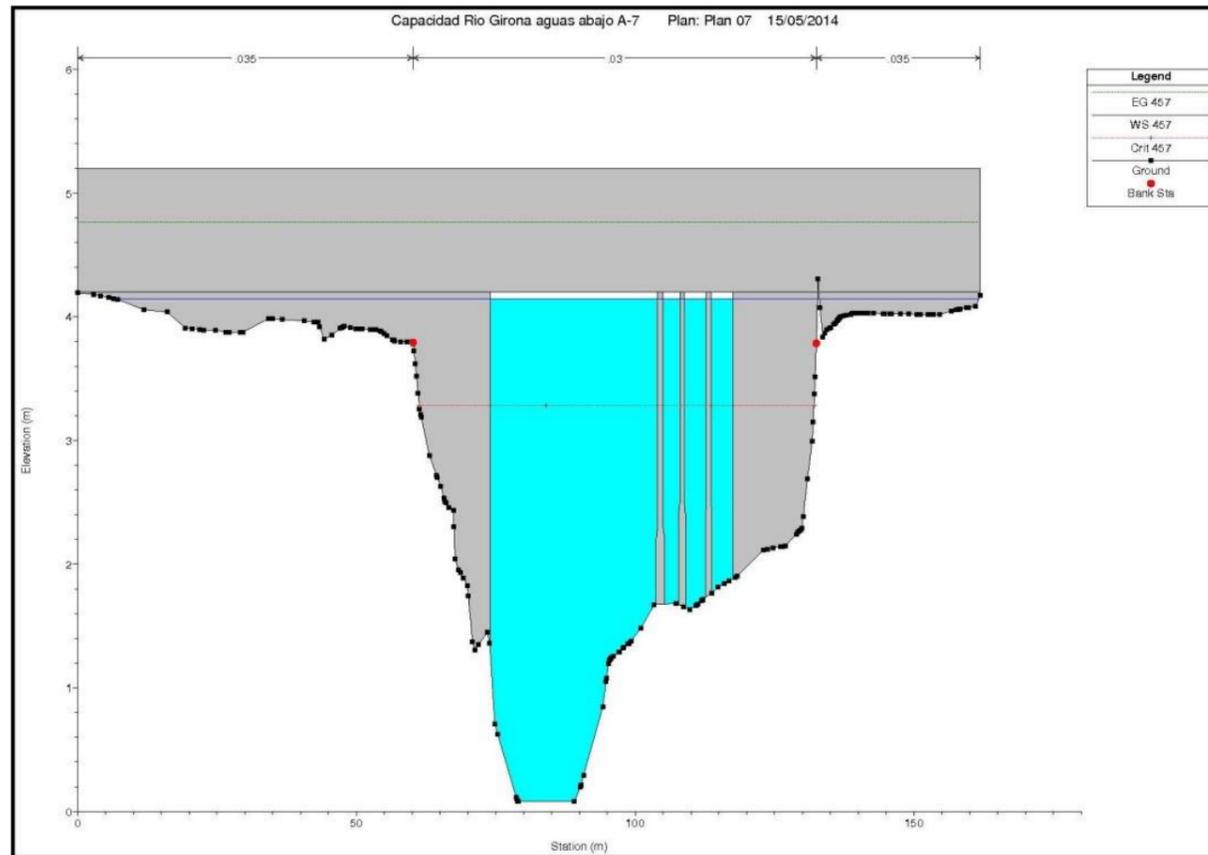


Figura 3.5 Puente C/Les Marines HEC-RAS

Distancia a la desembocadura: 290 metros  
Caudal trasegado: 457 m<sup>3</sup>/s

PUENTE PEATONAL (ELS POBLETS)

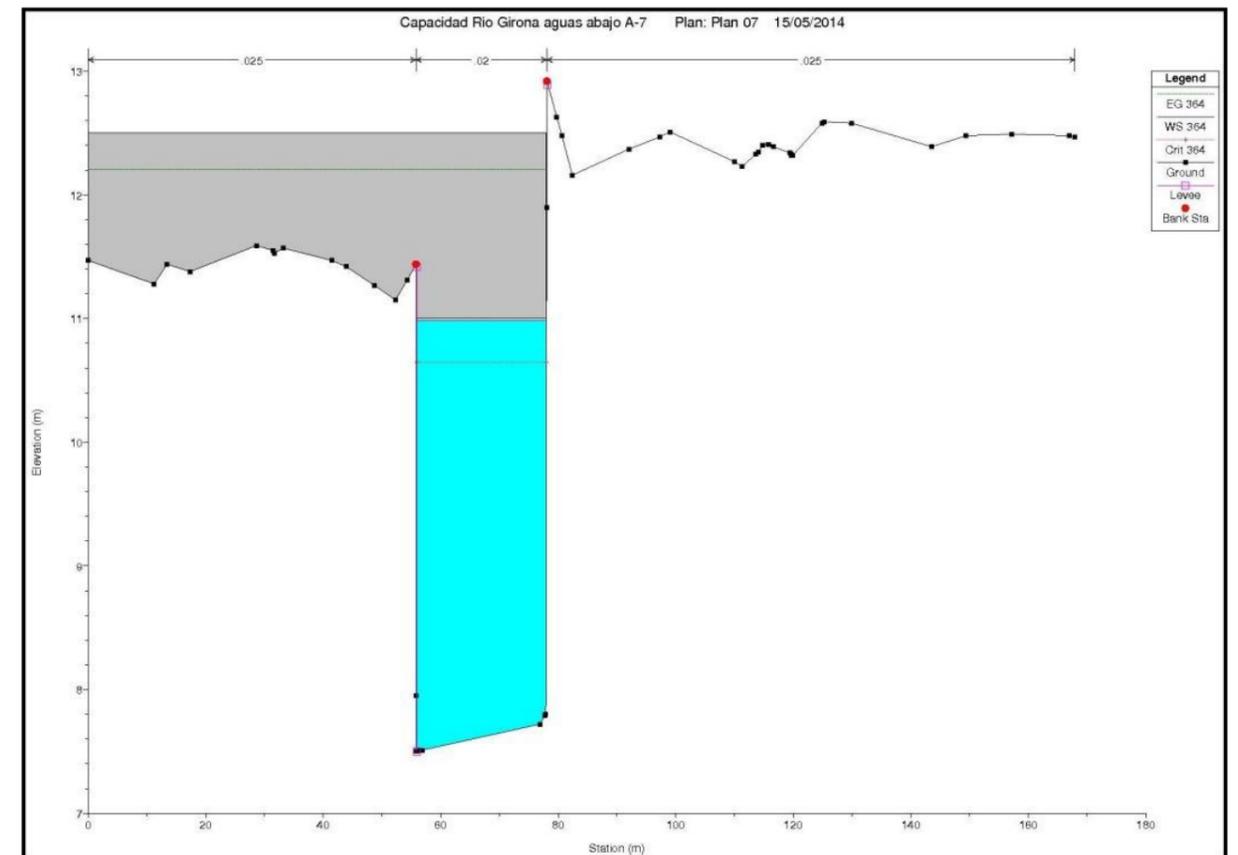


Figura 3.6 Puente Peatonal HEC-RAS

Distancia a la desembocadura: 2168 metros  
Caudal trasegado: 364 m<sup>3</sup>/s

**PUENTE CV-723**

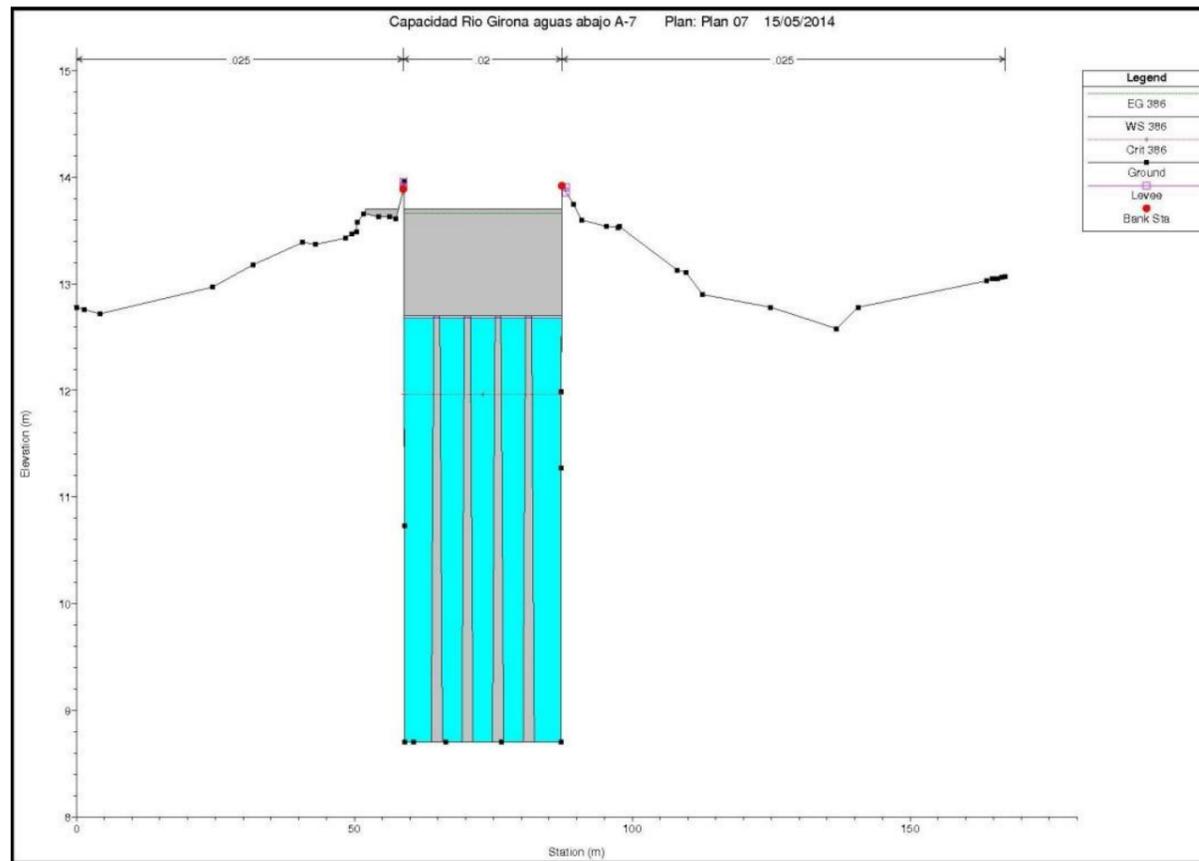


Figura 3.7 Puente CV-723 HEC-RAS

Distancia a la desembocadura: 2367 metros  
Caudal trasegado: 386 m<sup>3</sup>/s

**PUENTE C/ GIRONA**

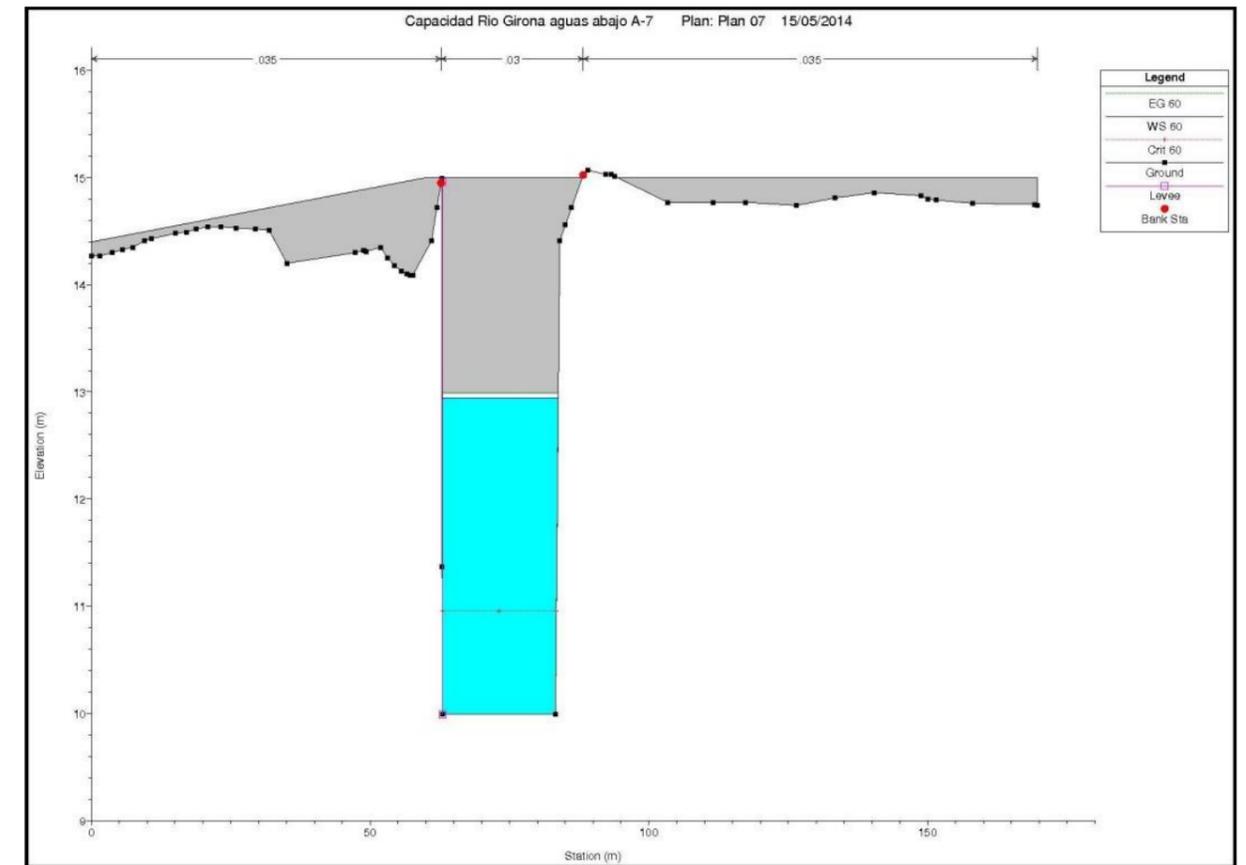


Figura 3.8 Puente C/ Girona HEC-RAS

Distancia a la desembocadura: 2604 metros  
Caudal trasegado: 60 m<sup>3</sup>/s

PUENTE AV. LA VÍA

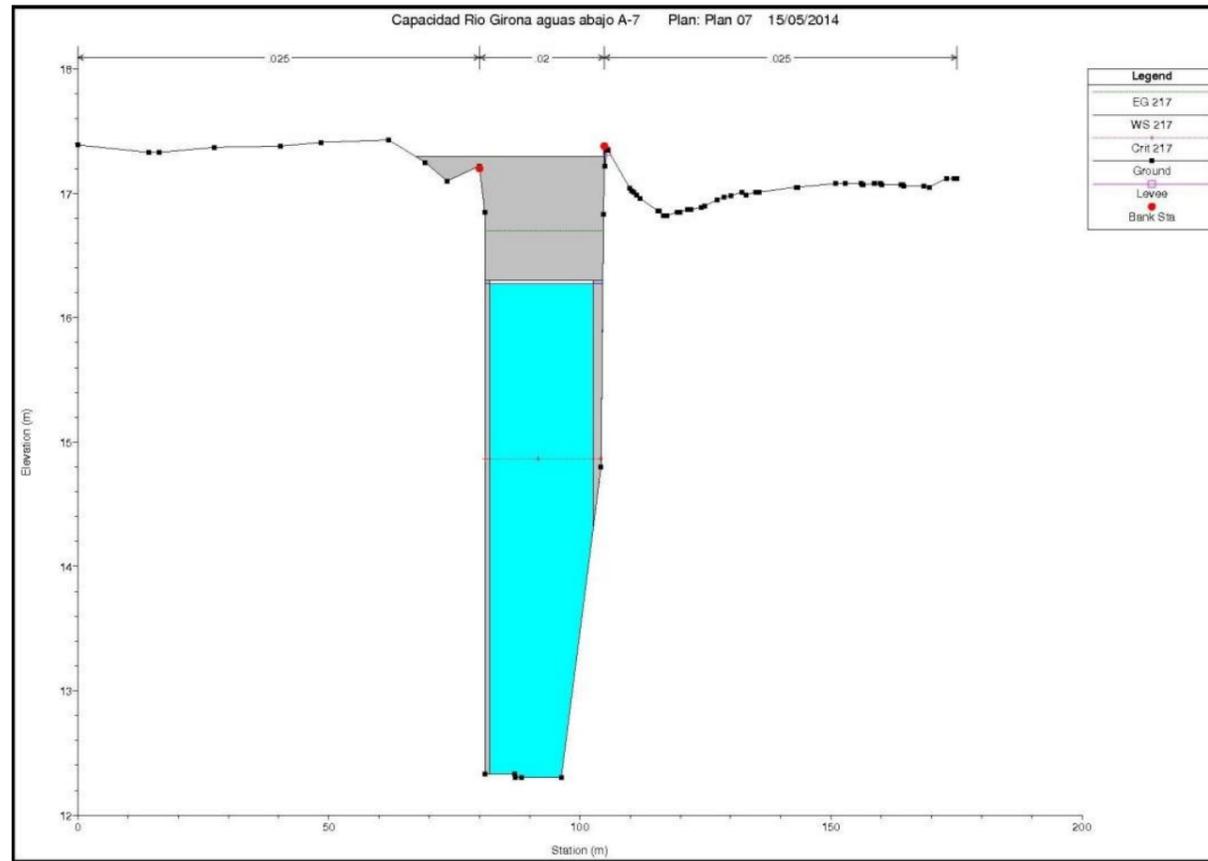


Figura 3.9 Puente Av.La vía HEC-RAS

Distancia a la desembocadura: 3213 metros

Caudal trasegado: 219 m<sup>3</sup>/s

PUENTE C/ ALMÁCERA

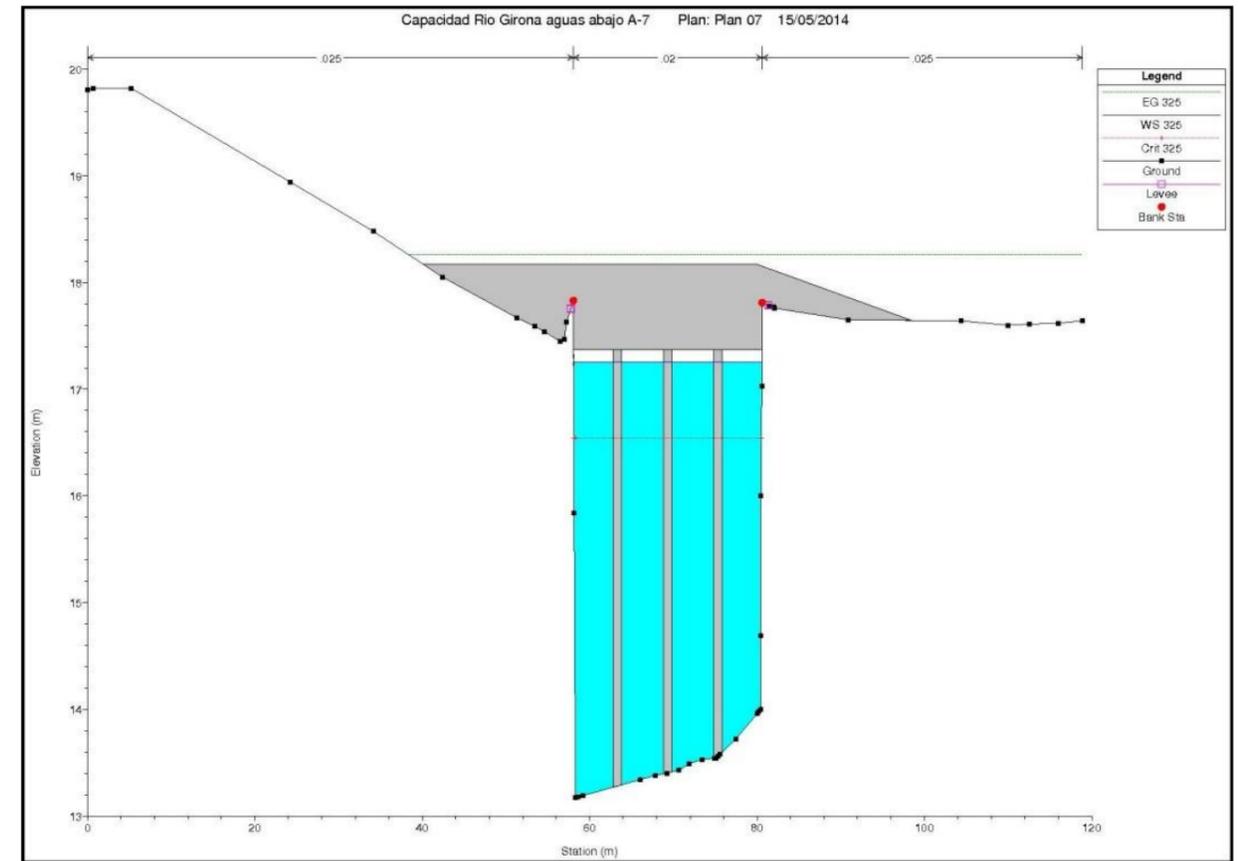


Figura 3.10 Puente C/ Almacera HEC-RAS

Distancia a la desembocadura: 3383 metros

Caudal trasegado: 325 m<sup>3</sup>/s

PUENTE C/ DEL FORN

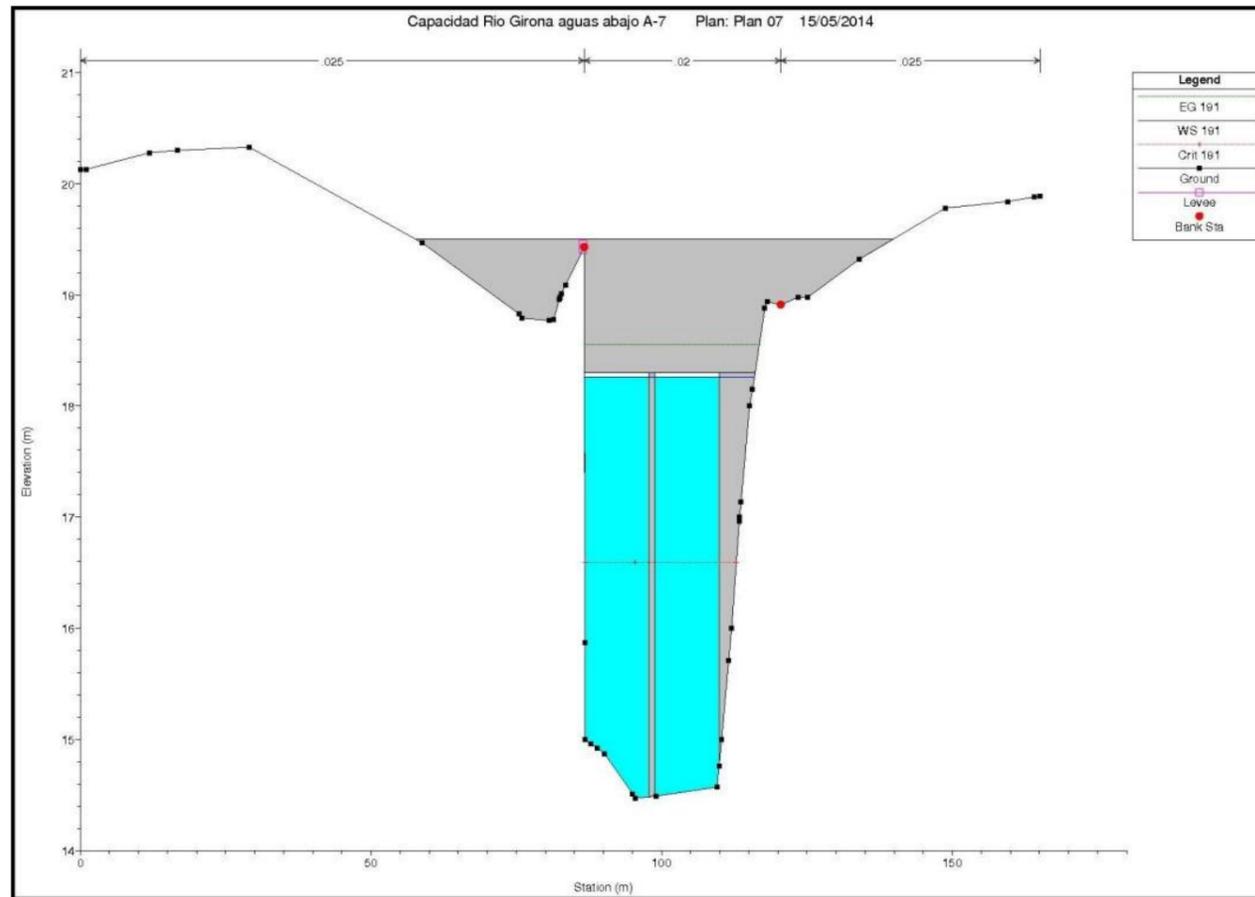


Figura 3.11 Puente C/ del Forn HEC-RASS

Distancia a la desembocadura: 3627 metros

Caudal trasegado: 191 m<sup>3</sup>/s

PUENTE N-332a

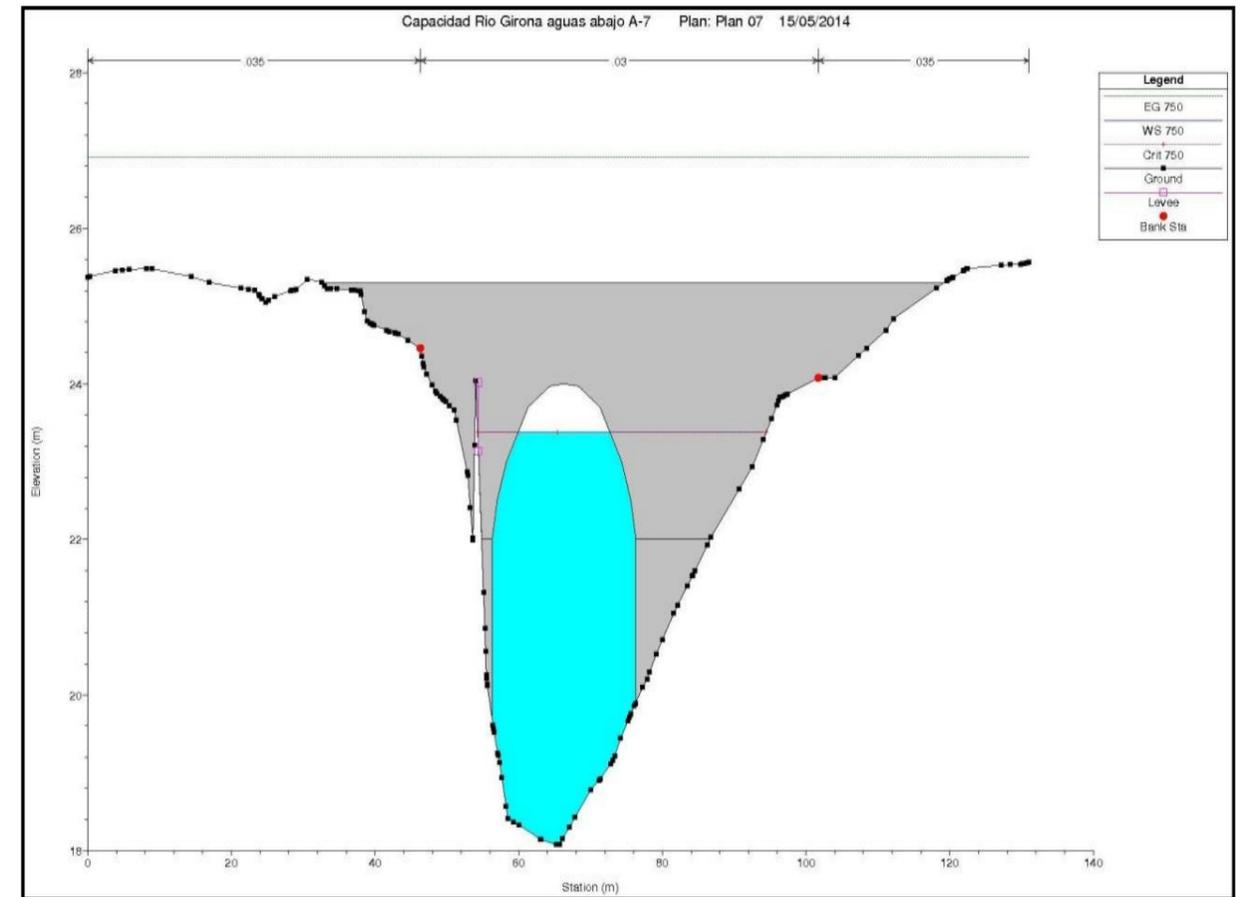


Figura 3.12 Puente N-332a HEC-RAS

Distancia a la desembocadura: 4612 metros

Caudal trasegado: 750 m<sup>3</sup>/s

Como se puede apreciar, los puentes presentan una obstrucción al flujo muy importante, todos incumplen la normativa vigente del PATRICOVA excepto el de la N-332<sup>a</sup> para periodos de retorno de 100 años.

### 3.3.2.2 PERFIL LONGITUDINAL RÍO GIRONA

Resultado del perfil longitudinal del flujo para los periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años, representados de forma simultánea, como se representa en la siguiente figura.

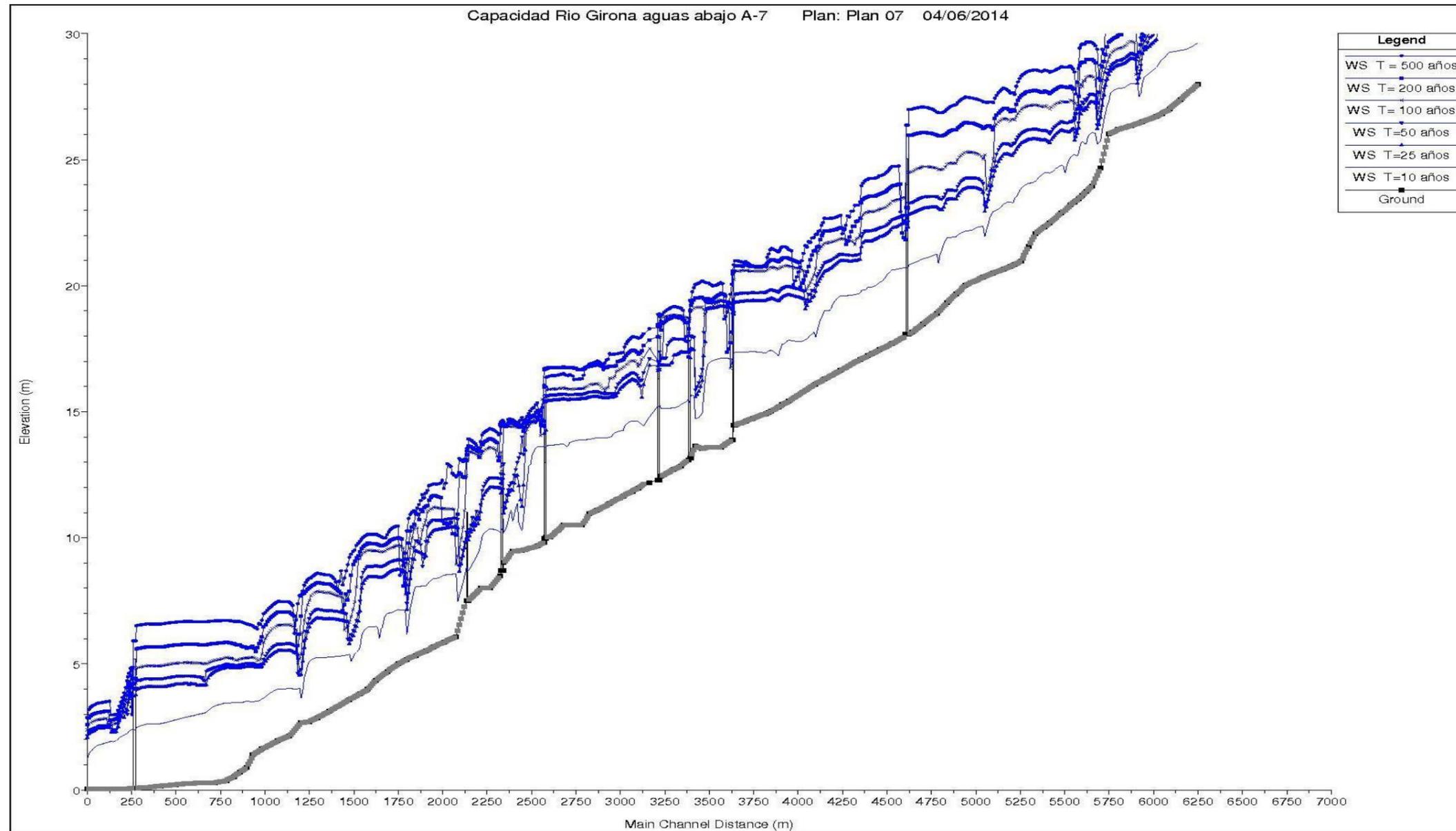


Figura 3.13 Perfil Longitudinal Girona HEC-RAS

En el anterior perfil se constata de nuevo el mal funcionamiento hidráulico en casi la totalidad de los puentes, además llama la atención el irregular comportamiento hidráulico del flujo con continuos cambios de régimen y numerosos resaltos hidráulicos

### 3.3.3 BARRANCO PORTELLES

Tras la simulación hidráulica, se procede a presentar las capacidades máximas por tramos del Barranco del Portelles.

BARRANCO PORTELLES			
TRAMO	CAUDAL	PK	T (años)
0 metros y 330 metros	1 m <sup>3</sup> /s	0+133	2 – 5
330 metros y 700 metros	12 m <sup>3</sup> /s	0+372	5 – 10
700 metros y 1750 metros	35 m <sup>3</sup> /s	1+470	10 – 25
1750 metros y 1900 metros	70 m <sup>3</sup> /s	1+754.14	25 – 50
1900 metros y 2250 metros	15 m <sup>3</sup> /s	2+249	5 – 10
2250 metros y 2570 metros	25 m <sup>3</sup> /s	2+558	10 – 25

Tabla 3.4. Caudales por tramo en el barranco de Portelles

Como se puede apreciar, se trata de un barranco con una capacidad muy variable en función del tramo que se analice.

### 3.3.3.1 FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO EN LOS PUENTES

En las figuras siguientes se representa el funcionamiento hidráulico en las secciones transversales de los cuatro puentes existentes en el tramo del estudio. Para todos ellos se representan las secciones de aguas arriba, por ser las más restrictivas en todos los casos.

#### PUENTE AV. VALENCIA

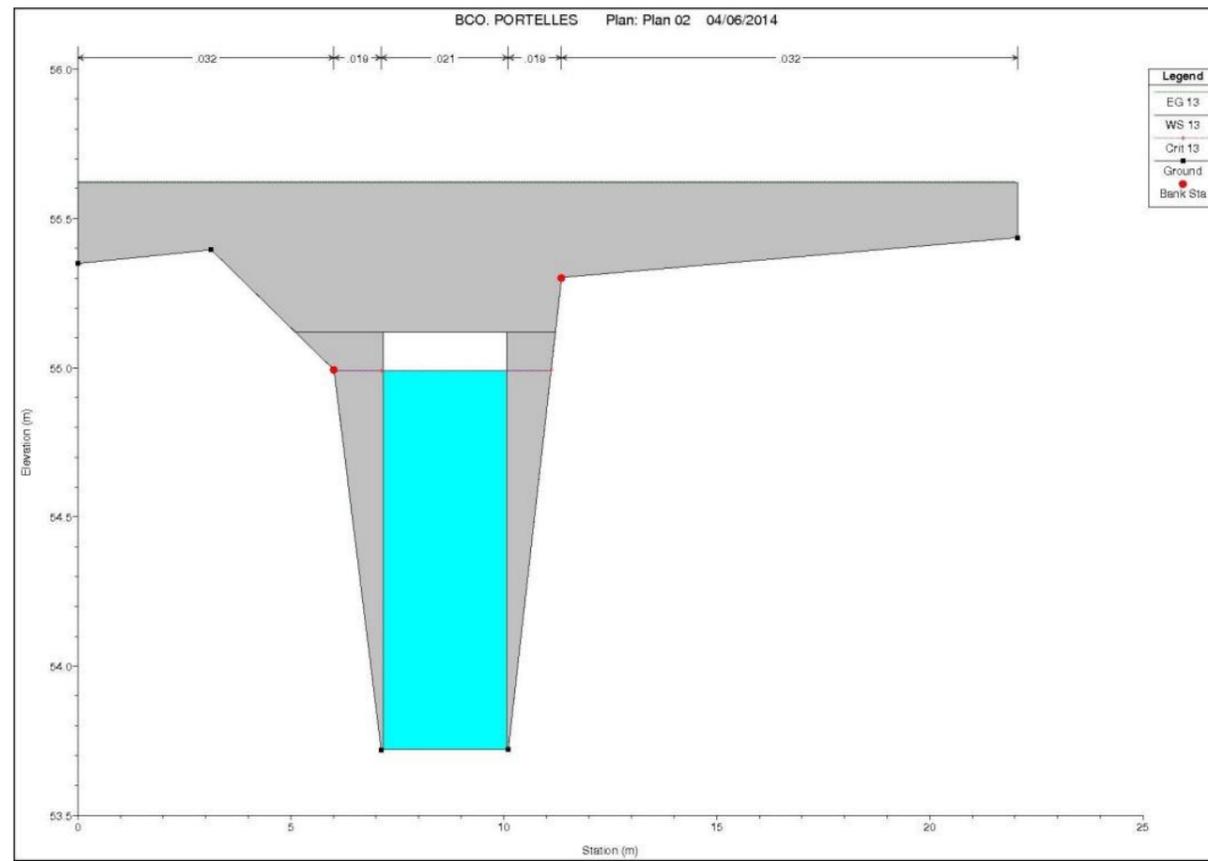


Figura 3.14 Puente Av. Valencia HEC-RAS

Distancia a la desembocadura: 367 metros

Caudal trasegado: 13 m<sup>3</sup>/s

#### PUENTE CENTRO COMERCIAL

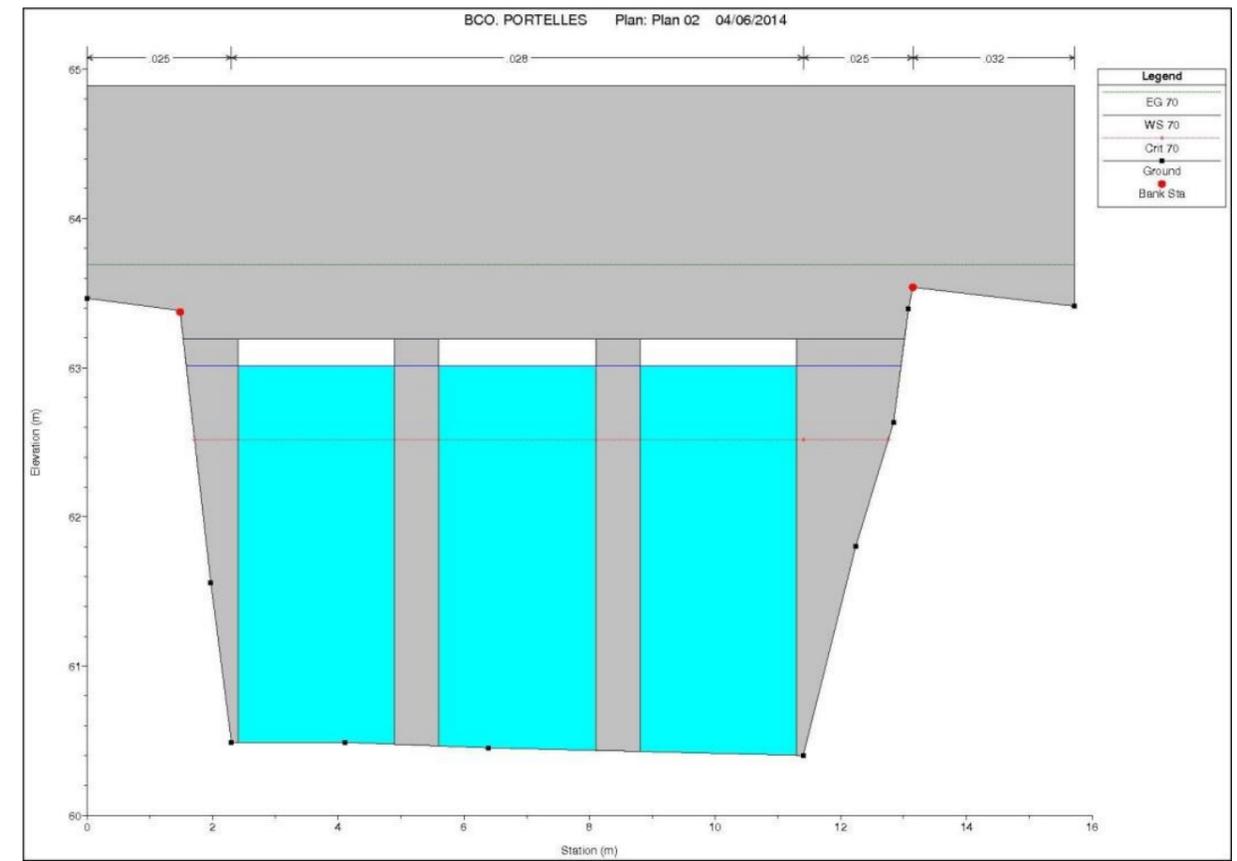


Figura 3.15 Puente Centro Comercial HEC-RAS

Distancia a la desembocadura: 1808 metros

Caudal trasegado: 70 m<sup>3</sup>/s

**PUENTE C/47 PARTIDA BARRANQUETS**

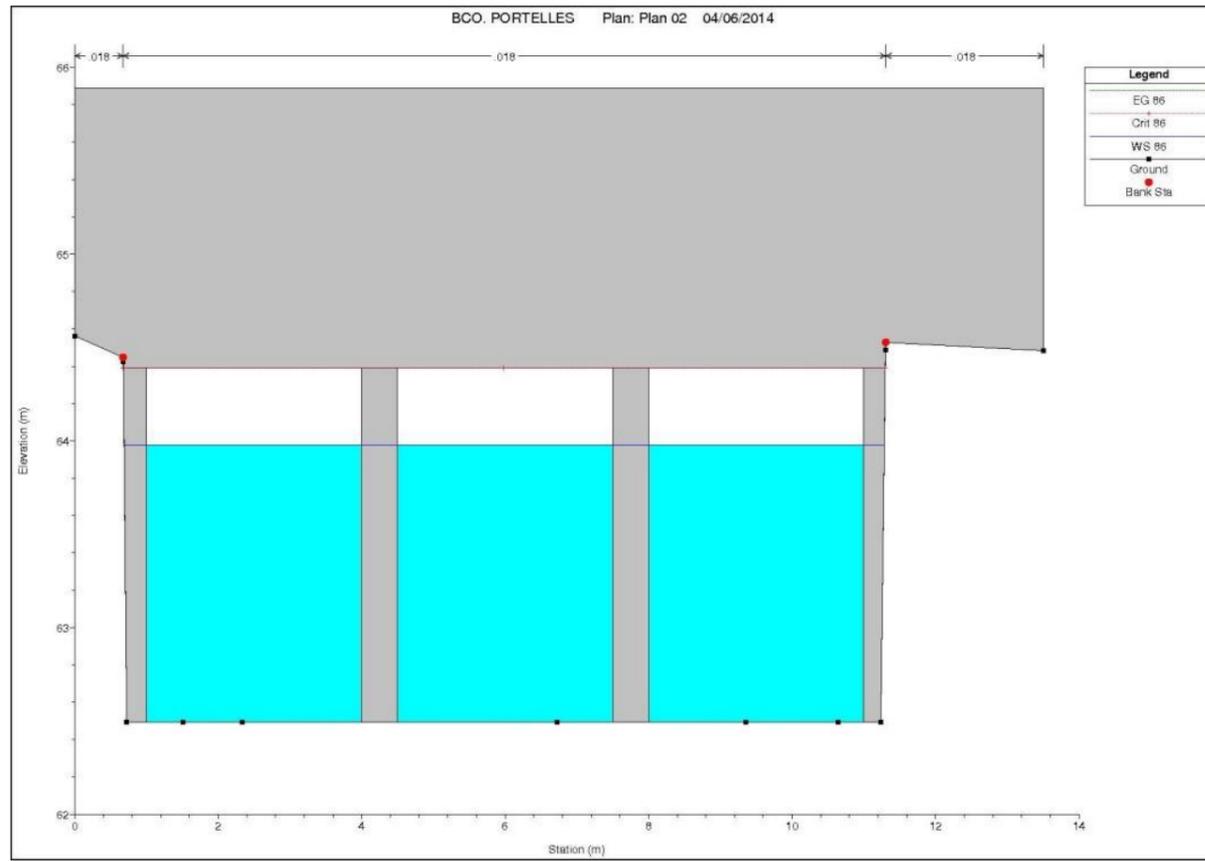


Figura 3.16 Puente C/47 Partida Barranquettes HEC-RAS

Distancia a la desembocadura: 1905 metros

Caudal trasegado: 86 m<sup>3</sup>/s

**PUENTE C/LES MARINES**

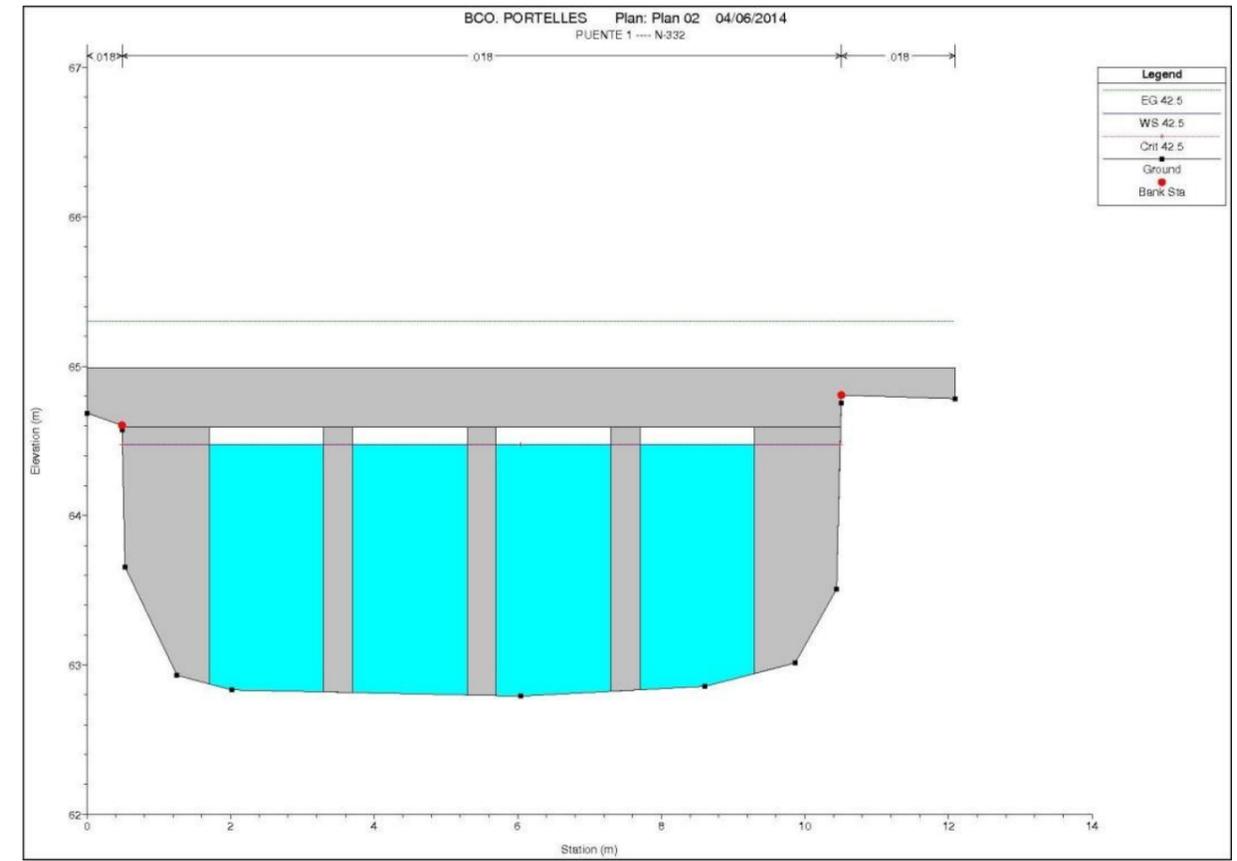


Figura 3.17 Puente C/Les Marines HEC-RAS

Distancia a la desembocadura: 1928 metros

Caudal trasegado: 42.5 m<sup>3</sup>/s

### 3.3.3.2 PERFIL LONGITUDINAL BARRANCO PORTELLES

A continuación se presentan los resultados de la simulación para los caudales correspondientes a periodos de retorno de 10, 25, 50, 100, 200 y 500. El perfil longitudinal de dichos caudales representados de forma simultanea:

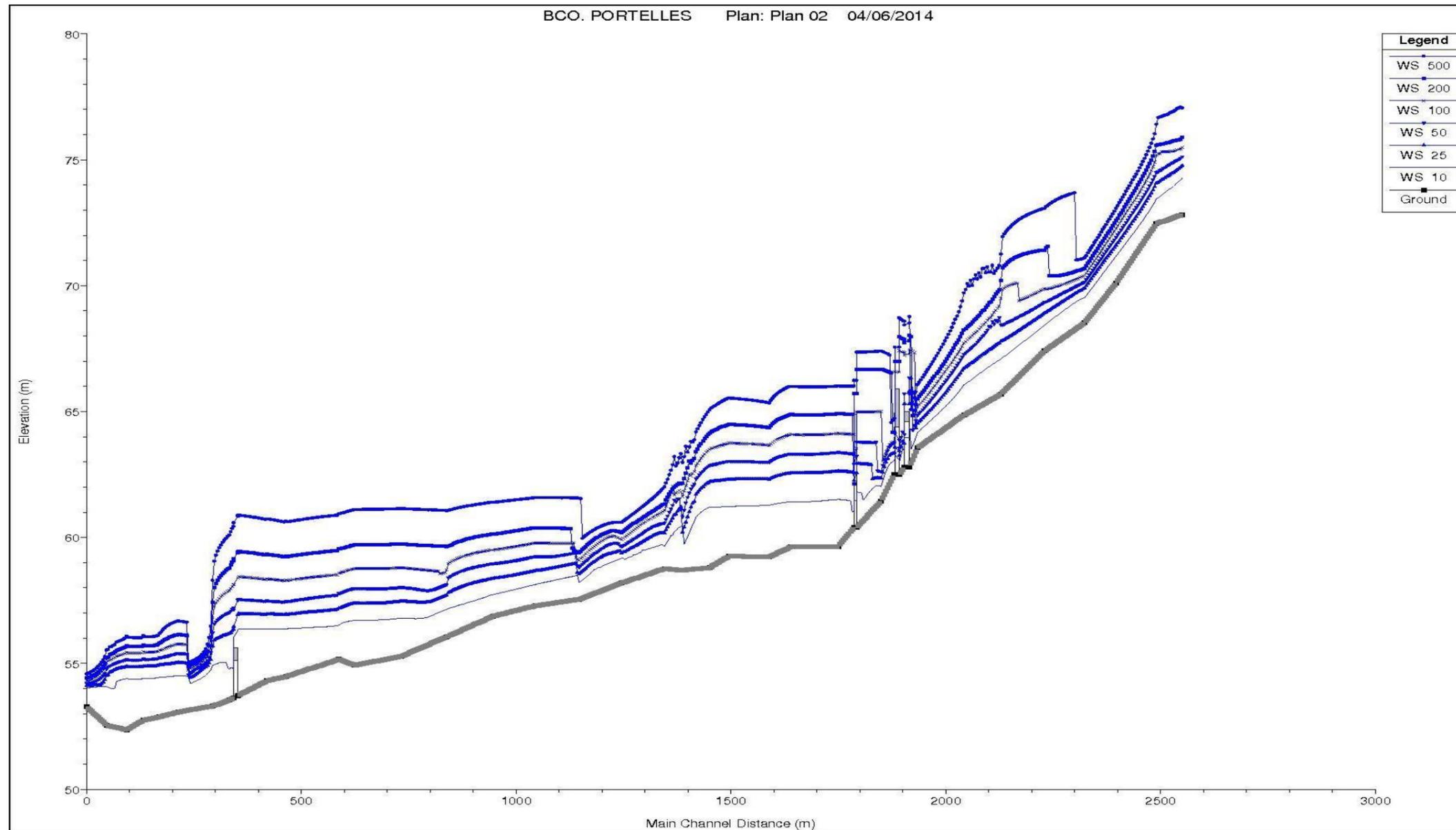


Figura 3.18 Perfil Longitudinal Portelles HEC-RAS

### 3.4 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

En base a la necesidad de reducir el caudal circulante en el río Girona entre la autopista del mediterráneo y su desembocadura, se analizarán 4 opciones.

#### 3.4.1 Balsa de Regulación

Como primera opción se pensó en la construcción de una balsa de regulación, de esta forma no sería necesaria la modificación del río Girona, algo importante ya que cruza dos municipios y tiene poco margen de ensanchamiento.

El método usado para poder estimar el volumen de la balsa de regulación ha sido el siguiente:

- Restar al caudal resultante de una tormenta para un periodo de retorno de 100 años, al máximo caudal capaz de transportar el río sin riesgo de sufrir desbordamientos.

$$Q_{balsa} = T_{100} - Q_{max} = 486.1 - 60 = 425.9 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Multiplicar el caudal resultante por el tiempo en el que el caudal de la tormenta es superior a 60 m<sup>3</sup>/s

$$V_{balsa} = Q_{balsa} * T_{tormenta} = 425.9 * (8.3h * 60min * 60s) = 12.5 \text{ Hm}^3$$

- Considerando una balsa con una altura de 5 metros

$$S_{balsa} = \frac{V_{balsa}}{5} = \frac{12.500.000 \text{ m}^3}{5} = 2.51 \text{ Km}^2$$

Tras los datos obtenidos, esta opción se considera inviable por a la excesiva superficie que debería de tener la balsa de regulación, como se puede observar en el siguiente plano, en el cual se representa una posible ubicación a escala para la balsa.

El hidrograma resultante considerando esta alternativa quedaría de la siguiente manera:

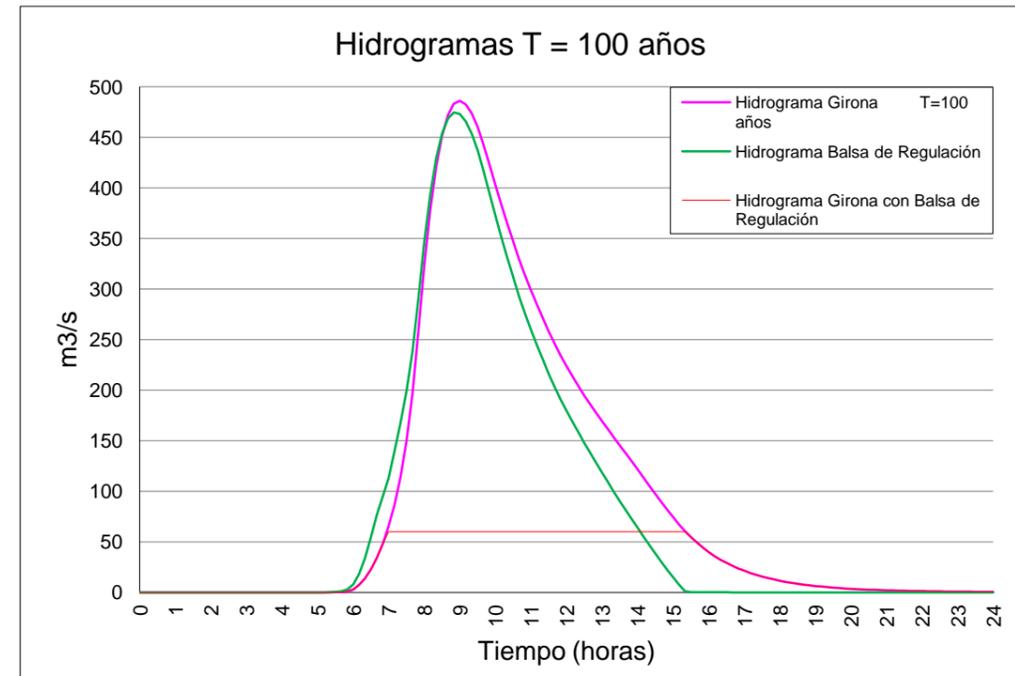


Gráfico 3.2 Solape hidrogramas Balsa y Girona HEC-RAS

Cuando el caudal supere los 60 m<sup>3</sup>/s, el exceso directamente se desviará a la balsa de regulación, de esta forma se podrá proteger a la zona urbana de Els Poblets y El Vergel de inundaciones.

El emplazamiento de la balsa de regulación está muy alejado del núcleo urbano.

Figura 3.19

### 3.4.2 MODIFICACIÓN DEL RÍO GIRONA

Ante la imposibilidad de la construcción de una balsa de regulación de dichas dimensiones, se opta por la modificación del cauce en el tramo de estudio.

Quedando limitada la ampliación del cauce por las viviendas colindantes, la modificación del cauce se ve reducida a:

- Excavación de 110698.75 metros cúbicos, sin variar la pendiente, con una máxima inclinación de los taludes en función del tipo de suelo presente en la zona.
- Elevación de motas a lo largo del río, con una altura máxima de 1.5 metros
- Ensanchamiento del cauce, entre el PK 2+367 y el PK 2+604, en unos 30 metros que nos permite la ubicación del tramo.
- Ampliación del puente sobre la calle Girona, en el PK 2+604, siendo este el puente más crítico con una capacidad de  $60 \text{ m}^3/\text{s}$  y considerando obligatorio la modificación de este por ser el punto limitante del estudio.

Tras la modificación del cauce, y ejecutar sobre el nuevo modelo de HEC-RAS diferentes tormentas, el resultado obtenido es de  $286.1 \text{ m}^3/\text{s}$ , un aumento de su capacidad muy considerable, pero aún lejos de los  $486.1 \text{ m}^3/\text{s}$  que es capaz de provocar una tormenta para un periodo de retorno de 100 años.

El punto crítico sigue siendo el puente sobre la calle Girona, siendo la sección limitante del río, agotando su capacidad en  $286.1 \text{ m}^3/\text{s}$ .

A continuación se ha representado la sección limitante del tramo de estudio, en el PK 2+604, para poder comparar el antes y el después de la modificación.

En ambas figuras está representada la lámina de agua limitante para las dos secciones.

Alternativa que de forma individual sigue siendo insuficiente para cubrir el caudal objetivo.

En la figura *Figura 3.22* se puede ver en planta, a través de una ortofoto, el resultado del cauce modificado.

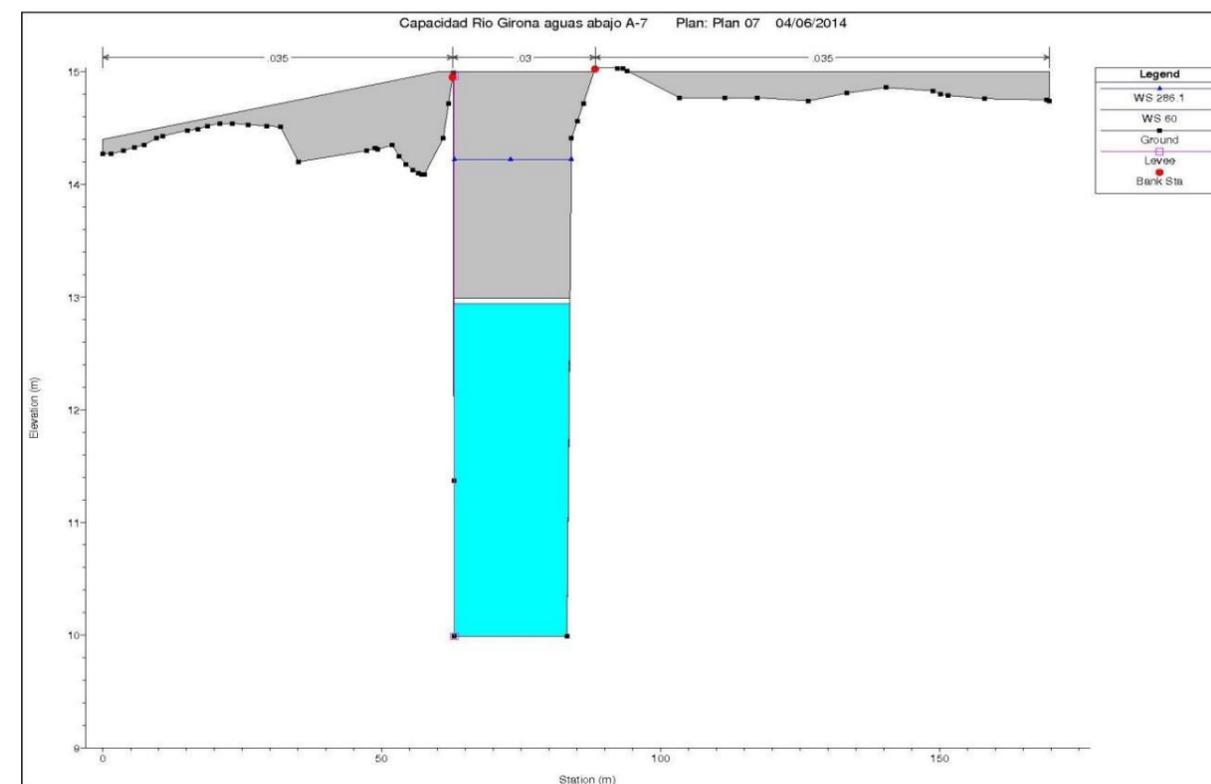


Figura 3.20 Sección PK 2+604 sin modificar HEC-RAS

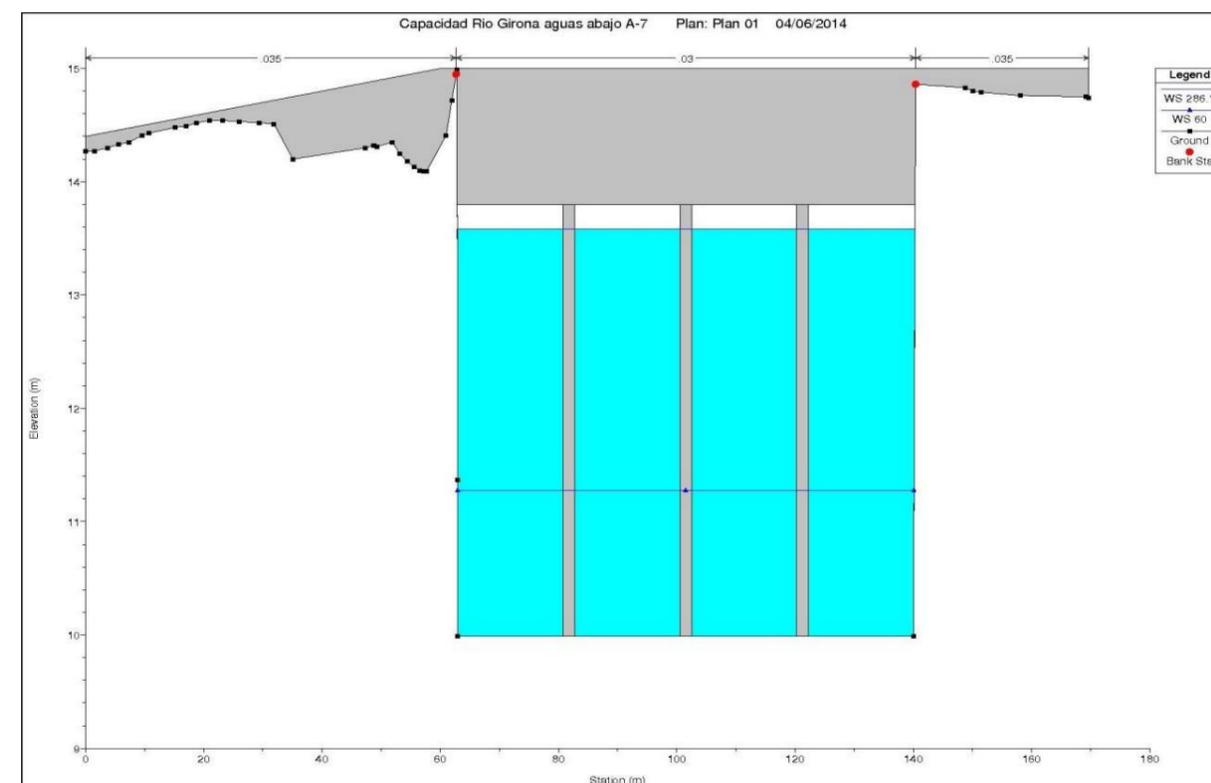


Figura 3.21 Sección PK 2+604 modificada HEC-RAS

### 3.4.3 NUEVA Balsa DE REGULACIÓN CON MODIFICACIÓN DEL RÍO GIRONA

Tras la incapacidad de resolver el problema de capacidades del río Girona con las dos alternativas anteriores de forma individual, se ha pensado una alternativa fruto de la combinación de ambas.

Puesto que la capacidad del Girona se ha conseguido ampliar considerablemente gracias a la modificando de ciertas secciones transversales y excavaciones, se vuelve a plantear la construcción de una balsa de regulación, ya que necesitará menos superficie que la primera al aumentar la capacidad del Girona.

El método usado para poder estimar el volumen de la balsa de regulación ha sido el mismo que para la primera alternativa, siendo los pasos a seguir:

- Restar al caudal resultante de una tormenta para un periodo de retorno de 100 años, al máximo caudal capaz de transportar el río sin riesgo de sufrir desbordamientos.

$$Q_{balsa} = T_{100} - Q_{max} = 486.1 - 286.1 = 200 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Multiplicar el caudal resultante por el tiempo en el que el caudal de la tormenta es superior a 200 m<sup>3</sup>/s

$$V_{balsa} = Q_{balsa} * T_{tormenta} = 200 * (4.3h * 60min * 60s) = 3.36 \text{ Hm}^3$$

- Considerando una balsa con una altura de 5 metros

$$S_{balsa} = \frac{V_{balsa}}{5} = \frac{3.360.000 \text{ m}^3}{5} = 0.67 \text{ Km}^2$$

Tras los datos obtenidos, esta opción se vuelve a considerar inviable por necesitar una gran superficie la balsa de regulación, como se puede observar en la siguiente ortofoto, en la cual se representa una posible ubicación a escala para la balsa.

Figura 3.23

El hidrograma resultante considerando esta alternativa quedaría de la siguiente manera:

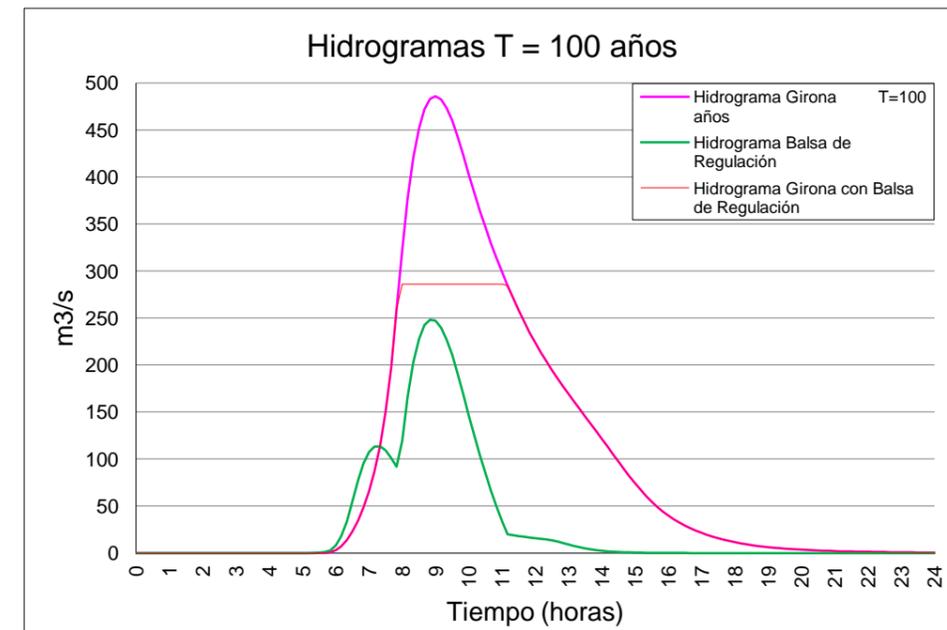


Gráfico 3.3 Solape hidrogramas Balsa' y Girona HEC-RAS

En el momento en el que la capacidad del Girona alcanza su límite de 286.1 m<sup>3</sup>/s, el excedente de caudal empezará a desviarse hacia la nueva balsa de regulación.

### 3.4.4 CANAL DE DESVIO CON MODIFICACIÓN DEL GIRONA

Construcción de un nuevo cauce, al oeste del río Girona, separado de las zonas urbanas, y conectando aguas arriba de la CV-723 con el barranco del Portelles.

Siendo una solución complementaria a la modificación del Girona, limitando su capacidad a 286.1 m<sup>3</sup>/s y el excedente desviado al barranco del Portelles.

### 3.5 ELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN A DESARROLLAR

La solución a desarrollar ha sido elegida tras haber analizado las alternativas anteriormente planteadas, considerando como mejor opción la construcción de un canal de desvío complementado con la modificación ya analizada del río Girona.

Los factores que se han tenido en cuenta para justificar la solución óptima frente al resto de alternativas han sido la superficie a ocupar y el impacto ambiental.

ALTERNATIVAS	VOLUMEN OCUPADO (Hm <sup>3</sup> )	IMPACTO AMBIENTAL	SUMA
BALSA DE REGULACIÓN	12.5	ALTO	67%
PONDERACIÓN	39%	28%	
MODIFICACION RÍO GIRONA	0.11	BAJO	5%
PONDERACIÓN	0%	5%	
BALSA MAS MODIFICACIÓN	3.47	MEDIO	23%
PONDERACIÓN	11%	12%	
CANAL DE DESVIO MAS MODIFICACION	0.315	BAJO	6%
PONDERACIÓN	1%	5%	

Tabla 3.6. Criterios y ponderación para la selección de alternativas

La ponderación de las alternativas se ha realizado valorando tanto el volumen ocupado como el impacto ambiental en un 50%.

El canal de desvío tendría un impacto ambiental bajo por materiales usados en su construcción, lecho de escollera y márgenes de geoceldas.

De las alternativas analizadas, la mejor opción es el canal de desvío mas la modificación del Girona, ya que como se demostró, la modificación del Girona de forma individual es insuficiente.

### 3.5.1 MODIFICACIÓN DEL RÍO GIRONA

Como ya se ha comentado anteriormente, y ante la incapacidad del Girona de poder aliviar los  $486.1 \text{ m}^3/\text{s}$  obtenidos del ya realizado estudio hidrológico para un periodo de retorno de 100 años, se estudia el ensanchamiento del cauce atendiendo a las siguientes modificaciones:

- a) Excavación del cauce desde el PK 3+638 hasta el PK 0+092, con un total de 110698.75 metros cúbicos.

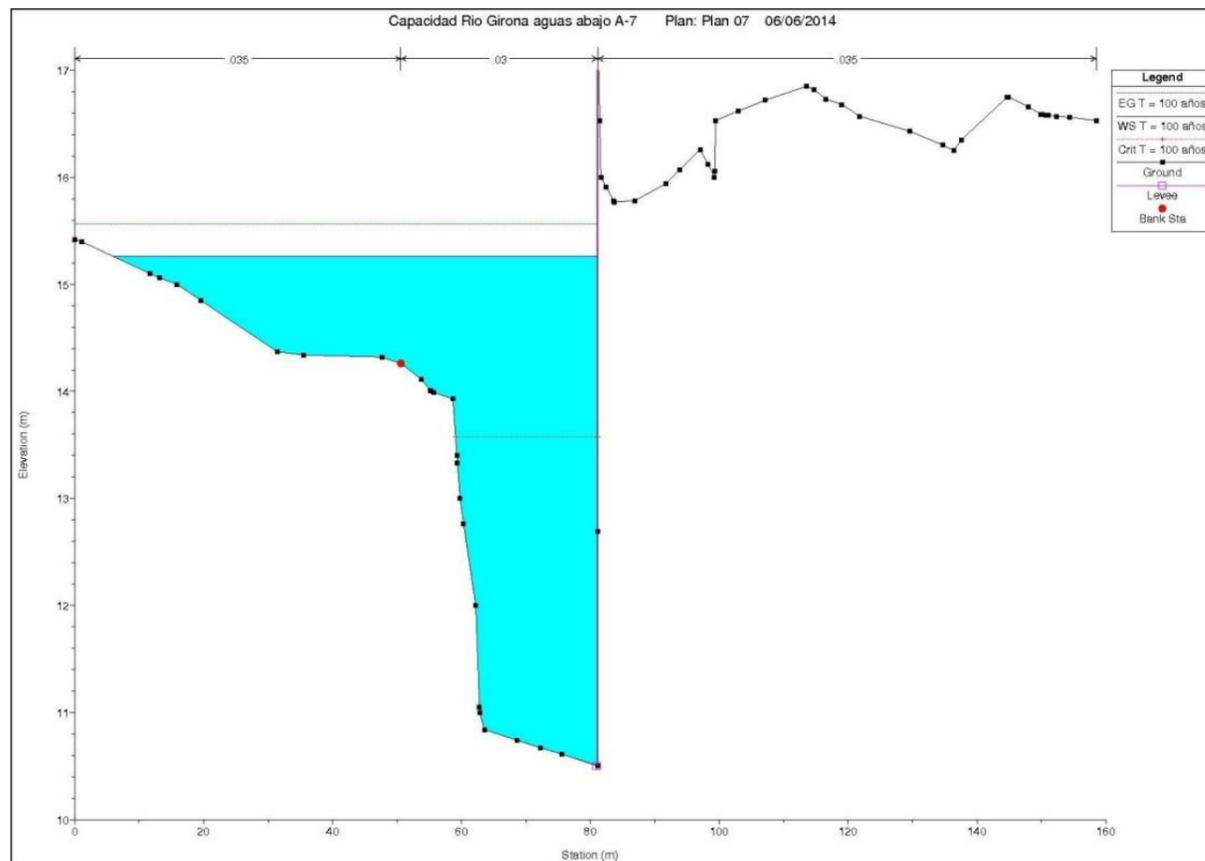


Figura 3.24 Sección PK 2+816 sin excavación HEC-RAS

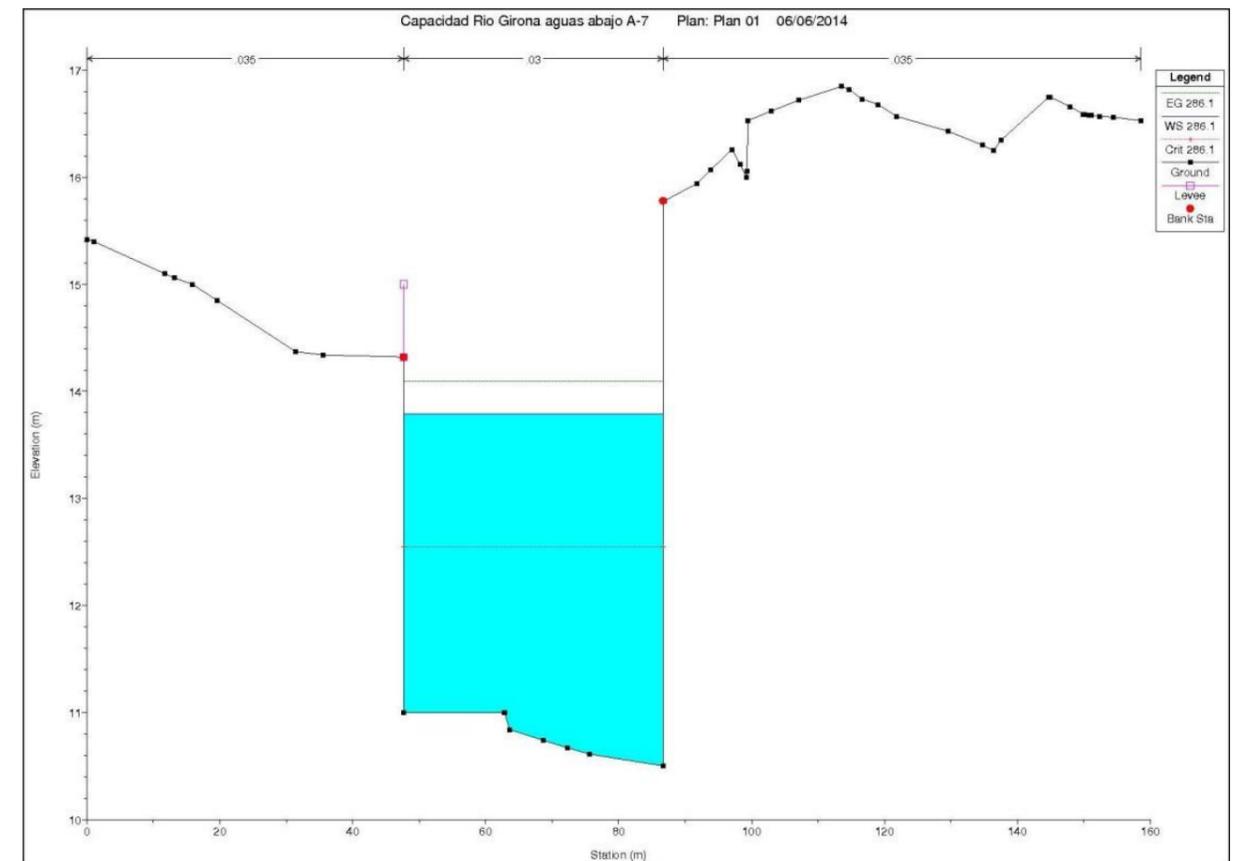


Figura 3.25 Sección PK 2+816 con excavación HEC-RAS

b) Elevación de motas a lo largo del río, con una altura máxima de 1.5 metros

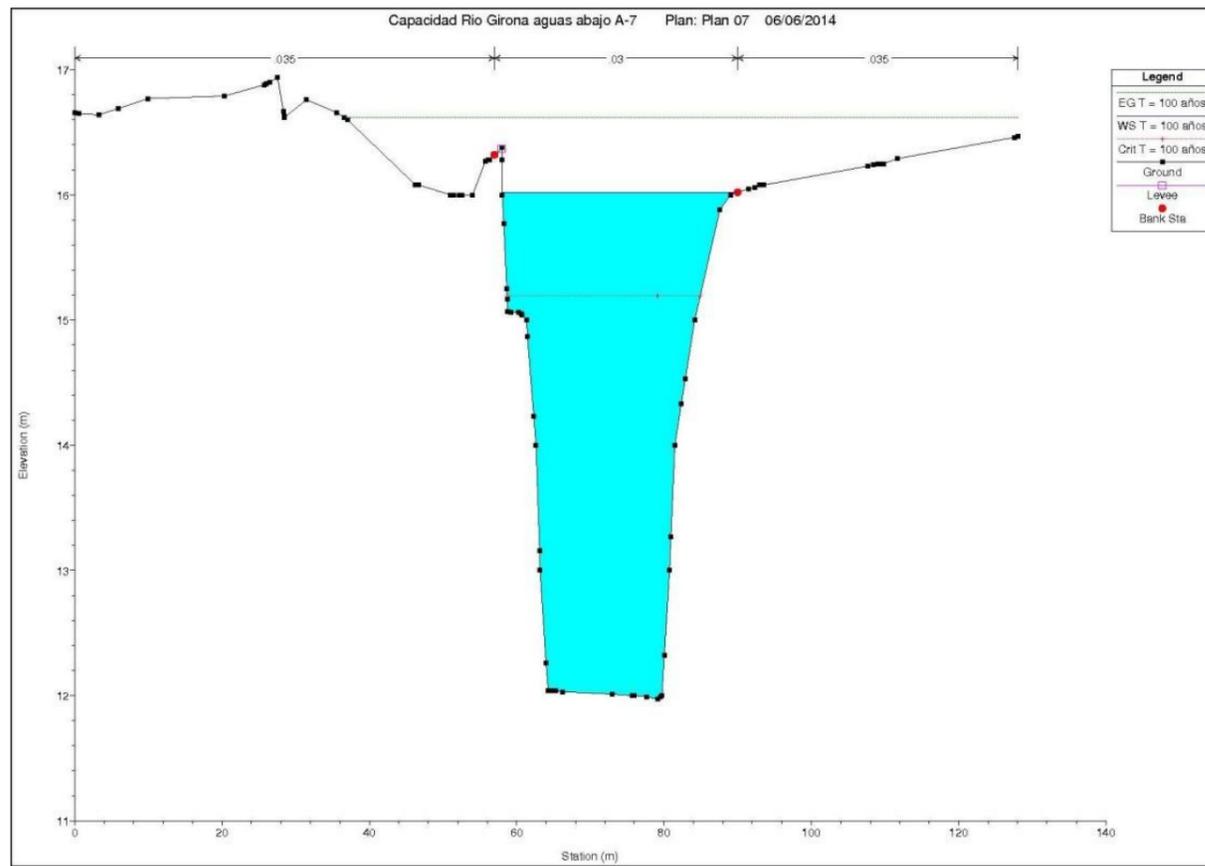


Figura 3.26 Sección PK 3+134 sin motas HEC-RAS

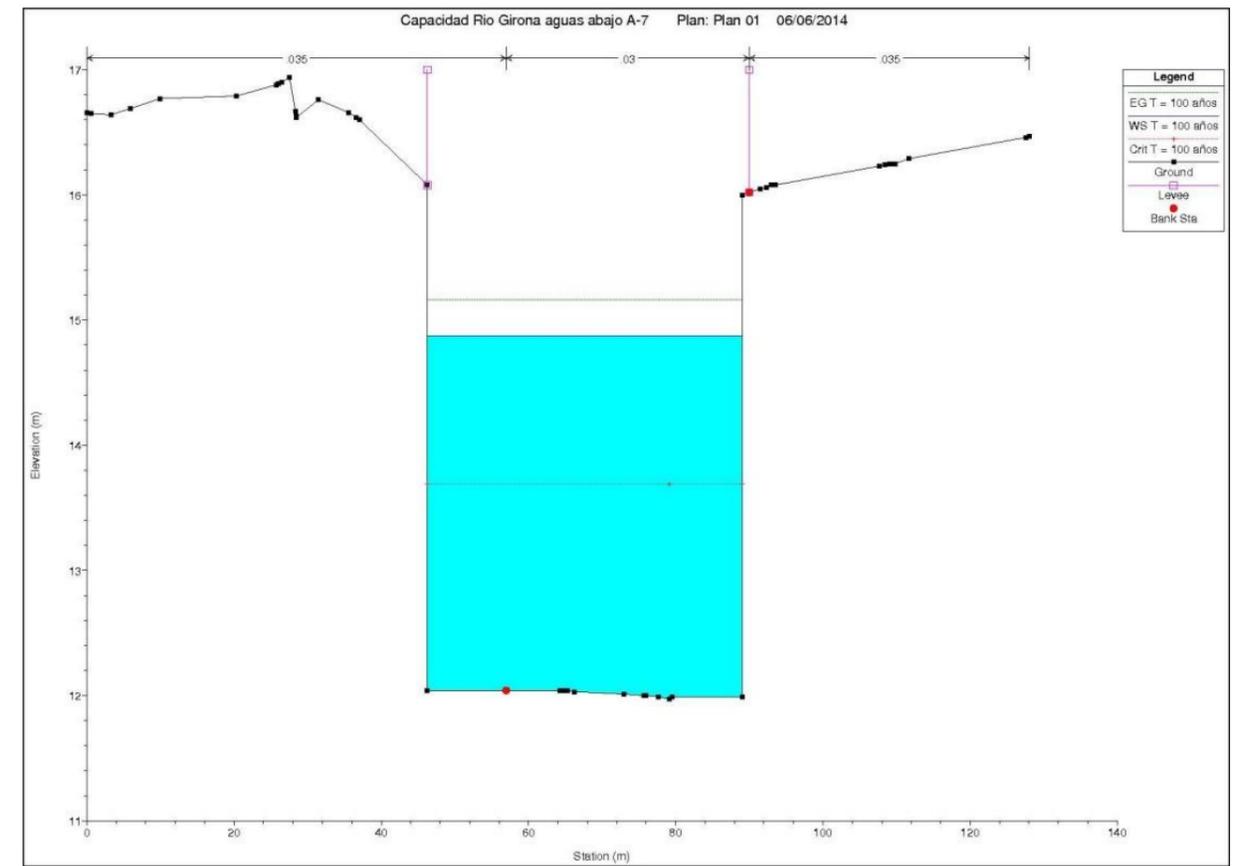


Figura 3.27 Sección PK 3+134 con motas y excavación HEC-RAS

- c) Ensanchamiento del cauce, entre el PK 2+367 y el PK 2+604, en unos 30 metros que nos permite la ubicación del tramo.



Figura 3.28 Sección entre PK 2+367 y PK 2+604

- d) Ampliación del puente sobre la calle Girona, en el PK 2+604, siendo este el puente más crítico con una capacidad de  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ .

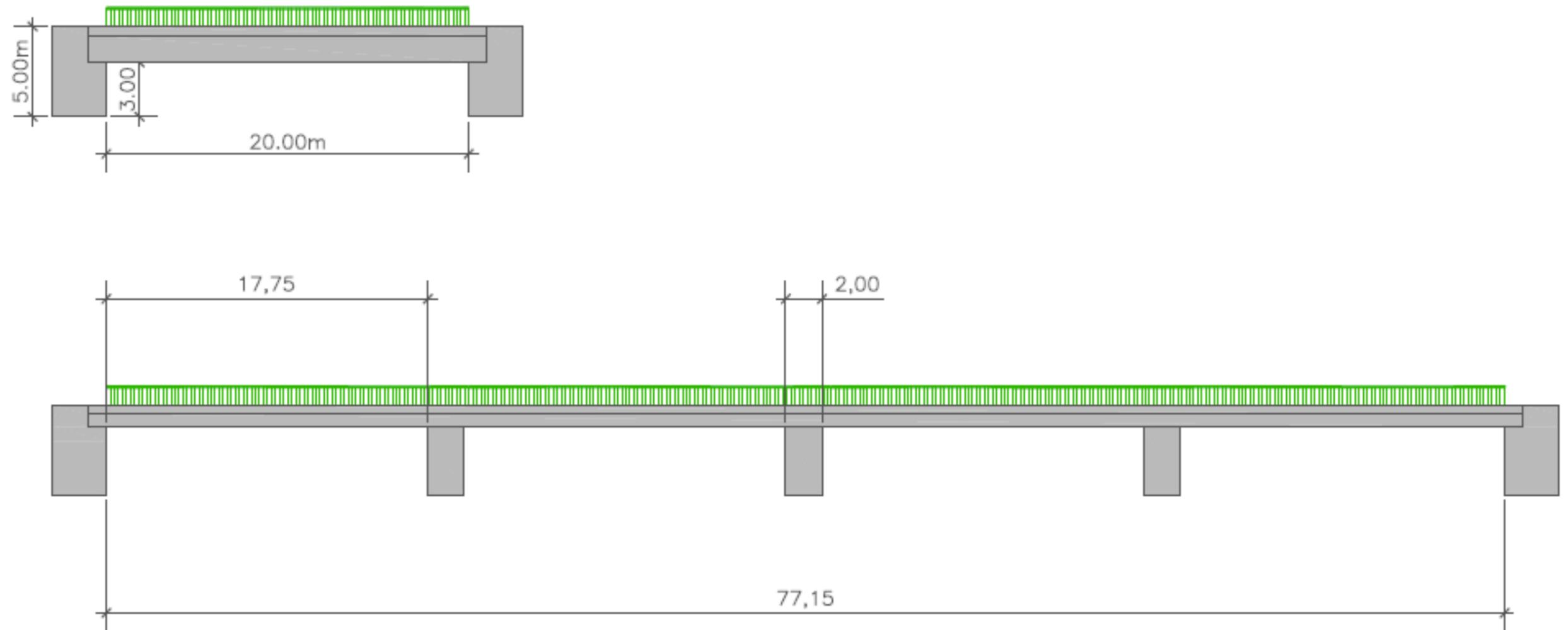


Figura 3.29 AutoCad. Modificación del puente sobre la Calle Girona

Tras la modificación del cauce, el resultado obtenido es de  $287 \text{ m}^3/\text{s}$ , aumento que limita el caudal a trasvasar en  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 3.5.2 CANAL DE DESVÍO

A continuación se realizarán los estudios necesarios para el dimensionamiento de una sección estable para el canal de desvío que se establecerá desde el PK 3+172 del río Girona (a una altitud de 26 msnm) hasta el PK 2+014 del barranco de Portelles (a una altitud de 10 msnm). En total el desvío salva un desnivel de 16 m a lo largo de 2650.6 m, lo que supone una pendiente a lo largo de todo el canal de 0.006 m/m.

Figura 3.30

El encauzamiento se encuentra en una zona semiurbana, conformada por terrenos de cultivo, en la cual se deberán expropiar todas las zonas ocupadas.

Tras la realización de los correspondientes estudios hidrológicos, del análisis de la situación actual y la ampliación de la capacidad del río Girona, se ha concluido la necesidad de trasvasar al barranco de Portelles un caudal de 200 m<sup>3</sup>/s.

Para la definición de la sección tipo característica del cauce capaz de soportar el caudal de diseño se escoge un talud de 1.5H: 1V, acorde al talud máximo soportado por los materiales colindantes, siendo éstos, en su mayoría, cantos, gravas y arcillas.

Para el revestimiento de márgenes se plantea su definición mediante escollera en el lecho y geoceldas con relleno de tierra vegetal con plantación vegetal de pequeño porte.

En lo referente a los correspondientes cálculos hidráulicos se debe dimensionar para un estado subcrítico del flujo considerando un resguardo mínimo.

Los valores de rugosidad correspondientes a los diferentes revestimientos escogidos son los que se muestran en la siguiente tabla.

Material	Nº de Manning
Escollera	0.03
Geocelda	0.035

Tabla 3.7. Números de Manning de los revestimientos

#### 3.5.2.1 DEFINICIÓN GEOMÉTRICA DE LA “SECCIÓN TIPO”

Se procede a realizar los cálculos que permitirán definir la geometría de la sección hidráulicamente posible. Atendiendo a los requisitos de funcionalidad del sistema hidráulico establecido, se diseñará dicha sección transversal del desvío para un caudal de 200 m<sup>3</sup>/s. De esta forma quedará garantizada la seguridad del sistema y de los pueblos colindantes frente a inundaciones para un periodo de retorno de 100 años.

#### 3.5.2.1.1 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

El proceso para la definición geométrica estará basado en la fórmula de Manning que se muestra a continuación:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot Rh^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}$$

En donde:

- Q: caudal de diseño (200 m<sup>3</sup>/s)
- n: rugosidad de Manning equivalente (considerando un revestimiento conformado por escollera en el lecho y geocelda con revegetación en márgenes)
- I: pendiente geométrica (0.006 m/m)
- Rh: radio hidráulico de la sección (Sm/Pm)

Para el procedimiento de cálculo se han realizado diversas iteraciones de forma que el ancho total de ocupación no exceda de los 30 metros para el caudal de diseño y de forma que el régimen de flujo se mantenga en subcrítico.

Puesto que el cauce va a estar compuesto de diferentes revestimientos, el valor del parámetro de rugosidad no será uniforme y variará a lo largo del Pm. Para establecer una rugosidad equivalente para la sección transversal en función de las rugosidades de revestimiento y del Pm, se selecciona la metodología implantada por Horton, Einstein y Banks, cuya fórmula de cálculo es la siguiente:

$$n_e = \left( \frac{\sum_{i=1}^N Pm \cdot n_i^{\frac{3}{2}}}{Pm} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Finalmente, mediante relaciones geométricas, se definirán el resto de medidas de la sección transversal, que se adopta constante a lo largo de toda la longitud del desvío.

### 3.5.2.1.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS FUNCIONAL

Para este caso, siendo el caudal de dimensionamiento igual a 200 m<sup>3</sup>/s y estando ubicado el tramo de desvío en una zona semiurbana para una situación de defensa frente a avenidas, se ha decidido adoptar un resguardo de 75 cm.

La solución geométrica ha sido la siguiente:

- Ancho de la lámina de agua teórica: 25 m
- Calado teórico: 2.44 m
- Talud: 1.5H: 1V
- Sección mojada: 52.02 m<sup>2</sup>
- Perímetro mojado: 26.48 m
- Radio hidráulico: 1.97 m
- Parámetro de rugosidad (según la fórmula de Horton): 0.032
- Caudal trasegado: 200 m<sup>3</sup>/s
- Velocidad media del flujo: 3.85 m/s
- Número de Froude: 0.8
- Ancho total de ocupación: 27.85 m
- Ancho inferior del canal: 17.69 m
- Longitud de la margen derecha: 6 m
- Longitud de la margen izquierda: 6 m
- Sección total a excavar: 77.087 m<sup>2</sup>

En donde:

- Velocidad media calculada por continuidad ( $Q = V \cdot S_m$ )
- Número de Froude (para régimen subcrítico,  $F < 1$ );  $F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot \frac{S_m}{B}}}$ ; en donde g representa la aceleración de la gravedad y es igual a 9.81 m/s<sup>2</sup>

Como se puede observar de los datos mostrados en la tabla, el ancho de ocupación del encauzamiento es de 28 metros aproximadamente y el régimen de flujo se encuentra en estado subcrítico ( $F = 0.8 < 1$ ), conformando una sección viable en términos hidráulicos de 77 m<sup>2</sup> a excavar a lo largo de todo su trayecto.

### 3.5.2.2 DISEÑO DE LOS REVESTIMIENTOS

En este apartado de definición de la sección transversal del desvío se presentan los cálculos y sus correspondientes resultados del diseño de los revestimientos que formarán parte de dicha sección, siendo, como se ha mencionado con anterioridad, escollera para el lecho y geoceldas para márgenes.

#### 3.5.2.2.1 DIMENSIONADO DEL LECHO CON ESCOLLERADO

Se comenzará por determinar las dimensiones del escollero que se colocará en el lecho de la sección anteriormente definida.

#### Obtención del D50 de la escollera

Este procedimiento consistirá en la obtención del tamaño de material a partir del cual no se produce erosión en el lecho por el método de Shields, basado en la siguiente fórmula:

$$\frac{toc}{(\gamma_s - \gamma) \cdot D_s} = 0.06$$

En donde:

- toc: tensión de corte crítica que se asume como la tensión normal del lecho, obtenida de la relación:  $to = \gamma \cdot Rh \cdot I$
- $\gamma_s$ : peso específico de la piedra que conformará el escollero. Toma el valor de 2.65 T/m<sup>3</sup>
- $\gamma$ : peso específico del agua. Toma el valor de 1 T/m<sup>3</sup>
- $D_s$ : diámetro del material a partir del cual no se produce erosión en el lecho

La fórmula anterior se considera para valores de número de Reynolds mayores a 200 (flujo turbulento rugoso). Puesto que el tamaño de material del lecho estará conformado por escollera de diámetro medio relativamente grande, y el número de Reynolds es proporcional al diámetro de material, se considera la hipótesis de flujo turbulento rugoso y la validez de la fórmula empleada.

La tensión de corte obtenida se comprobará mediante el método de Lane, el cual exige el tamaño D75 para el empleo de su fórmula. El D75 se obtendrá de la curva granulométrica de Stevens, siendo  $D50 = D_s/1.25$ . A continuación se muestra la tabla para el cálculo de los diferentes diámetros por el método de Stevens:

Dt/D50	% PASA
0.25	0
0.35	10
0.5	20
0.65	30
0.8	40
1	50
1.2	60
1.4	70
1.6	80
1.8	90
2	100

Tabla 3.8. Curva granulométrica de Stevens

Siendo Dt el diámetro correspondiente a las diferentes aperturas de tamiz que dejan pasar cada porcentaje de material. Por lo tanto:  $D75 = 1.5 \cdot D50$

Y posteriormente se implementará la fórmula de Lane, mediante la cual se debe obtener una tensión de magnitudes semejantes a la obtenida por el método de Shields.

$$toc = 0.0493 \cdot (\gamma_s - \gamma) \cdot D75$$

Posteriormente, mediante el método de los Factores de Seguridad se comprobará la estabilidad de la sección, escogiendo un valor de tamaño de escollera superior al obtenido por el método de Shields y que sea acorde al tamaño habitual que presenta un escollero.

- Dicho método de los Factores de Seguridad asume el siguiente planteamiento general:
- Consideración en el cálculo de la fuerza de sustentación
- Dirección diferente a la horizontal del vector velocidad
- Introducción del concepto de coeficiente de seguridad de la estabilidad del talud
- Las condiciones de estabilidad en los taludes del cauce vienen determinadas por las ecuaciones que se muestran seguidamente

Con anterioridad a las ecuaciones, se definen los siguientes parámetros:

- $\theta$ : ángulo de rozamiento interno de la escollera. Se supone un ángulo de  $42^\circ$  según propone el Ministerio de Fomento en su "Guía para el proyecto y la ejecución de muros de escollera en obras de carretera", aplicable al caso en cuestión.
- $\varphi$ : ángulo que forma el talud con el lecho.
  - $33.7^\circ$  para  $Z=1.5$  ( $\arctg\left(\frac{1}{1.5}\right)$ )
- $\lambda$ : ángulo de la velocidad de la partícula con la horizontal. Toma valores entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$ . Para el estudio de soluciones presente se ha escogido un valor intermedio de  $45^\circ$

A continuación se muestra la secuencia del proceso de obtención del Factor de Seguridad de la sección estable:

- a) Hipótesis inicial de D50 característico de escollera
- b) Cálculo del número de estabilidad de la partícula en el lecho:

$$\eta = \frac{1}{0.047} \cdot \frac{toc}{\gamma_s - \gamma} \cdot \frac{1}{Ds}$$

- c) Cálculo de  $tgB$ :

$$tgB = \frac{\cos\lambda}{\frac{2 \cdot \text{sen}\phi}{\eta \cdot tg\theta} + \text{sen}\lambda}$$

- d) Obtención del ángulo B:  $B = \arctg(tgB)$
- e) Cálculo del número de estabilidad de la partícula en el talud:

$$\eta' = \eta \cdot \frac{1 + \text{sen}(\lambda + B)}{2}$$

- f) Obtención del Factor de Seguridad (en adelante, FS) de la sección para el D50 inicialmente supuesto:

$$FS = \frac{\cos\phi \cdot tg\theta}{\eta' \cdot tg\theta + \text{sen}\phi \cdot \cos B}$$

- g) Para garantizar la estabilidad de la sección, FS deberá resultar mayor a 1 (siendo recomendable un  $FS = 1.5$ ). Si el D50 inicialmente supuesto no cumple con tal condición, se repetirá el proceso hasta la obtención de un D50 que proporcione una sección estable (FS mayor a 1 y lo más próximo posible a 1.5)

### Obtención de la Curva Granulométrica

La curva granulométrica se obtendrá por medio del método de Stevens, a partir de la tabla mostrada en el apartado anterior. Posteriormente se mostrará su representación gráfica.

### Espesor de revestimiento de escollera en el lecho

Se atenderá a los siguientes criterios, una vez obtenido D100 de la curva granulométrica:

- $e \geq 1.15 \cdot D100$
- $e \geq 1.9 \cdot D50$
- $e \geq 0.3m$

Se escogerá aquel que cumpla las tres restricciones.

### Resultados numéricos del procedimiento aplicado para la sección geométrica establecida

La siguiente tabla muestra las tensiones tangenciales obtenidas por los diferentes procedimientos de cálculo

toc SHIELDS (kg/m <sup>2</sup> )	Ds (m)	D50	toc LANE (kg/m <sup>2</sup> )
11.79	0.12	0.095	11.63

Tabla 3.9. Tensiones de corte de inicio de erosión en el lecho del cauce

La tensión de corte obtenida por Lane es prácticamente idéntica a la inicial calculada con Shields. No obstante, el D50 obtenido no corresponde a escollera dada su dimensión y no cumpliría las condiciones de estabilidad, motivos por los cuales se deben escoger valores mayores de tamaño de escollera, acordes a un tamaño medio representativo.

- **D50 de escollera escogido: 0.62 metros**

Resultados de la comprobación de la estabilidad por el método de los Factores de Seguridad.

MÉTODO DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD							
$\theta$	$\lambda$	$\varphi$	$\eta$	tgB	B	$\eta'$	FS
0.733	0.785	0.588	0.245	0.123	0.123	0.219	<b>1.002</b>

Tabla 3.10. Resultados numéricos de la aplicación del método de los Factores de Seguridad

Los resultados obtenidos para tal D50 dan factores de seguridad igual a 1, por lo cual la sección diseñada cumple con los criterios de estabilidad.

La **curva granulométrica** obtenida por el método de Stevens expuesto anteriormente queda definida de la siguiente forma.

% PASA	Dt (m)
0	0.16
10	0.22
20	0.31
30	0.40
40	0.50
50	0.62
60	0.74
70	0.87
80	0.99
90	1.12
100	1.24

Tabla 3.11. Curva granulométrica de Stevens para el diámetro de escollera seleccionado

Quedando su representación gráfica de la siguiente forma:

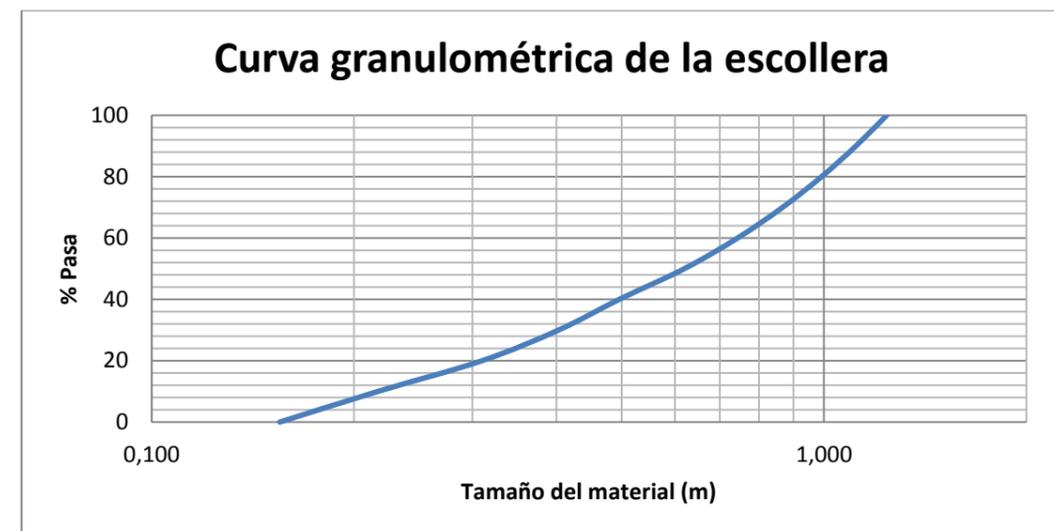


Gráfico 3.4 Curva Granulométrica de la escollera

El espesor final de revestimiento escogido atendiendo a las restricciones anteriormente expuestas para espesores de escollera se muestra en la siguiente tabla, seleccionando finalmente aquel que cumple con los tres criterios.

$e \geq 1.15 \cdot D100$	$e \geq 1.9 \cdot D50$	$e \geq 30cm$	espesor escogido de escollera (m)
1.38	1.14	0.3	<b>1.38</b>

Tabla 3.12. Espesor del revestimiento de escollera

### Colocación del geotextil

Se colocarán bandas de geotextil en el lecho del cauce por debajo del escollero, siendo además recomendable colocar una capa de entre 15 y 25 cm de espesor de detritus de cantera entre el geotextil y la escollera para evitar el punzonamiento durante el vertido de la escollera.

#### 3.5.2.2 PREDIMENSIONAMIENTO DEL REVESTIMIENTO DE MÁRGENES CON GEOCELDAS

Las geoceldas se implantarán con relleno de tierra vegetal con plantación vegetal de pequeño porte. La altura de la geocelda puede variar entre 50 y 200 mm, escogiéndose para el caso actual un valor intermedio de 100 mm, con un espesor definido de 1.25 mm y de color amarillo arena para una mayor integración paisajística.

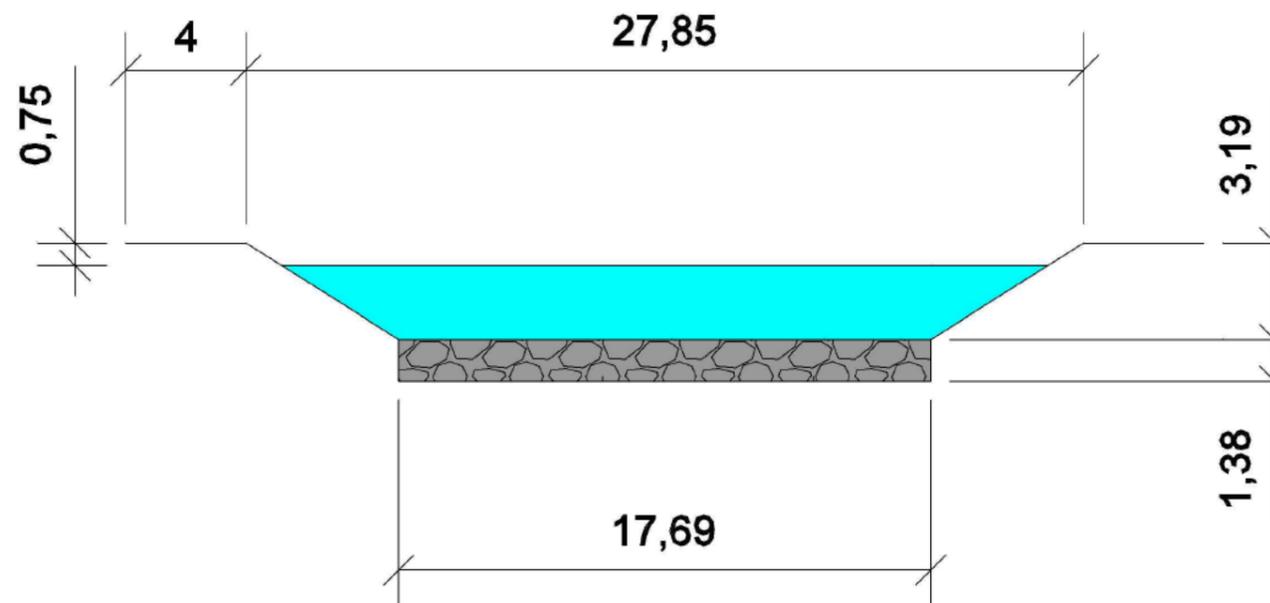


Figura 3.31 Sección transversal tipo del Canal de Desvío.

### 3.5.3 AMPLIACIÓN DEL BARRANCO DE PORTELLES

A sabiendas de que la máxima capacidad del Portelles viene limitada por un caudal de 12 m<sup>3</sup>/s en la sección PK 0+372, incapaz de trasegar el nuevo aporte del desvío proveniente del río Girona, es necesaria una obra de ampliación del cauce.

#### 3.5.3.1 MODIFICACIÓN DE SECCIONES TRANSVERSALES

La modificación del cauce viene determinada por el aporte de caudal proveniente del canal de desvío, de 200 m<sup>3</sup>/s, y el caudal propio obtenido del hidrograma del barranco de Portelles justo en el momento del pico del Girona (el momento de derivación de los 200 m<sup>3</sup>/s).

##### 3.5.3.1.1 ESTIMACIÓN DE LA RUGOSIDAD

La estimación de los distintos coeficientes de rugosidad de Manning en el ámbito del estudio se lleva a cabo empleando el método de Cowan (1956).

En este procedimiento se parte de un coeficiente de rugosidad base, función principalmente del material que constituye lecho y márgenes, que se ve modificado por la existencia de otros factores que cambian la resistencia al flujo que presenta un determinado cauce. La expresión propuesta por Cowan es la siguiente:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m$$

siendo

- n = coeficiente de rugosidad de Manning del cauce
- n<sub>0</sub> = valor base del coeficiente de rugosidad de Manning para un cauce recto y uniforme de material natural.
- n<sub>1</sub> = factor de corrección por efecto de irregularidades superficiales.
- n<sub>2</sub> = factor de corrección por variaciones de forma y tamaño de la sección transversal.
- n<sub>3</sub> = factor de corrección por obstrucciones en el cauce.
- n<sub>4</sub> = factor de corrección por vegetación y condiciones del flujo.
- m = factor de corrección para cauces meandriformes.

Los factores de corrección se obtienen a partir de tablas donde se relacionan los valores numéricos de los mismos con la descripción cualitativa de las características que incrementan el coeficiente de rugosidad. En el caso del factor “m”, el valor depende del grado de sinuosidad del cauce, obtenido como cociente entre la longitud real del cauce y la longitud, en línea recta, entre el principio y el fin del tramo considerado.

Para el número de Manning base puede considerarse como material involucrado en el lecho del barranco de Portelles tierra, ya que según la litología esta tiene presente arenas y limos, y en menor proporción cantos y gravas. Tomando un valor de n<sub>0</sub> = 0.020.

Figura 3.32

El grado de irregularidad es menor, por lo que el valor adoptado para el siguiente coeficiente corrector es n<sub>1</sub> = 0.000 (valor mínimo para grado de irregularidad suave).

El cauce no presenta variaciones importantes de sección transversal en el tramo analizado, y en todo caso, éstas son muy graduales, de manera que no se tiene en cuenta afección por variación brusca de sección transversal, y n<sub>2</sub> = 0.000.

En cuanto a las obstrucciones del cauce, las principales las representan los 4 puentes que atraviesan el tramo objeto de estudio, siendo puentes exentos de pilas, con obstrucción inferior al 5% del área transversal. Además, se trata de afecciones muy puntuales, por lo que el grado de obstrucción es despreciable. Así, el valor adoptado para el coeficiente n<sub>3</sub> es de 0.010 (valor menor).

En cuanto a la presencia de vegetación en el cauce, en la siguiente fotografía (estado actual del barranco de Portelles) se aprecia que es baja en la zona del lecho. Es por lo que se considera que la afección es baja, tomándose un valor medio para n<sub>4</sub> = 0.005.



Figura 3.33 Vegetación Barranco de Portelles. Fuente: Google Maps

Por último, en cuanto al grado de sinuosidad del barranco, el tramo analizado tiene una longitud de aproximadamente 2 km, siendo casi en su totalidad tramos rectos. Esto resulta en un grado de sinuosidad del valor mínimo, siendo  $m = 1$ .

Así pues, el valor del coeficiente de rugosidad de Manning para el cauce es de:

$$n = (0.020 + 0.000 + 0.000 + 0.010 + 0.005) * 1 = 0.035$$

### 3.5.3.1.2 DISEÑO SECCIÓN TRANSVERSAL

Empleando el mismo procedimiento de cálculo que para el canal de desvío, pero manteniendo los materiales del lecho y márgenes, la nueva sección transversal del barranco de Portelles abarcará un total de  $68.46 \text{ m}^2$ , sufriendo las siguientes modificaciones:

- Sección constante en los 2014 metros de estudio, con dimensiones de:  
Ancho Superior = 21.2 metros; Ancho Inferior = 11.42 metros; Calado = 3.26 metros
- Excavación a lo largo de los 2 km de estudio en un total de  $100574.2 \text{ m}^3$
- Elevación de motas de 1.5 metros de altura a lo largo de todo el tramo de estudio.

A continuación se representa la diferencia de capacidades en una sección cualquiera del tramo de estudio, antes y después de la modificación.

Esta sección transversal modificada es la que se ha mantenido a lo largo de todo el barranco de Portelles, con taludes de 1.5H:1V.

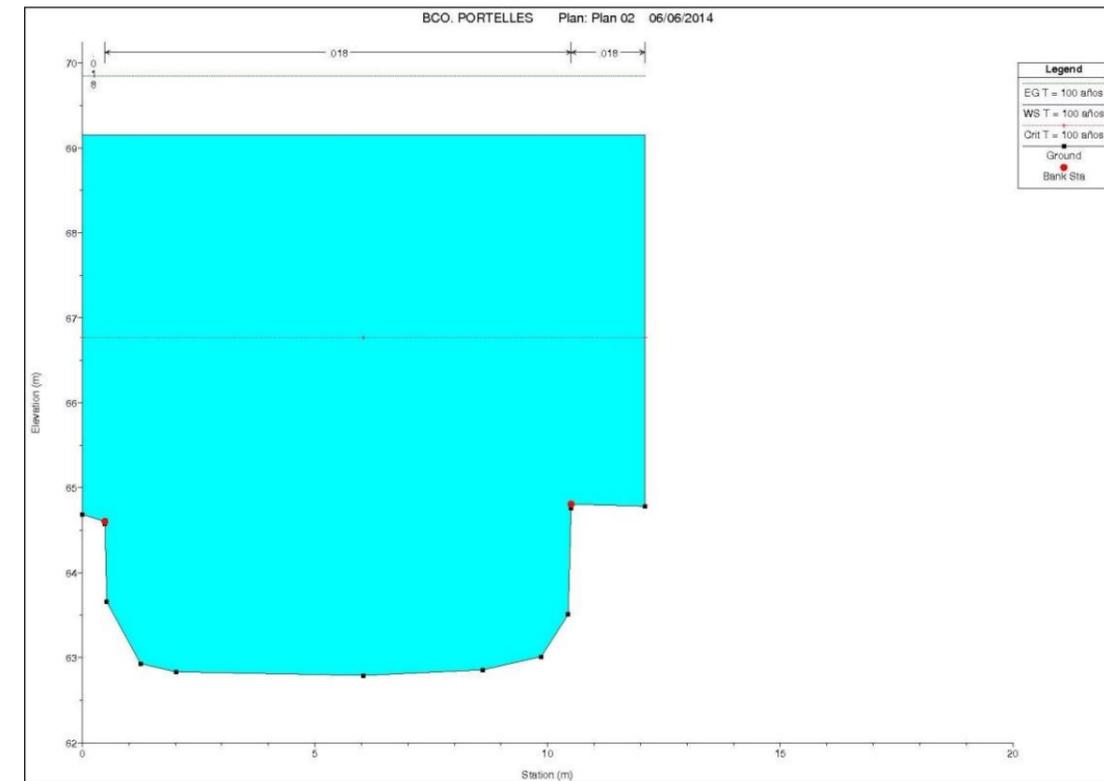


Figura 3.34 Sección PK 1+935 sin modificar HEC-RAS

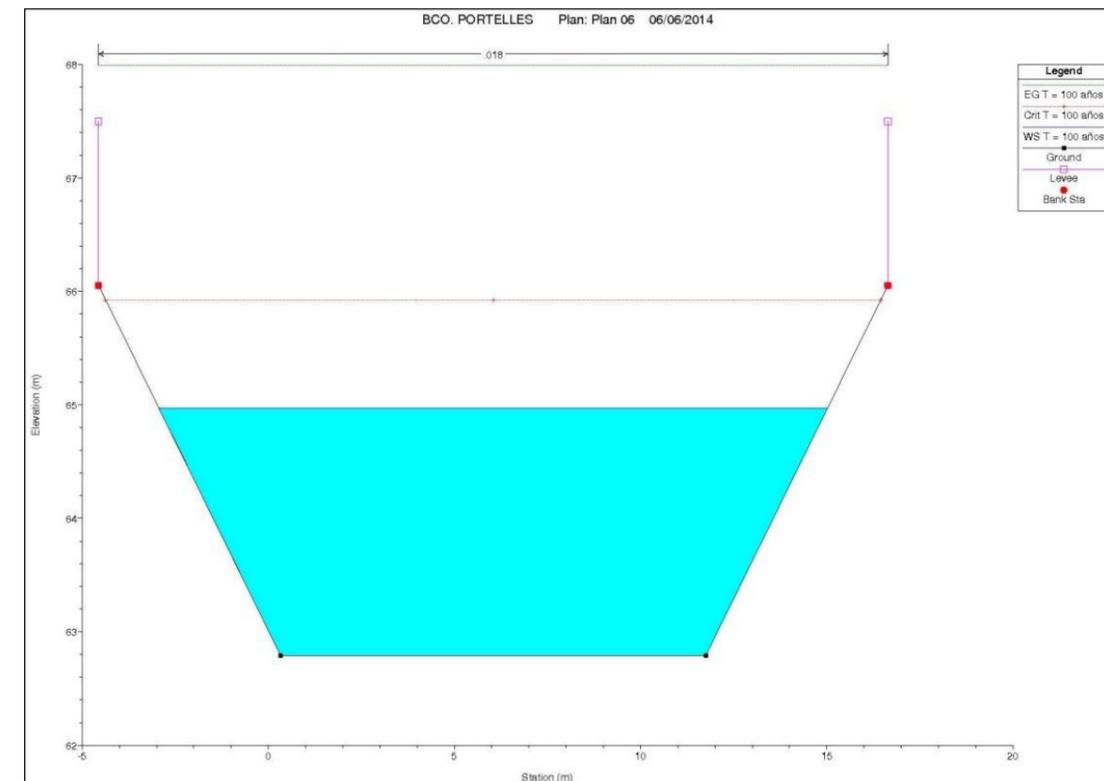


Figura 3.35 Sección PK 1+935 modificado HEC-RAS

### 3.5.3.2 MODIFICACIÓN DE LOS PUENTES

Los puentes existentes en el barranco de Portelles no tienen cavidad tras el nuevo diseño de las secciones transversales, es por lo que tienen que ser modificados de modo que cumplan con la nueva sección y sigan siendo funcionales.

A modo de comparación, los puentes quedarían de la siguiente manera:

#### Puente Av.Valencia

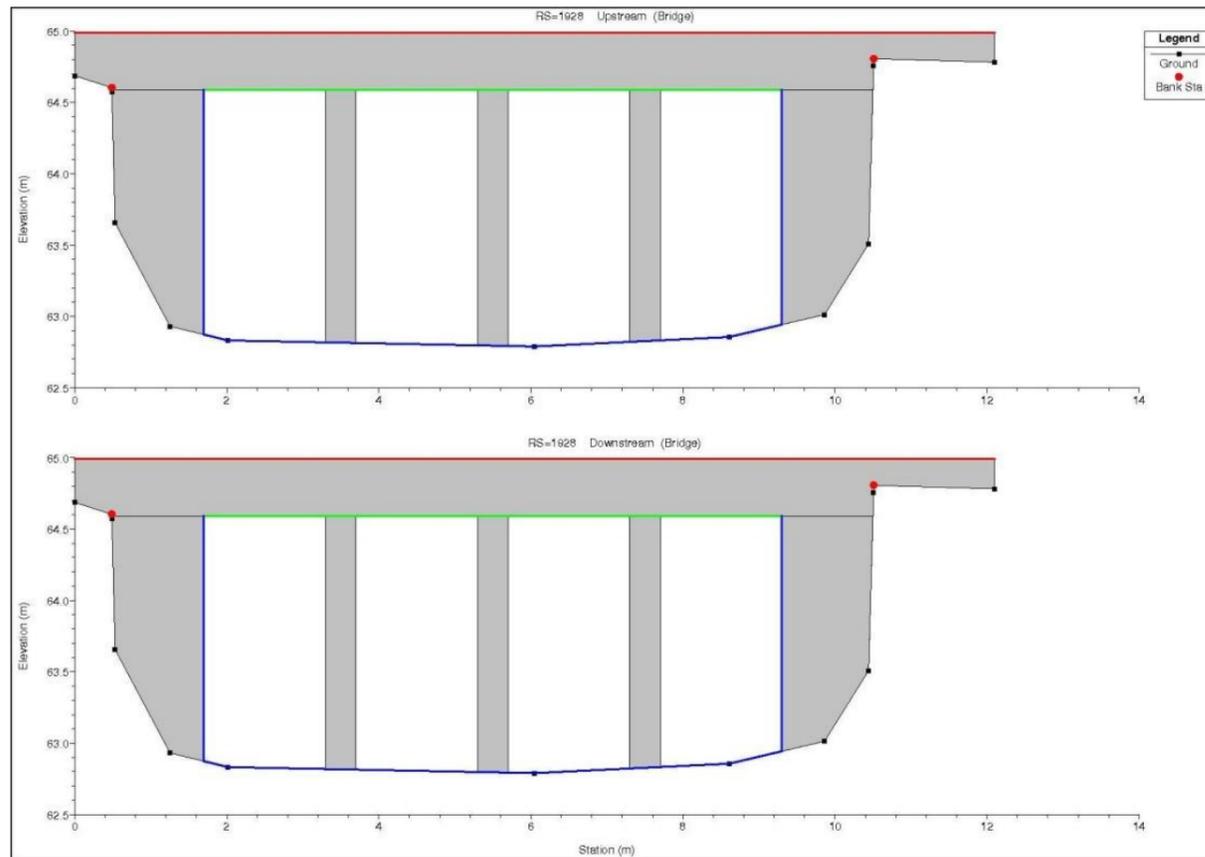


Figura 3.36 Sección PK 1+928 sin modificar HEC-RAS

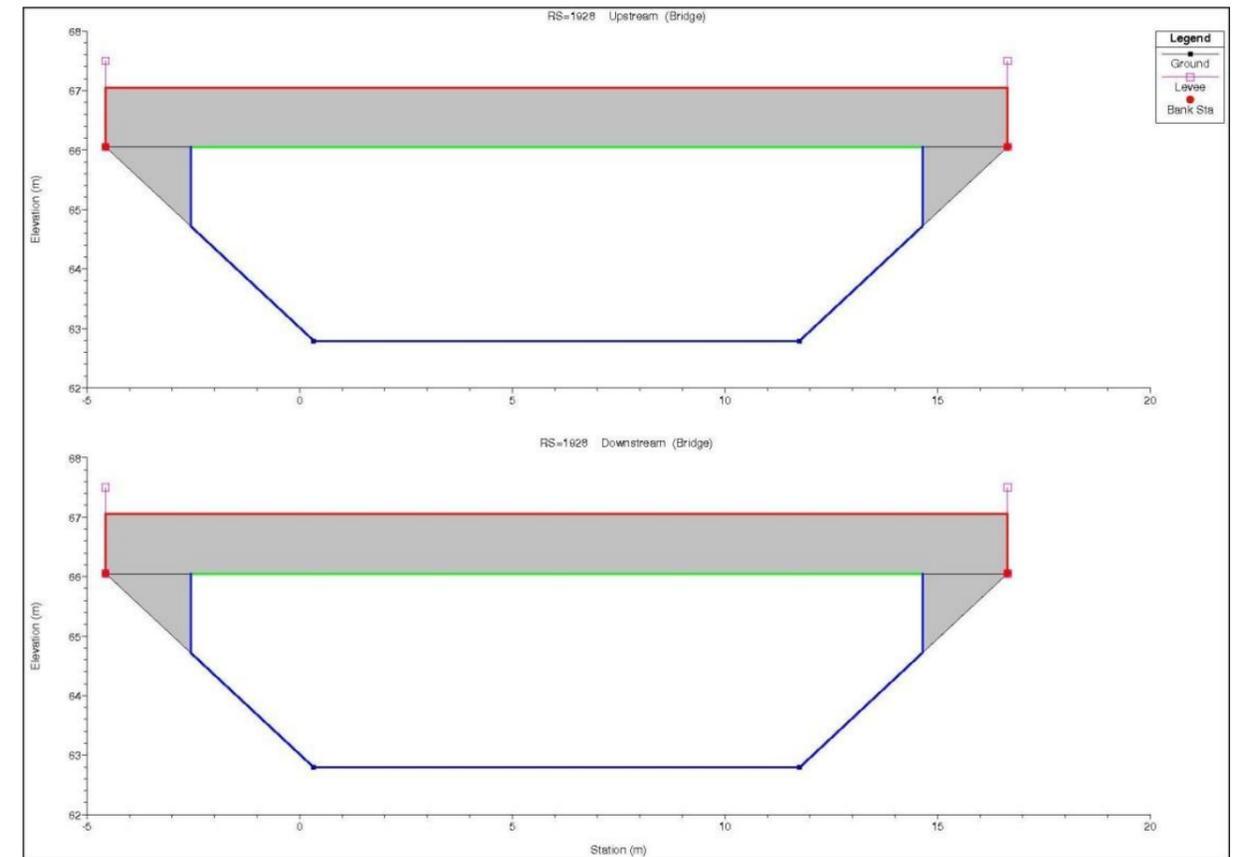


Figura 3.37 Sección PK 1+928 modificado HEC-RAS

Eliminación de las 3 pilas siendo redundantes para un tablero de 8 metros de luz.

**Puente Centro Comercial**

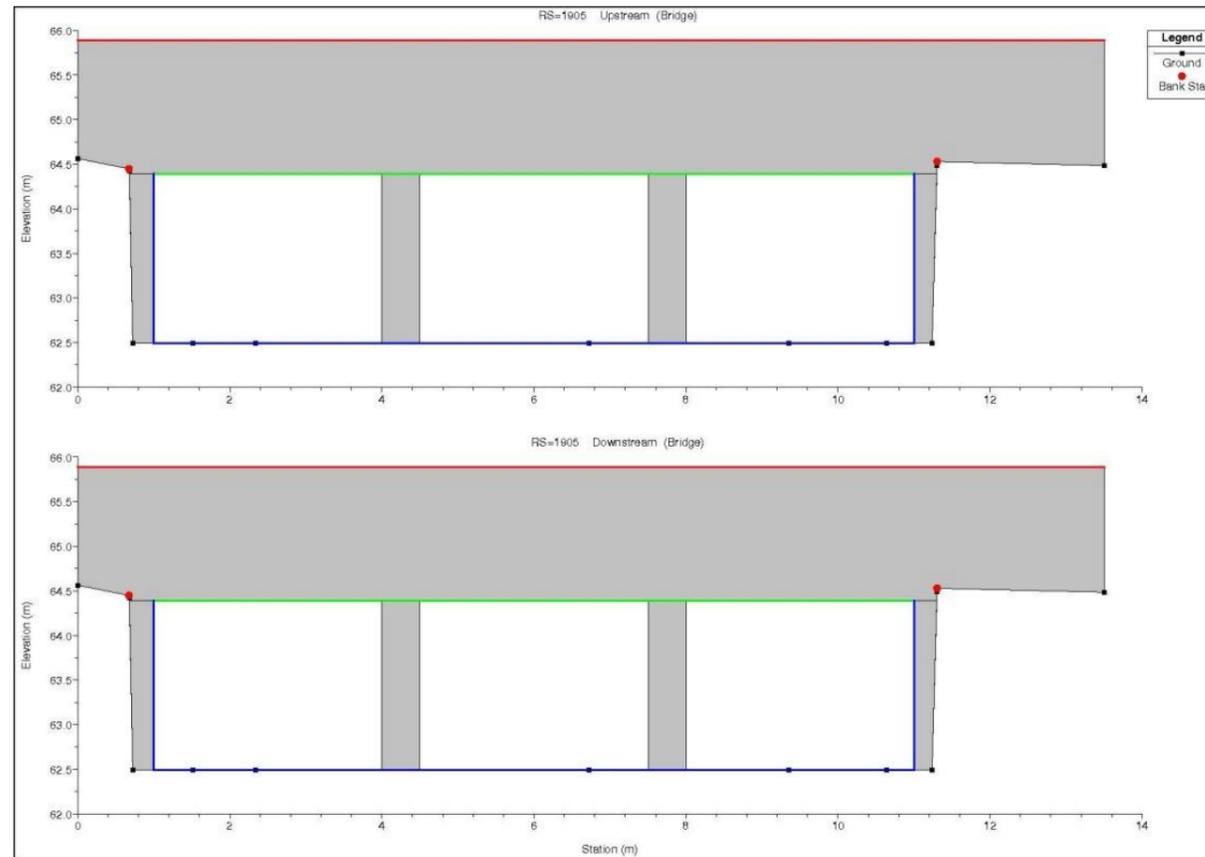


Figura 3.38 Sección PK 1+905 sin modificar HEC-RAS

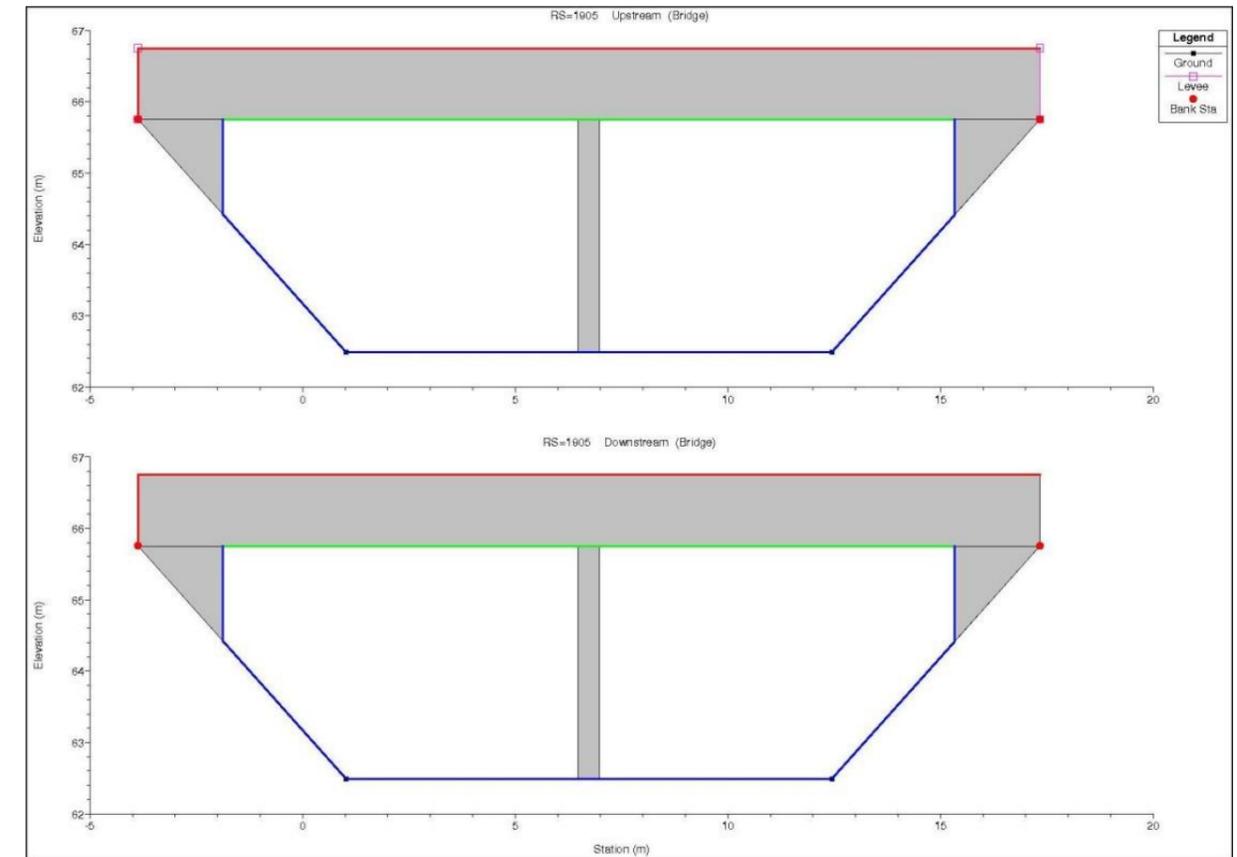


Figura 3.39 Sección PK 1+905 modificado HEC-RAS

El nuevo puente del centro comercial pasará a tener una pila en lugar de dos a pesar de aumentar en 10 m de luz, gracias a la reducción del ancho del tablero de 1.5 metros a 1 metro.

**Puente C/47 Partida Barranquets**

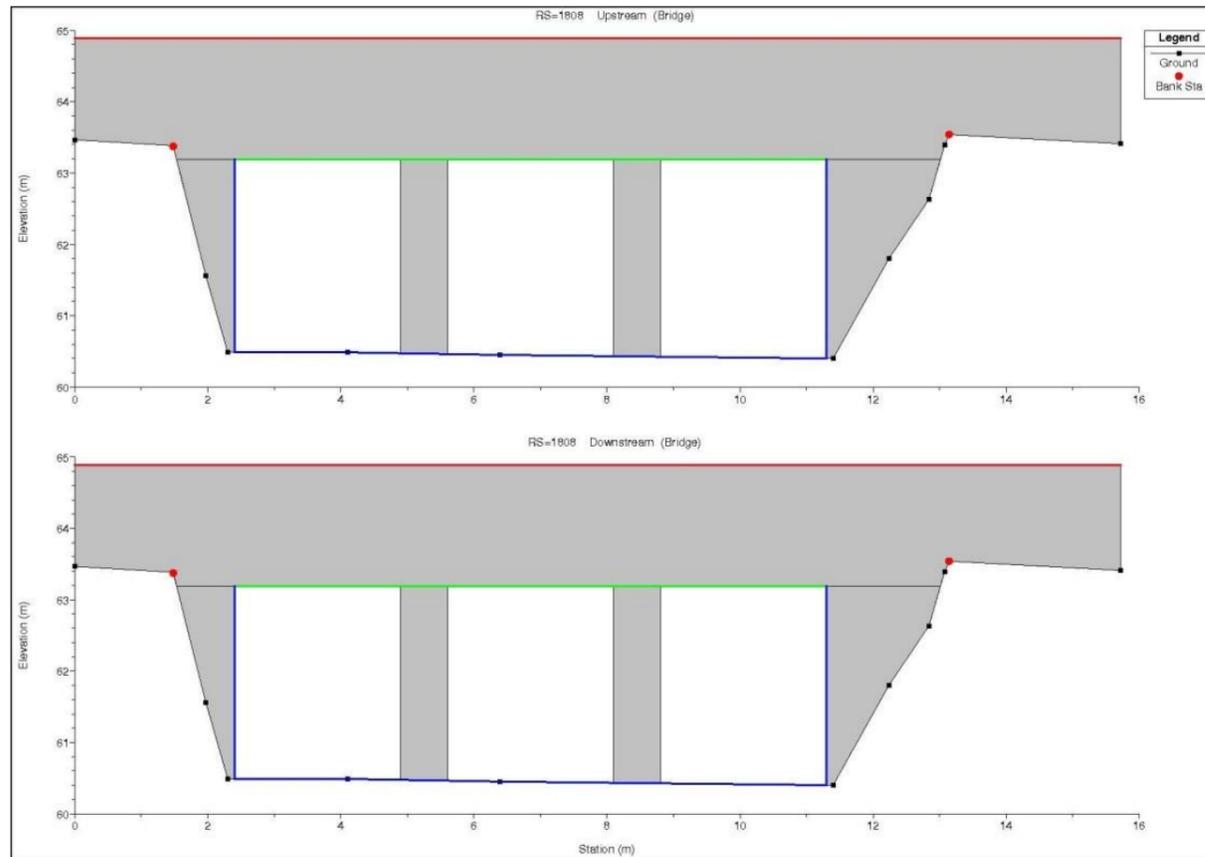


Figura 3.40 Sección PK 1+808 sin modificar HEC-RAS

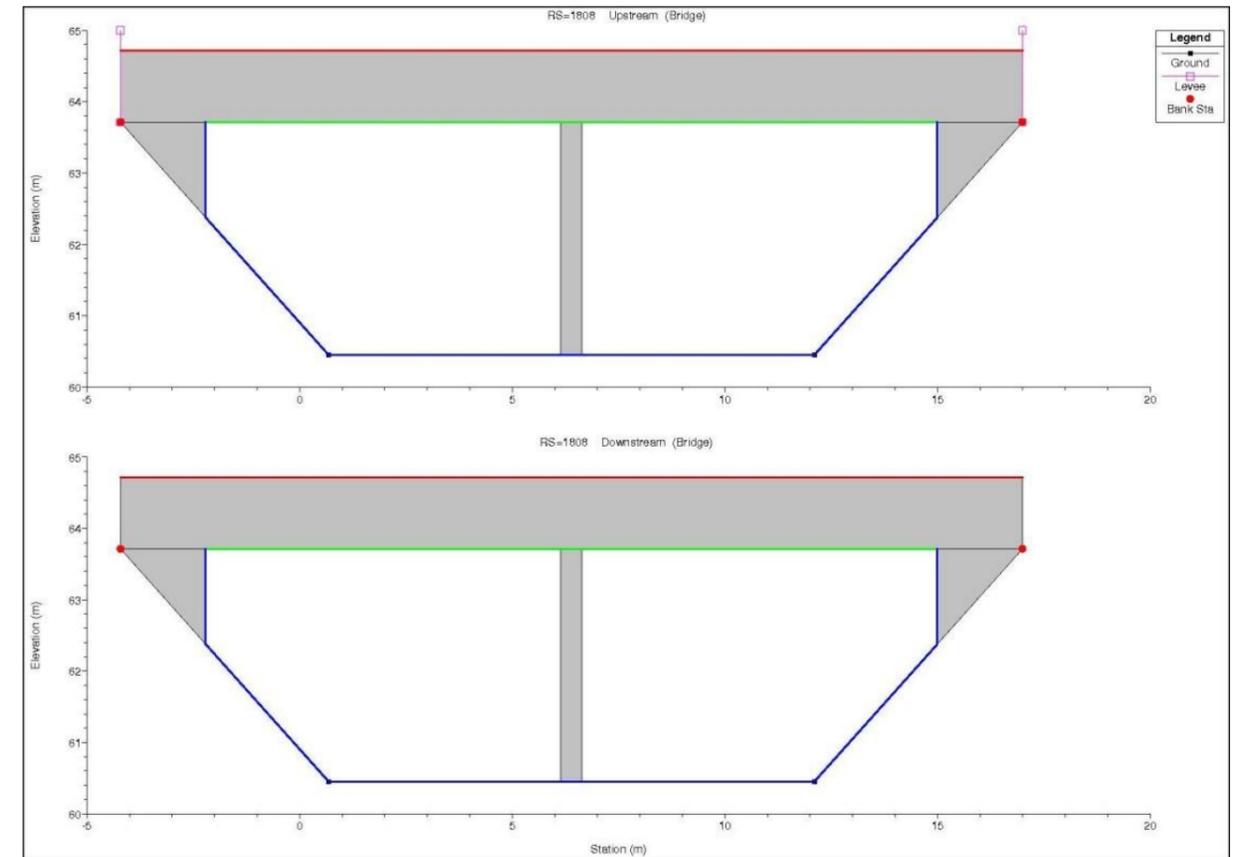


Figura 3.41 Sección PK 1+808 modificado HEC-RAS

Mismas modificaciones que en el puente anterior, diseño con una única pila y reducción del ancho del tablero en 50 centímetros.

**Puente C/Les Marines**

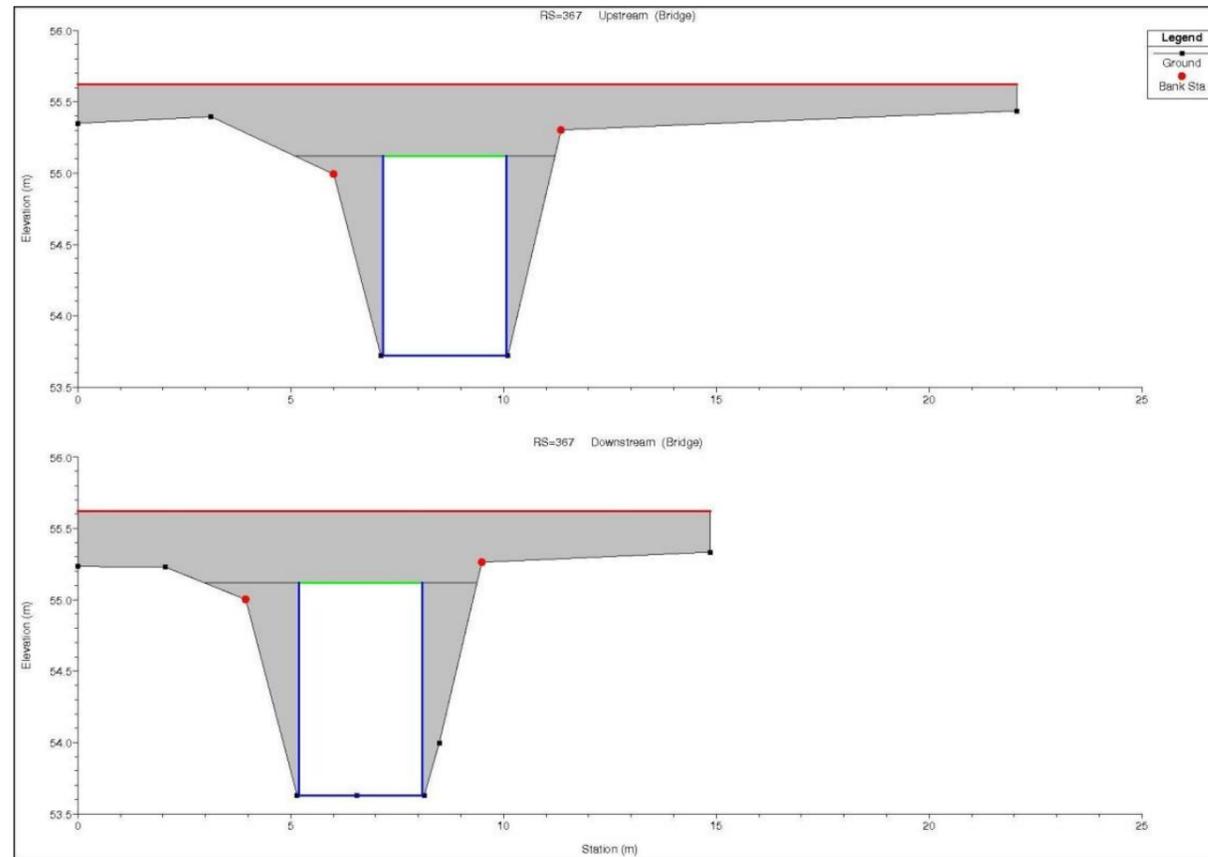


Figura 3.42 Sección PK 0+367 sin modificar HEC-RAS

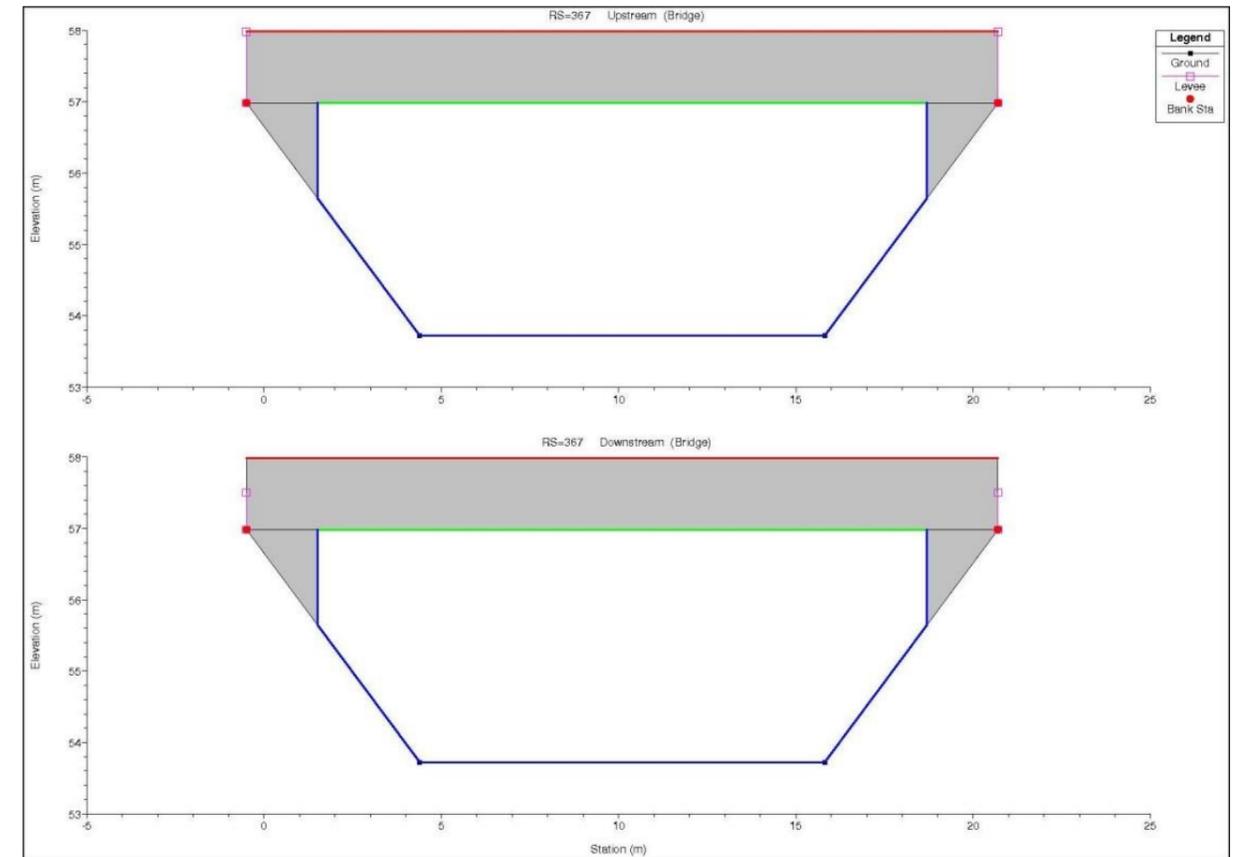


Figura 3.43 Sección PK 0+367 modificado HEC-RAS

Sección más modificada, pasando de un puente con 3 metros de luz a uno de 18 metros y aumentando el ancho del tablero en 50 centímetros.

### 3.5.3.3 PERFIL LONGITUDINAL RESULTANTE DEL BARRANCO DE PORTELLES AMPLIADO

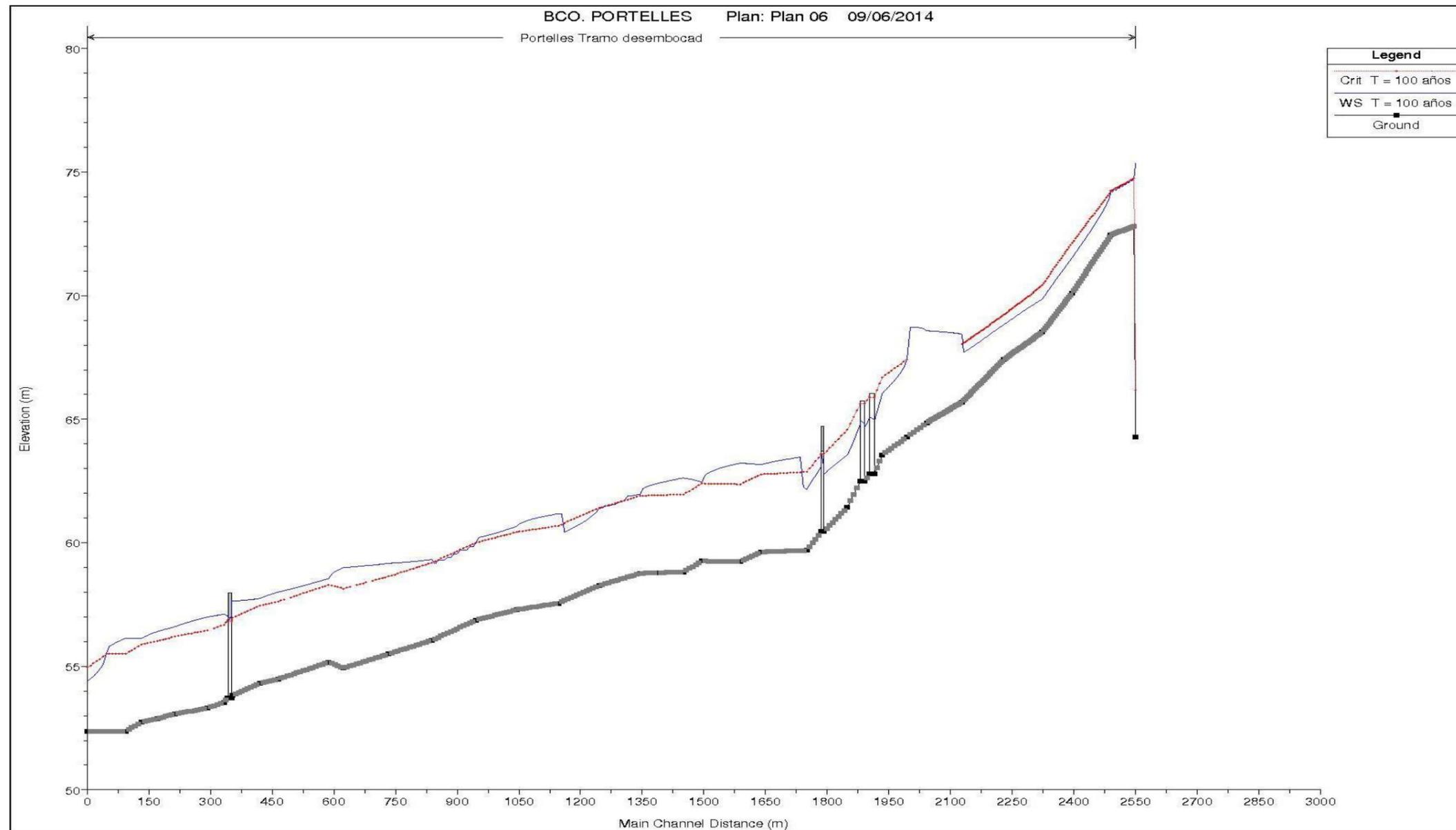


Figura 3.44 Solape hidrogramas  $T = 25$  años

Como se puede observar en el perfil longitudinal del barranco de Portelles ya ampliado, ninguno de los puentes se ve desbordado y el flujo discurre en régimen lento en casi todo el tramo.

### 3.5.4 HIDROGRAMAS RESULTANTES

Los siguientes hidrogramas han sido realizados considerando una capacidad de  $286.1 \text{ m}^3/\text{s}$  en el cauce del río Girona, para la zona modelada hidráulicamente, de forma que dicha capacidad no sea superada en ningún punto del hidrograma del Girona. En el momento de superarse tal capacidad, el excedente de caudal que llegue al punto de desvío será derivado al barranco de Portelles a través de la obra de desvío.

El barranco de Portelles ha sido diseñado, ampliando su sección, con una capacidad máxima de  $250 \text{ m}^3/\text{s}$ , resultado de los  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  desviados del Girona más el caudal propio del Portelles en el momento en el que el Girona necesita desviar. Finalmente, el sistema funciona hidráulicamente sin sufrir inundaciones para un periodo de retorno de 100 años, siendo el caudal máximo de transferencia de  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  (caudal para el cual se ha diseñado el canal de desvío).

Observando el solape de los hidrogramas del Girona y Portelles para un periodo de retorno de 100 años, se justifica el criterio de diseño para el barranco de Portelles, haciendo aumentar su capacidad hasta los  $250 \text{ m}^3/\text{s}$ .

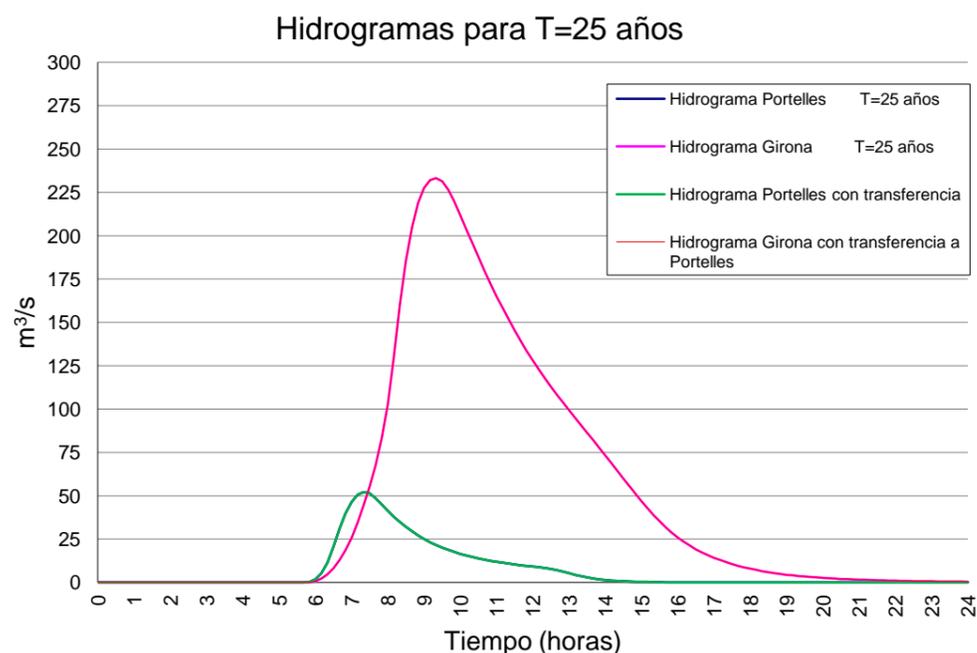


Gráfico 3.5 Solape hidrogramas T = 25 años

Los hidrogramas del Girona con y sin transferencia al Portelles quedan superpuestos ya que para un periodo de retorno de 25 años el Girona no agota su capacidad de  $286.1 \text{ m}^3/\text{s}$ .

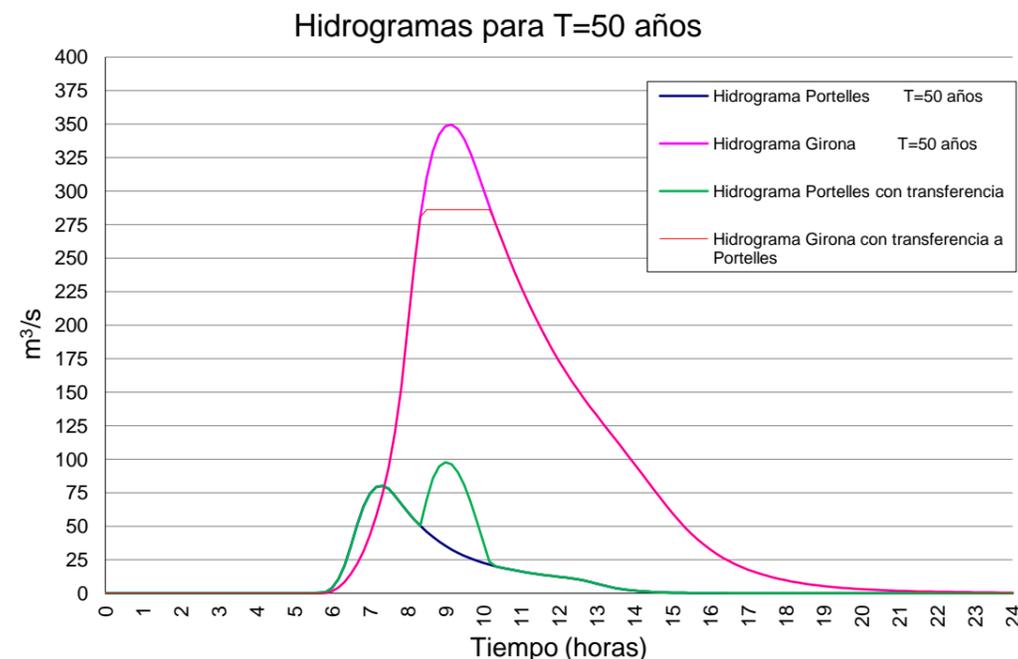


Gráfico 3.6 Solape hidrogramas T = 50 años

Como se puede observar el pico de crecida del Girona alcanza los  $350 \text{ m}^3/\text{s}$ , siendo necesario desviar el excedente de  $64 \text{ m}^3/\text{s}$  en el  $T_0 + 8$  horas.

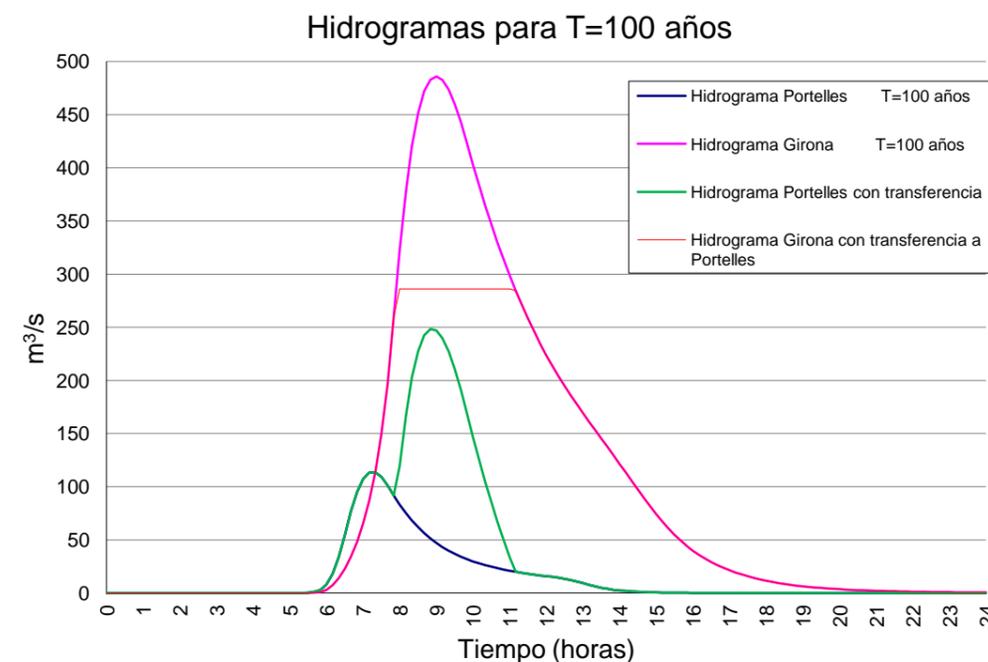


Gráfico 3.7 Solape hidrogramas T = 100 años

Periodo de retorno a partir del cual se han diseñado las distintas actuaciones, es por lo que se agota la capacidad del río Girona y la del barranco de Portelles.

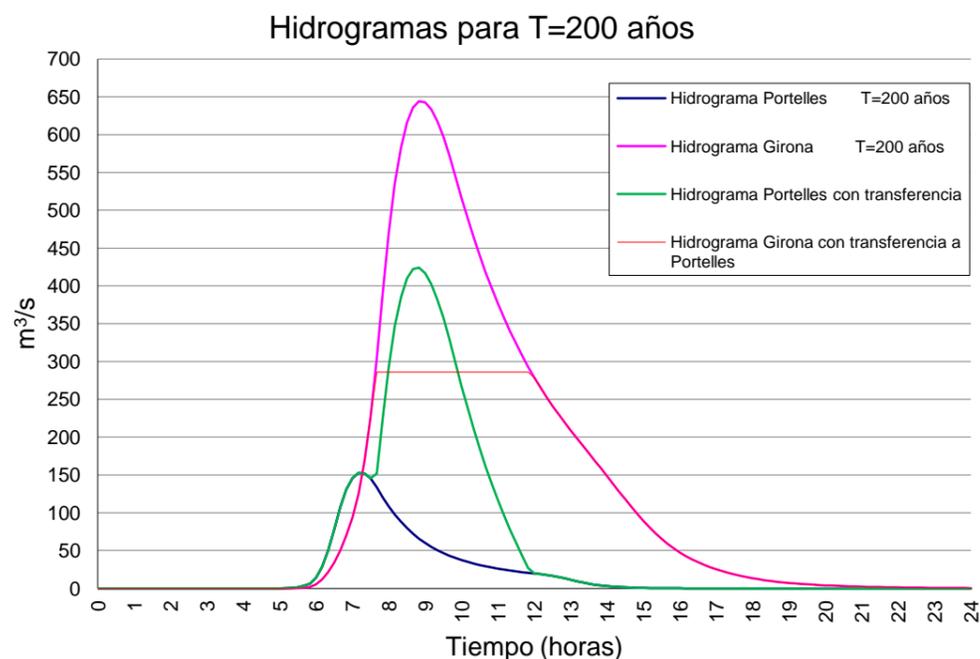


Gráfico 3.8 Solape hidrogramas T = 200 años

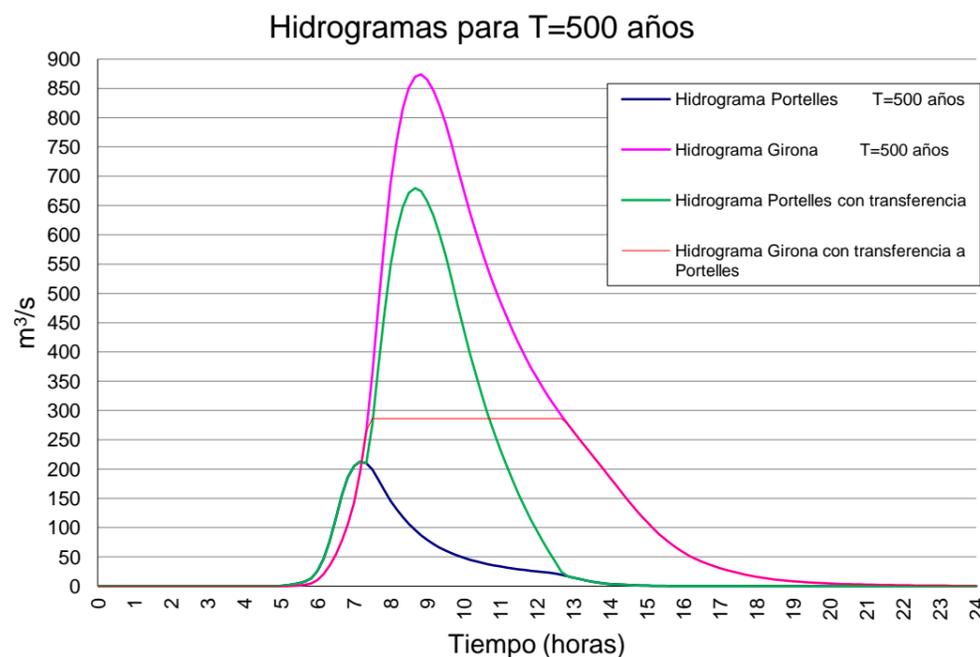


Gráfico 3.9 Solape hidrogramas T = 500 años

Como era de esperar, para periodos de retorno superiores a 100 años el diseño pasa a ser insuficiente, manteniendo el Girona en 286.1 m<sup>3</sup>/s y desviando el exceso a la obra de desvío, quedando ésta desbordada.

Para evitar daños mayores, la obra de desvío se ha instalado lejos de la zona urbana, permitiendo así aumentar el tiempo de actuación de Protección Civil, considerándolo como una actuación no estructural frente a inundaciones.

### 3.5.5 RESULTADOS NÚMEROS DEL MODELO

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el modelo hidrológico de HEC-RAS, tanto del río Girona ya modificado como del barranco de Portelles.

#### Río Girona

Sección	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Cota lecho (m)	Cota agua (m)	Cota crítico (m)	Cota energ. (m)	Pend. energ. (m/m)	Veloc (m/s)	Ancho (m)	Froude
6241.873	286.1	28	30.7	30.3	31.1	0.003372	2.83	63.57	0.68
6146.458	286.1	27.38	30.68	29.58	30.84	0.001123	1.75	83.26	0.4
6081.801	286.1	27	30.65	29.27	30.77	0.000727	1.56	81.4	0.33
6039.744	286.1	26.83	30.19	29.47	30.67	0.002745	3.08	38.2	0.63
6008.88	286.1	26.72	29.67	29.54	30.51	0.006202	4.06	35.26	0.92
5930.125	286.1	26.5	29.1	29.31	29.97	0.007884	4.13	41.2	1.02
5866.953	286.1	26.35	28.97	27.92	29.13	0.001243	1.75	89.6	0.41
5795.202	286.1	26.2	28.71	27.81	28.95	0.001762	2.18	81.97	0.5
5741.657	286.1	26.03	28.33	28.12	28.79	0.00488	3.01	72.03	0.79
5695.194	286.1	24.68	26.61	27.05	28.22	0.016688	5.62	33.35	1.45
5647.199	286.1	23.94	27.21	26.14	27.48	0.001667	2.29	55.25	0.49
5614.307	286.1	23.73	26.91	26.45	27.38	0.003585	3.04	48.36	0.7
5591.554	286.1	23.58	26.92	25.95	27.26	0.001836	2.58	43.44	0.52
5571.084	286.1	23.45	26.2	26.2	27.1	0.007642	4.19	38.28	1
5548.087	286.1	23.32	26.21	25.99	26.84	0.005333	3.5	46.02	0.84
5525.056	286.1	23.2	26.06	25.84	26.7	0.006133	3.56	49.84	0.89
5475.316	286.1	22.88	26.09	24.89	26.4	0.001567	2.46	45.52	0.48
5409.427	286.1	22.5	25.58	25.08	26.21	0.003955	3.52	36.33	0.75
5381.072	286.1	22.34	25.7		26.04	0.002143	2.57	50.75	0.55
5326.971	286.1	22.06	25.73	24.68	25.89	0.001037	1.74	78.04	0.38
5289.559	286.1	21.57	25.71	24.32	25.85	0.000764	1.68	67.07	0.34
5249.12	286.1	20.97	25.56	24.29	25.8	0.00122	2.17	49.78	0.43
5212.207	286.1	20.84	25.18	24.39	25.7	0.002881	3.21	35.02	0.64
5187.155	286.1	20.76	25.08	24.2	25.6	0.002717	3.2	33.62	0.63
5148.668	286.1	20.65	25.09		25.46	0.002768	2.72	52.68	0.62
5091.241	286.1	20.51	24.25	23.85	25.21	0.004973	4.34	23.55	0.83
5033.829	286.1	20.34	23.63	23.26	24.45	0.004779	4.01	29.39	0.82
4935.528	286.1	20.02	23.77		24.05	0.00171	2.32	55.1	0.49
4881.984	286.1	19.67	23.35	22.54	23.91	0.002844	3.34	31.52	0.65
4830.537	286.1	19.33	23.34	22.21	23.74	0.001905	2.81	36.12	0.54
4773.405	286.1	18.91	23.03		23.44	0.001963	2.84	35.77	0.54
4694.463	286.1	18.47	22.96		23.27	0.001673	2.45	47.11	0.5

4633.934	286.1	18.15	22.77	21.46	23.16	0.001821	2.74	36.11	0.51
4615	286.1	18.07	22.74	21.44	23.12	0.00185	2.74	36.73	0.52
4612	Bridge								
4597	286.1	18.07	22.41	21.43	22.9	0.002516	3.09	34.53	0.6
4522.13	286.1	17.7	22.21	20.97	22.69	0.003067	3.07	40.72	0.65
4451.115	286.1	17.46	21.85	21.4	22.41	0.003827	3.29	40.77	0.72
4410.217	286.1	17.31	21.7		22.23	0.004045	3.22	43.93	0.72
4385.815	286.1	17.22	21.65		22.12	0.003405	3.03	45.02	0.67
4341.516	286.1	17.07	20.98		21.93	0.004749	4.32	23.12	0.82
4232.285	286.1	16.64	20.93		21.39	0.002155	2.99	36.77	0.57
4142.1	286.1	16.3	20.5		21.05	0.003808	3.29	40.93	0.72
4091.542	286.1	16.1	19.68	19.68	20.74	0.007641	4.55	29.91	1
3937.874	286.1	15.42	19.53		19.82	0.000761	2.39	51.09	0.5
3904.595	286.1	15.28	19.44		19.79	0.000981	2.6	48.28	0.55
3883.01	286.1	15.19	19.26		19.75	0.001657	3.08	45.93	0.69
3843.595	286.1	15.03	19.36		19.64	0.000836	2.32	57.61	0.51
3827.572	286.1	14.97	19.33	18.01	19.62	0.000881	2.41	53.43	0.51
3811.608	286.1	14.93	19.28	18.09	19.6	0.000969	2.51	48.64	0.52
3739.538	286.1	14.74	19.29		19.53	0.000431	2.21	39.27	0.39
3699.389	286.1	14.63	19.24	17.3	19.51	0.000563	2.32	40.16	0.42
3638.119	286.1	14.47	19.2	17.06	19.48	0.000436	2.33	31.47	0.38
3627	Bridge								
3620.607	286.1	13.88	19.06	16.34	19.33	0.000375	2.3	24.8	0.32
3559.374	286.1	13.6	19.06	16.22	19.28	0.000341	2.06	33.21	0.32
3486.756	286.1	13.6	18.44	17.13	19.18	0.001258	3.81	19.22	0.59
3454.24	286.1	13.53	16.16	16.94	18.85	0.009204	7.28	18.09	1.58
3414.998	286.1	13.65	15.53	16.39	18.39	0.012205	7.49	21.39	1.79
3389.159	286.1	13.17	17.36	16.02	17.91	0.001032	3.29	22.51	0.53
3383	Bridge								
3374.627	286.1	13.08	17.22	15.9	17.68	0.000898	3.01	29.33	0.53
3335.815	286.1	12.86	17.02	16.1	17.62	0.001462	3.44	37.65	0.66
3294.566	286.1	12.71	16.25	16.09	17.47	0.002927	4.89	21.14	0.94
3220.308	286.1	12.45	15.6	15.75	17.12	0.003936	5.45	20.35	1.08
3215	286.1	12.3	13.77	14.7	16.91	0.01827	7.86	27.4	2.17
3213	Bridge								
3205	286.1	12.3	13.81	14.7	16.77	0.016631	7.62	27.53	2.08
3171.719	286.1	12.19	15.04	14.04	15.43	0.001877	2.76	37.47	0.52
3134.04	286.1	11.97	14.87	13.69	15.16	0.001533	2.48	42.77	0.47
3100.154	286.1	11.85	14.76	13.63	15.06	0.001565	2.44	43.14	0.47
3048.214	286.1	11.66	14.01	13.77	14.85	0.005331	4.07	30.11	0.85
2971.835	286.1	11.36	14.05	13.15	14.43	0.002146	2.71	39.96	0.53
2901.178	286.1	11.09	14.07	12.63	14.26	0.000919	1.93	51.78	0.37
2858.631	286.1	10.95	13.88	12.79	14.2	0.001648	2.47	43.41	0.48
2816.969	286.1	10.5	13.79	12.55	14.09	0.001503	2.44	39.01	0.45

2746.525	286.1	10.5	13.39	12.68	13.92	0.003021	3.23	34.36	0.64
2712.836	286.1	10.5	13.55	12.13	13.74	0.000972	1.93	52.29	0.37
2636.487	286.1	10.03	13.59	11.36	13.66	0.000273	1.18	71.42	0.2
2615	286.1	10.03	13.59	11.3	13.65	0.000232	1.09	77.12	0.19
2614	286.1	9.99	13.6	11.11	13.65	0.000193	1.03	77.44	0.17
2604	Bridge								
2603.5	286.1	9.99	13.59	11.11	13.65	0.000195	1.03	76.98	0.17
2602.952	286.1	9.83	13.6		13.64	0.000165	0.97	122.7	0.16
2565.662	286.1	9.68	13.59	10.86	13.64	0.000157	0.97	76.74	0.16
2478.696	286.1	9.5	13.46	11.14	13.58	0.000189	1.55	49.09	0.25
2426.47	286.1	9.47	12.15	12.13	13.43	0.003626	5	21.83	0.99
2375.95	286.1	9.01	10.97	11.56	13.04	0.009639	6.38	27.09	1.58
2373	286.1	8.7	12.44	10.89	12.81	0.000695	2.72	28.31	0.45
2367	Bridge								
2360	286.1	8.7	12.07	10.89	12.53	0.000955	3.01	28.27	0.53
2358.066	286.1	8.5	11.87	11.2	12.51	0.00158	3.55	28.25	0.67
2299.986	286.1	8	11.92	10.54	12.4	0.0009	3.07	24.88	0.51
2247.046	286.1	8	10.95	10.95	12.23	0.003787	5.01	22.28	1
2176	286.1	7.5	9.66	10.2	11.71	0.007793	6.36	22.13	1.42
2168	Bridge								
2166.497	286.1	7.5	9.95	10.2	11.52	0.005115	5.55	22.15	1.16
2107.66	286.1	6.08	10.34	8.87	10.84	0.000923	3.15	22.82	0.5
2040.767	286.1	5.87	10.27	8.58	10.75	0.001768	3.06	24.81	0.48
1981.985	286.1	5.67	10.18	8.6	10.63	0.001789	2.96	37.5	0.5
1938.722	286.1	5.52	9.21	8.88	10.43	0.00586	4.9	17.77	0.86
1880.491	286.1	5.34	9.36	8.43	9.99	0.003738	3.53	35.21	0.71
1831.687	286.1	5.18	7.1	7.77	9.35	0.020613	6.65	24.8	1.61
1782.427	286.1	5	8.64	7.14	8.88	0.001473	2.19	55.63	0.46
1721.744	286.1	4.7	8.49	7.19	8.79	0.001642	2.43	46.73	0.49
1658.737	286.1	4.36	8.35	6.65	8.61	0.00139	2.23	64.31	0.45
1612.237	286.1	3.99	8.34	6.41	8.54	0.000817	1.97	62.93	0.35
1567.616	286.1	3.82	7.03	7.03	8.34	0.00752	5.07	21.55	1
1508.715	286.1	3.58	5.76	6.22	7.54	0.015157	5.92	26.31	1.39
1394.991	286.1	3.12	6.73	5.3	6.96	0.001073	2.15	46.46	0.41
1329.739	286.1	2.87	6.76	4.77	6.86	0.00046	1.44	67.35	0.27
1281.943	286.1	2.71	6.39	5.16	6.79	0.001679	2.79	36.36	0.5
1236.842	286.1	2.66	4.52	5.03	6.33	0.017135	5.96	28.74	1.47
1170.021	286.1	2.13	5.46		5.69	0.001196	2.13	51.58	0.42
1105.065	286.1	1.95	5.44	3.74	5.61	0.000741	1.81	54.25	0.34
1016.104	286.1	1.63	4.84	4.17	5.42	0.00306	3.37	32.77	0.67
964.936	286.1	1.39	4.84	3.88	5.22	0.00206	2.71	42.97	0.55
929.088	286.1	0.89	4.85	3.39	5.13	0.001209	2.37	38.27	0.43
890.465	286.1	0.7	4.78	3.28	5.08	0.001614	2.41	46.75	0.48
858.531	286.1	0.53	4.78	3.04	5.02	0.000932	2.14	46.95	0.38
815.752	286.1	0.37	4.8	2.88	4.96	0.000776	1.76	94.95	0.34
751.617	286.1	0.29	4.59	3.27	4.88	0.001523	2.37	62.03	0.47

703.181	286.1	0.28	4.03	3.77	4.71	0.005201	3.67	56.77	0.83
671.005	286.1	0.28	3.99	3.55	4.52	0.003682	3.24	78.04	0.71
587.892	286.1	0.25	3.94	3.3	4.19	0.00181	2.34	139.84	0.51
530.807	286.1	0.21	3.92	3.18	4.07	0.001077	1.88	144.32	0.4
445.798	286.1	0.16	3.72	2.89	3.93	0.001212	2.14	95.01	0.43
374.148	286.1	0.1	3.74	2.35	3.83	0.000515	1.28	107.31	0.27
309	286.1	0.08	3.59	2.56	3.77	0.00119	1.88	71.72	0.41
290	Bridge								
285	286.1	0.08	3.33		3.57	0.001778	2.13	70.98	0.49
276.6	286.1	0.07	3.41	1.45	3.52	0.000486	1.51	58	0.27
258.51	286.1	0.03	2.89	2.13	3.46	0.003107	3.33	30	0.63
196.75	286.1	0.03	2.39	2.14	3.2	0.005452	4	56.54	0.83
92.81	286.1	0.03	2.53	2.09	2.73	0.001754	2.22	160.31	0.49
33.233	286.1	0.03	2.07	2.07	2.57	0.004993	3.25	111.9	0.81

Tabla 3.13. Resultados numéricos de HEC-RAS para las secciones principales del río Girona

**Barranco de Portelles**

Sección	Caudal (m3/s)	Cota lecho (m)	Cota agua (m)	Cota crítico (m)	Cota energ. (m)	Pend. energ. (m/m)	Veloc (m/s)	Ancho (m)	Froude
2570	47.1	64.28	75.36	66.16	75.38	0.00001	0.63	7.91	0.06
2510	47.1	72.46	74.22	74.23	74.87	0.004006	3.63	10.7	0.95
2416	47.1	70.11	71.54	72.13	73.45	0.017521	6.14	9.13	1.99
2343	47.1	68.52	69.85	70.41	71.92	0.023163	6.57	11.76	2.05
2249	47.1	67.41	68.82	69.23	70.24	0.01187	5.61	8.79	1.55
2148	47.1	65.69	68.43	68.05	69.06	0.002552	3.77	6.6	0.75
2062	47.1	64.86	68.57		68.83	0.000659	2.36	7.48	0.4
2014	247.1	64.28	67.42	67.42	68.63	0.00328	4.88	20.84	1
1954	247.1	63.56	66.05	66.7	68.23	0.006078	6.53	18.9	1.47
1935	247.1	62.79	64.97	65.93	68	0.009767	7.71	17.97	1.84
1928	Bridge								
1923	247.1	62.79	65.06	65.93	67.81	0.008522	7.35	18.22	1.73
1911.5	247.1	62.49	64.68	65.63	67.68	0.00962	7.67	17.99	1.83
1905	Bridge								
1900.6	247.1	62.49	64.82	65.63	67.4	0.007746	7.11	18.41	1.65
1869	247.1	61.43	63.54	64.57	66.82	0.026513	8.02	17.76	1.94
1812	247.1	60.45	62.77	63.59	65.37	0.018979	7.14	18.38	1.66

1808	Bridge								
1806	247.1	60.45	63.11	63.59	64.96	0.011621	6.02	19.41	1.32
1770	247.1	59.69	62.16	62.87	64.51	0.009884	6.8	18.06	1.53
1659	247.1	59.63	63.16	62.77	64.06	0.002546	4.2	21.21	0.81
1609	247.1	59.23	63.22	62.37	63.88	0.001754	3.6	21.21	0.64
1515	247.1	59.26	62.44	62.4	63.61	0.004139	4.8	20.96	0.98
1470	247.1	58.81	62.62	61.95	63.36	0.001732	3.81	21.21	0.7
1407	247.1	58.79	62.39	61.92	63.24	0.001935	4.09	21.2	0.77
1365	247.1	58.76	61.96	61.89	63.11	0.00404	4.76	21.02	0.97
1265	247.1	58.27	61.38	61.41	62.62	0.004105	4.94	20.75	1.02
1166	247.1	57.55	61.17	60.69	62.01	0.002523	4.07	21.21	0.77
1064	247.1	57.29	60.66	60.43	61.67	0.004884	4.44	21.2	0.88
966	247.1	56.87	60.01	60.01	61.22	0.004716	4.88	20.84	1
858	247.1	56.05	59.32	59.19	60.41	0.004051	4.62	21.21	0.93
753	247.1	55.5	59.16	58.64	59.98	0.002617	4	21.21	0.75
644	247.1	54.93	58.99	58.14	59.69	0.002055	3.71	21.2	0.67
607	247.1	55.16	58.55	58.3	59.55	0.005136	4.41	21.2	0.87
484	247.1	54.48	58	57.62	58.9	0.004449	4.21	21.2	0.81
440	247.1	54.31	57.74	57.45	58.71	0.004895	4.35	21.21	0.85
374	247.1	53.82	57.63	56.96	58.37	0.003289	3.81	21.21	0.69
372	247.1	53.72	57.67	56.86	58.35	0.002692	3.65	21.2	0.65
367	Bridge								
362	247.1	53.72	57.02	56.86	58.09	0.005311	4.57	21.2	0.91
352	247.1	53.54	57.11	56.68	57.98	0.004227	4.14	21.2	0.79
313	247.1	53.31	56.99	56.46	57.81	0.003815	4	21.21	0.75
233	247.1	53.07	56.6	56.21	57.5	0.004414	4.2	21.21	0.8
190	247.1	52.88	56.41	56.02	57.31	0.004422	4.2	21.2	0.81
152	247.1	52.75	56.12	55.89	57.13	0.004893	4.45	21.2	0.88
113	247.1	52.36	56.14	55.5	56.89	0.003396	3.85	21.2	0.71
66	247.1	52.36	55.5	55.5	56.71	0.003283	4.88	20.83	1
20	247.1	52.36	54.39	54.96	56.36	0.007817	6.21	22.65	1.5

Tabla 3.14. Caudales por tramo en el barranco de Portelles

#### 4. VALORACIÓN ECONÓMICA

Como ya ha sido concluido en el apartado de estudio hidráulico, la solución adoptada consta de una ampliación del cauce del río Girona en aquellos tramos en los que es posible su modificación, una ampliación del cauce del Portelles y un canal de desvío de caudales del Girona a éste último.

El nuevo cauce del río Girona ha sido ligeramente ampliado, considerando para su estimación económica los metros cúbicos de material excavado, las expropiaciones necesarias y la modificación del puente de PK 2+064. Para el caso del barranco de Portelles, se ha excavado en el terreno una sección única desde el punto de confluencia con el canal de desvío hasta su desembocadura, realizando las expropiaciones oportunas para ello y modificando los cuatro puentes que cruzan por la zona modificada. Finalmente, para el canal de desvío, se han considerado las unidades de excavación en cauce, despeje y desbroce a ambos lados del canal, colocación del escollero en el lecho y geoceldas en las márgenes y el coste estimativo de expropiación de parcelas.

A continuación se muestra la tabla de precios unitarios para cada unidad de obra considerada:

Unidad de obra	Unidad de medida	Precio unitario(€/Ud. medida)
Despeje y desbroce	m2	0.5
Excavación	m3	9.5
Escollera	m3	45
Expropiación	m2	41.5
Geocelda	m2	10
Geotextil	m2	2.4
Puente	Ud.	500250

Finalmente, la valoración económica de las tres actuaciones por separado resulta la siguiente:

##### a) Modificación cauce Girona

Unidad de obra	Medición	Precio (€)
Excavación	110698.75	1051638.13
Expropiación	105200	4365800
Puente	1	500250
<b>TOTAL =</b>		<b>5417438.13</b>

##### b) Modificación barranco de Portelles

Unidad de obra	Medición	Precio (€)
Excavación	100574.20	955454.90
Expropiación	91000	3776500
Puente	4	2001000
<b>TOTAL =</b>		<b>4731954.90</b>

##### c) Canal de desvío

Unidad de obra	Medición	Precio (€)
Despeje y desbroce	21204.4	10602.2
Excavación	204323.2	1941070.4
Escollera	64694.9	2911270.5
Expropiación	134000	5561000
Geocelda	31806.64	318066.4
Geotextil	46880.3	112512.72
<b>TOTAL =</b>		<b>5879066.4</b>

Resultando finalmente para todos los trabajos a realizar un coste económico de valor **16028459.43 euros**.

## 5. CONCLUSIONES

De los trabajos desarrollados en el presente estudio, se extraen las siguientes conclusiones.

Cumpliendo con la normativa que establece el PATRICOVA para cubrir los riesgos del 1 al 4, es necesario el análisis del funcionamiento de la zona para un periodo de retorno correspondiente a 100 años.

Los estudios hidrológicos han concluido en un caudal de avenida para retorno 100 años de 486.1 m<sup>3</sup>/s, mientras que para el barranco de Portelles ha sido de 113.6 m<sup>3</sup>/s. Realizando el posterior estudio hidráulico de la situación actual, se han definido las capacidades máximas de ambos cauces, mostrando, todo ello, el mal funcionamiento del sistema frente a un periodo de retorno de 100 años y la aparición de desbordamientos incontrolados en zona urbana causando daños de envergadura considerable.

A tal efecto, ha sido necesario aumentar la capacidad del río Girona hasta los 286.1 m<sup>3</sup>/s, situación a partir de la cual dejan de producirse desbordamientos mediante la realización de un trasvase del excedente de caudales al barranco de Portelles, por medio de un canal de desvío.

En el caso de avenidas superiores al periodo de retorno de diseño, es necesario el establecimiento de medidas no estructurales para hacer frente a tales riesgos de inundación, abandonando, en este caso, las medidas conocidas como estructurales. A tales efectos, se decidió la ubicación del desvío en una zona relativamente alejada de la zona urbana, para, en caso de sucederse una avenida de periodo de retorno superior a 100 años, disponer del tiempo suficiente para hacer efectivas las medidas no estructurales.

## 6. REFERENCIAS

- Chow, W. T., 1994. *Hidráulica de los canales abiertos*. Mc Graw Hill Interamericana SA.
- Cowan, W.L., 1956. *Estimating hydraulic roughness coefficients*. Agricultural Engineering, v. 37, no. 7, p. 473-475.
- US Army Corps of Engineers (USACE). HEC-RAS 4.1. <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/hecras-download.html>
- INARTEC S.A., 2009. *Estudio de soluciones para evitar riesgos de inundabilidad del río Girona entre la Autopista A-7 y su desembocadura, (Alicante)*. Generalitat Valenciana.

