

ANEJO Nº 6

CLIMATOLOGÍA, HIDROLOGÍA Y DRENAJE

ANEJO Nº 6

CLIMATOLOGÍA, HIDROLOGÍA Y DRENAJE

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	5
2.	CLIMATOLOGÍA.....	5
2.1.	DATOS CLIMÁTICOS GENERALES.....	5
2.2.	DETERMINACIÓN DE DÍAS APROVECHABLES EN LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS.....	8
2.2.1.	Restricciones climatológicas	9
2.2.2.	Determinación de los días aprovechables.....	10
3.	HIDROLOGÍA.....	14
3.1.	INTRODUCCIÓN.....	14
3.2.	CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y MORFOMÉTRICA DE LAS CUENCAS A DRENAR.....	14
3.2.1.	Delimitación de las cuencas hidrológicas	14
3.2.2.	Descriptores morfométricos.....	15
3.2.3.	Determinación del umbral de escorrentía	16
3.3.	ESTUDIO PLUVIOMÉTRICO	19
3.3.1.	Precipitación de cálculo.....	19
3.3.2.	Intensidad media de precipitación. curvas idf.....	21
3.4.	ESTIMACIÓN DEL CAUDALES DE DISEÑO.....	22
3.4.1.	Modelo hidrometeorológico	22
3.4.2.	Caudal de diseño	23

4.	DRENAJE	25
4.1.	INTRODUCCIÓN.....	25
4.2.	DRENAJE TRANSVERSAL.....	25
4.3.	DRENAJE LONGITUDINAL.....	29
4.3.1.	Cunetas.....	29
4.3.2.	Obras transversales de drenaje longitudinal.....	32
5.	PUENTE SOBRE EL RÍO BARXETA.....	35
5.1.	INTRODUCCIÓN.....	35
5.2.	ESTIMACIÓN DEL CAUDAL DE DISEÑO.....	35
5.3.	ESTUDIO HIDRÁULICO.....	36
5.3.1.	Introducción.....	36
5.3.2.	Modelo de simulación hidráulica hec-ras.....	36
5.3.3.	Simulaciones hidráulicas realizadas	45
5.3.4.	Conclusiones.....	47

APÉNDICES:

APÉNDICE Nº1: PLANOS DE DELIMITACIÓN DE CUENCAS HIDROLÓGICAS

APÉNDICE Nº2: CAPACIDAD ESTRUCTURA RIO BARXETA. SECCIONES TRANSVERSALES T=100

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este anejo es el dimensionamiento de las obras de drenaje del “Proyecto de Variante de la carretera CV-575 entre las carreteras CV-573 y CV-600. Término municipal de Lloc Nou d'En Fenollet (Valencia)”.

Se ha analizado la climatología de la zona con el fin de determinar los días laborables para las principales unidades de obra que forman el proyecto que nos ocupa. De igual manera, se ha realizado un estudio hidrológico de los datos pluviométricos disponibles en la zona para obtener las precipitaciones asociadas a los períodos de retorno utilizados en el dimensionamiento de las obras de drenaje.

2. CLIMATOLOGÍA

2.1. DATOS CLIMÁTICOS GENERALES

Las características climáticas de la zona de estudio son propias del clima mediterráneo marítimo, según la clasificación de Papadakis, con inviernos fríos y veranos cálidos.

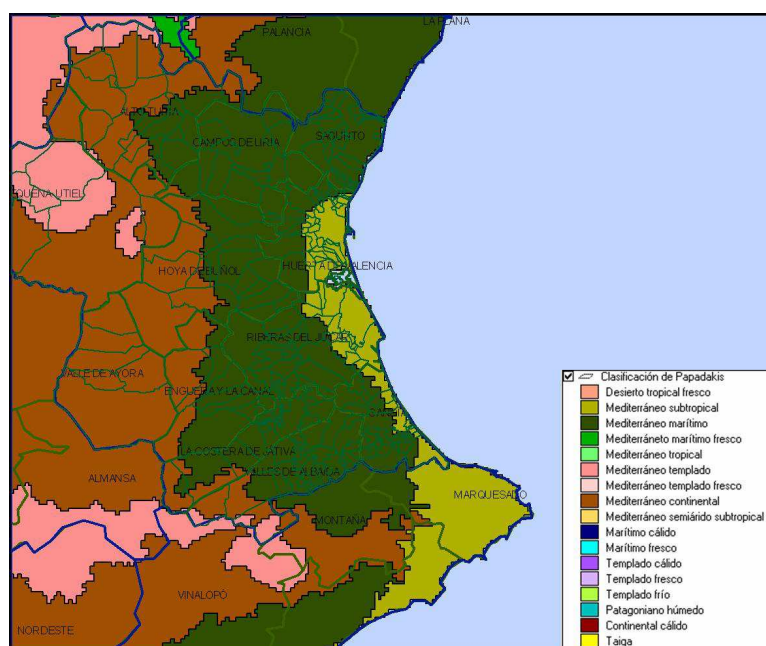


Figura nº 1: Clasificación climática de Papadakis

Para caracterizar el clima de la zona en que se proyecta la carretera, se han utilizado los datos de la estación termo-pluviométrica situada en Xàtiva “El Realengo” (8296), por ser la más cercana a la zona de actuación. Esta información la proporciona el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación a través del Sistema de Información Geográfica de Datos Agrarios, y se ha completado con los datos que aparecen en el

Atlas Climàtic de la Comunitat Valenciana publicado por la antigua Conselleria de Obras Públicas, Urbanismo y Transporte. Los valores medios mensuales y anuales de evapotranspiración potencial, precipitación máxima acumulada en 24 horas, precipitación media y temperatura media registrados en Xàtiva, se muestran en la siguiente tabla:

XÀTIVA "EL REALENGO"													
Período: 1961-1996 Altitud (m): 76 Latitud: 39° 03' Longitud: 00° 25'													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
ETP media	18.8	22.5	36.3	52.5	88.5	126	170.6	161.7	113.6	68.4	33.6	19.9	912.4
Pmax 24 horas	28	26	30	23	25	14	6	12	32	63	49	33	121
P media	69	57	60	50	50	27	8	18	61	125	97	86	708
T media mensual	10.1	11.2	12.9	15.2	19	22.9	26.6	26.8	23.7	18.8	13.8	10.6	17.6
Nºmedio de días con precipitación	4.8	4.2	4.4	5.7	5.7	3.6	1.1	2	3.5	5.7	5.6	5.6	52

Tabla nº 1: Datos climáticos de la zona

Con estos datos se ha realizado el diagrama ombrotérmico de Gaussen en el que se representa las precipitaciones y temperaturas mensuales en una misma gráfica. La escala de precipitaciones es doble, es decir, 2 mm de precipitación equivalen a 1°C de temperatura. Este gráfico nos permite determinar el periodo seco, en el que la precipitación es inferior a dos veces la temperatura media, y el periodo húmedo, donde la temperatura es más de tres veces inferior a la precipitación. La duración del periodo de sequía vendrá determinada por el área comprendida entre la curva de precipitación y la de temperatura cuando la primera vaya por debajo de la segunda, es decir, cuando la precipitación es menor que dos veces la temperatura.

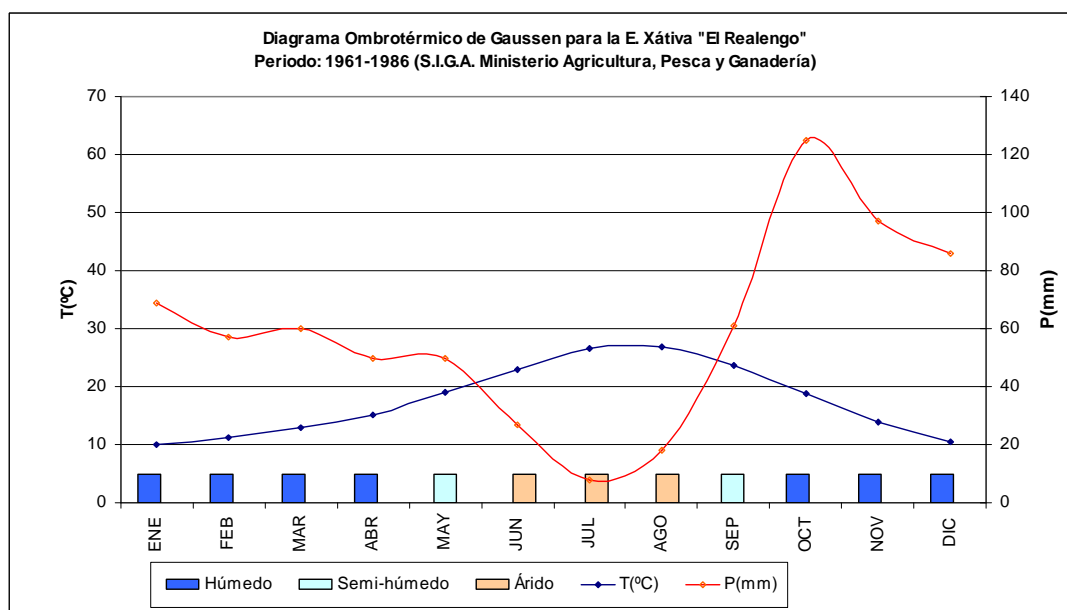


Figura nº 2: Diagrama ombrotérmico

El clima de la zona vendrá caracterizado por los valores medios anuales que se muestran a continuación:

– Temperatura media anual	17.6 °C
– Temperatura media del mes más frío	3,7 °C
– Temperatura media del mes más cálido	34.7 °
– ETP media anual	912 mm
– Precipitación media anual	708 mm
– Duración media del período árido	3 meses
– Duración media del período semi-húmedo	2 meses
– Duración media del período húmedo	7 meses
– Número medio anual de nevadas	0,3 días
– Número medio anual de granizo	0,3 días
– Precipitación media en invierno	247 mm
– Precipitación media en primavera	163,1 mm
– Precipitación media en verano	46,1 mm
– Precipitación media en otoño	287,3 mm
– Humedad relativa media	65 %

En los mapas que se muestran a continuación viene representadas las variables climáticas más representativas:

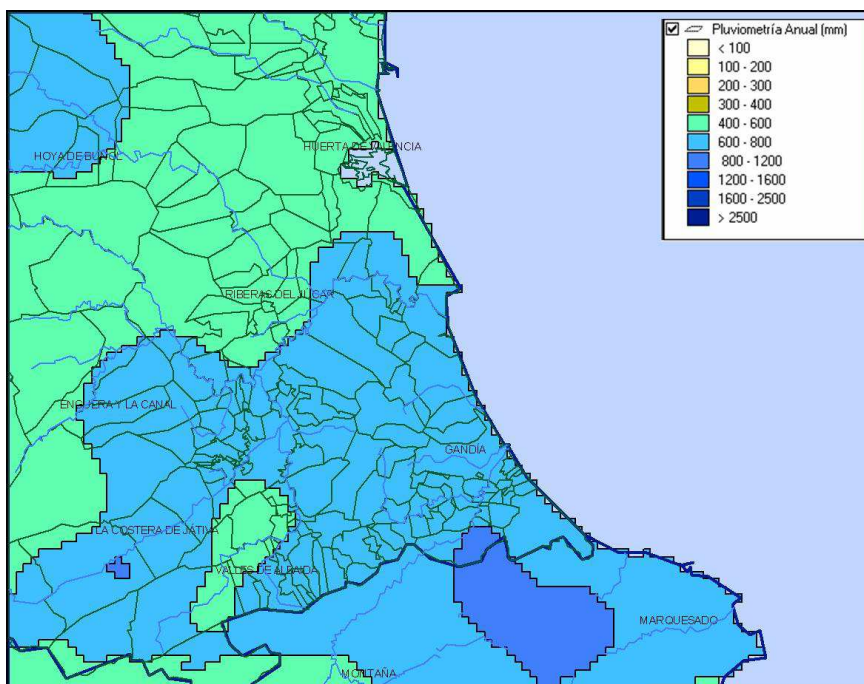


Figura nº 3: Mapa de precipitación media anual (mm)

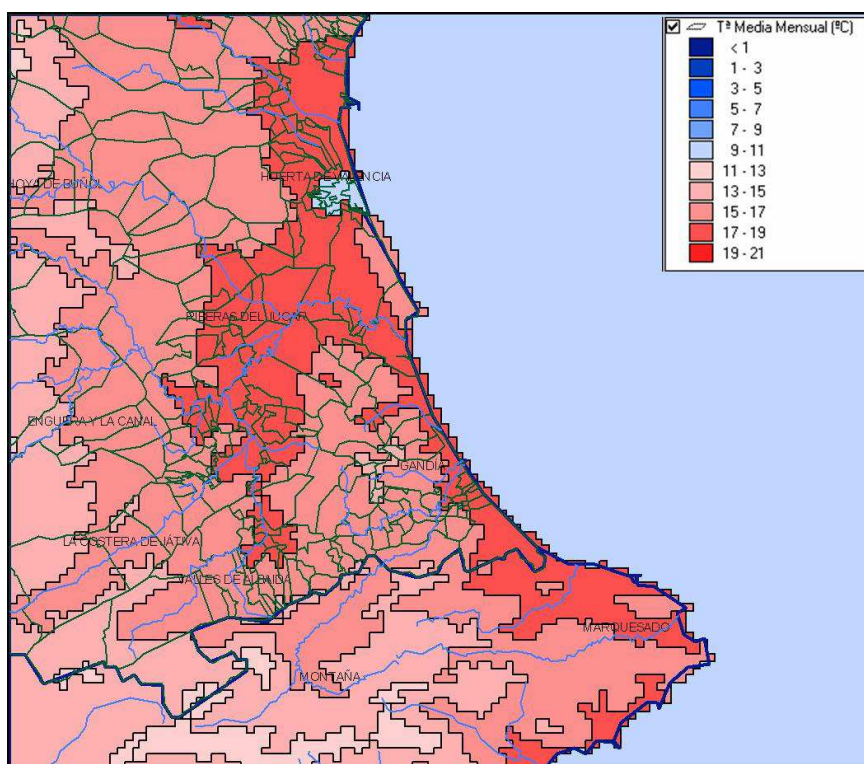


Figura nº 4: Mapa de Temperatura media anual (°C)

2.2. DETERMINACIÓN DE DÍAS APROVECHABLES EN LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS.

En este apartado determinaremos el número de días laborables aprovechables por meses para las unidades de obra más representativas. Para ello, primero

estableceremos las condiciones climáticas que impiden o limitan la ejecución de las unidades de obra, para posteriormente estimar los días de trabajo utilizando los datos climáticos expuestos anteriormente. Las restricciones de ejecución de las obras están extraídas del articulado del “Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes”, PG-3.

2.2.1. RESTRICCIONES CLIMATOLÓGICAS

2.2.1.1. Terraplenes y rellenos

El Art. 330.7 establece que “los rellenos tipo terraplén se ejecutarán cuando la temperatura ambiente, a la sombra, sea superior a dos grados Celsius (2°C), debiendo suspenderse los trabajos cuando la temperatura descienda por debajo de dicho límite, salvo que se justifique adecuadamente la viabilidad de la puesta en obra y la consecución de las características exigidas y esta justificación fuese aceptada por el Director de las Obras”.

En cuanto a los rellenos localizados, el Art. 332.6 del PG-3 establece las mismas condiciones de ejecución que las citadas para terraplenes; aunque, según el Art. 421.4, la temperatura límite de ejecución puede disminuir a cero grados Celsius (0°C) si se utiliza material drenante.

2.2.1.2. Riegos y mezclas bituminosas

Los límites de las variables climáticas a tener en cuenta en la puesta en obra de los riegos de imprimación, de adherencia y los tratamientos superficiales vienen definidos en los artículos 530.6, 531.6 y 532.6 respectivamente. Estos artículos determinan que los riegos y los tratamiento superficiales “se podrán aplicar sólo cuando la temperatura ambiente sea superior a los diez grados Celsius (10°C), y no exista fundado temor de precipitaciones atmosféricas. Dicho límite se podrá rebajar por el Director de las Obras a cinco grados Celsius (5°C), si la temperatura ambiente tiende a aumentar.”

Las condiciones de ejecución de las mezclas bituminosas en caliente vienen establecidas en el Art. 542.8, en el que se indica que no se permitirá la puesta en obra cuando la temperatura ambiente sea inferior a cinco grados Celsius (5°C) o cuando se produzcan precipitaciones.

2.2.1.3. Hormigones.

En el caso de la puesta en obra de los hormigones, el PG-3 distingue entre si la ejecución se está haciendo en tiempo frío, caluroso o lluvioso.

Si el tiempo es frío, el Art. 610.10.1 determina que:

“El hormigonado se suspenderá, como norma general, siempre que se prevea que, dentro de las cuarenta y ocho horas (48 h) siguientes, la temperatura ambiente puede descender por debajo de los cero grados centígrados (0° C). A estos efectos, el hecho de que la temperatura registrada a las nueve horas (9 h) de la mañana, hora solar, sea inferior a cuatro grados centígrados (4° C), puede interpretarse como motivo suficiente para prever que el límite prescrito será alcanzado en el citado plazo.”

“Las temperaturas podrán rebajarse en tres grados centígrados (3° C) cuando se trate de elementos de gran masa; o cuando se proteja eficazmente la superficie del hormigón mediante sacos, paja u otros recubrimientos aislantes del frío, con espesor tal que pueda asegurarse que la acción de la helada no afectará al hormigón recién construido; y de forma que la temperatura de su superficie no baje de un grado centígrado bajo cero (-1° C).”

“Las prescripciones anteriores serán aplicables al caso en que se emplee cemento Pórtland. Si se utiliza cemento siderúrgico o puzolánico, las temperaturas mencionadas deberán aumentarse en cinco grados centígrados (5° C); y, además, la temperatura de la superficie del hormigón no deberá bajar de cinco grados centígrados (5° C).

Si la puesta en obra se realiza con tiempo caluroso, el Art. 610.10.2 establece que “se suspenderá el hormigonado si la temperatura ambiente es superior a cuarenta grados centígrados (40° C), salvo que se adopten las medidas oportunas y con autorización expresa del Director.”

2.2.2. DETERMINACIÓN DE LOS DÍAS APROVECHABLES

Para calcular los días aprovechables en obra utilizaremos el método que la Dirección General de Carreteras desarrolla en la publicación “Datos Climáticos para Carreteras”, en el que se establecen unos coeficientes de reducción aplicables por condiciones climáticas adversas durante la realización de los trabajos.

Coeficiente de reducción por helada (η_m). Cociente del número de días del mes en que la temperatura mínima es superior a 0°C y el número de días del mes.

Coeficiente de reducción por temperatura límite de riegos, tratamientos superficiales o por penetración (τ_m). Cociente del número de los días del mes en que la temperatura a las 9 am es superior a 10°C y el número de días del mes.

Coeficiente de reducción por temperatura límite de mezclas bituminosas (τ'_m). Cociente entre el número de los días del mes en que la temperatura a las 9 am es superior a 5°C y el número de días del mes.

Coeficiente de reducción por lluvia límite general de trabajos (A_m). Cociente del número de días del mes en que la precipitación es inferior a 10 mm y el número de días del mes.

Coeficiente de reducción por lluvia límite parcial de trabajos (A'_m). Cociente del número de días del mes en que la precipitación es inferior a 1 mm, y el número de días del mes.

En la siguiente tabla se muestran los factores climáticos que afectan a las unidades de obras analizadas:

Unidades de obra	Factores climáticos adversos				
	η_m	τ_m	τ'_m	A_m	A'_m
	T > 0°C	T > 10°C	T > 5 °C	P < 10 mm	P < 1 mm
Terraplenes y rellenos	X			X	X
Riegos y tratamientos superficiales		X			X
Mezclas bituminosas			X		X
Hormigones	X			X	

Tabla nº 2: Factores climáticos que afectan a cada unidad de obra

Estos coeficientes se han obtenido de la publicación “Datos Climáticos para Carreteras” editado por el MOPU, para la estación más cercana a la zona de actuación.

Coeficiente de reducción	Coef. Helada	Coef. Riego	Coef. Bituminosos	Coef. Lluvia	
				> 10 mm	> 1 mm
Enero	0.95	0.50	0.90	0.91	0.82
Febrero	0.95	0.55	0.90	0.96	0.80
Marzo	1.00	0.82	1.00	0.96	0.94

Coeficiente de reducción	Coef. Helada	Coef. Riego	Coef. Bituminosos	Coef. Lluvia	
				> 10 mm	> 1 mm
Abril	1.00	1.00	1.00	0.96	0.84
Mayo	1.00	1.00	1.00	0.92	0.80
Junio	1.00	1.00	1.00	0.97	0.92
Julio	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98
Agosto	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95
Septiembre	1.00	1.00	1.00	0.98	0.90
Octubre	1.00	1.00	1.00	0.84	0.74
Noviembre	1.00	0.80	1.00	0.95	0.86
Diciembre	0.90	0.55	0.95	0.97	0.88

Tabla nº 3: Coeficientes de reducción por factores climáticos en cada unidad de obra

Teniendo en cuenta la tabla anterior, los coeficientes medios reductores se calcularán de la siguiente manera:

$$\text{Para terraplenes y rellenos: } C_m = \frac{A_m + A'_m}{2} \times \eta_m$$

$$\text{Para riegos y tratamientos superficiales o por penetración: } C_m = \tau_m \times A'_m$$

$$\text{Para mezclas bituminosas: } C_m = \tau'_m \times A'_m$$

$$\text{Para hormigones hidráulicos: } C_m = \eta_m \times A_m$$

Unidad de obra	Terraplenes y rellenos	Riegos	Mezclas bituminosas	Hormigón
Enero	0.82	0.41	0.74	0.86
Febrero	0.84	0.44	0.72	0.91
Marzo	0.95	0.77	0.94	0.96
Abril	0.90	0.84	0.84	0.96
Mayo	0.86	0.80	0.80	0.92
Junio	0.95	0.92	0.92	0.97
Julio	0.99	0.98	0.98	1.00
Agosto	0.98	0.95	0.95	1.00
Septiembre	0.94	0.90	0.90	0.98
Octubre	0.79	0.74	0.74	0.84
Noviembre	0.91	0.69	0.86	0.95
Diciembre	0.83	0.48	0.84	0.87

Tabla nº 4: Coeficientes C_m de cada unidad de obra

Además de los coeficientes reductores por factores climáticos también tendremos en cuenta los días festivos. Para ello utilizaremos el factor de reducción C_f que consiste en el cociente del número de días festivos del mes y el número de días del mes. La estimación de este coeficiente en la provincia de Valencia se ha realizado con el calendario laboral del año 2014.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Días festivos	9	8	10	11	9	9	9	9	10	10	9	12
C_f	0,71	0,72	0,68	0,63	0,71	0,70	0,71	0,71	0,67	0,68	0,70	0,61

Tabla nº 5: Coeficiente de festivos

Para calcular los días de trabajo utilizaremos el coeficiente de reducción completo, cuya expresión es:

$$C_t = C_m \cdot C_f$$

Unidad de obra	Terraplenes y rellenos	Riegos	Mezclas bituminosas	Hormigón
Enero	0,58	0,29	0,52	0,61
Febrero	0,61	0,32	0,52	0,66
Marzo	0,64	0,52	0,64	0,65
Abril	0,57	0,53	0,53	0,61
Mayo	0,61	0,57	0,57	0,65
Junio	0,66	0,64	0,64	0,68
Julio	0,70	0,70	0,70	0,71
Agosto	0,69	0,67	0,67	0,71
Septiembre	0,63	0,60	0,60	0,65
Octubre	0,54	0,50	0,50	0,57
Noviembre	0,63	0,48	0,60	0,67
Diciembre	0,51	0,30	0,51	0,54

Tabla nº 6: Coeficientes de reducción completos

Finalmente, aplicando estos coeficientes de reducción completos al número de días de cada mes, obtenemos los días de trabajo netos por mes y por unidad de obra.

Unidad de obra	Terraplenes y rellenos	Riegos	Mezclas bituminosas	Hormigón
Enero	18	9	16	19
Febrero	18	9	15	19
Marzo	20	16	20	20
Abril	17	16	16	18

Mayo	19	18	18	20
Junio	20	19	19	20
Julio	22	22	22	22
Agosto	21	21	21	22
Septiembre	19	18	18	20
Octubre	17	16	16	18
Noviembre	19	14	18	20
Diciembre	16	9	16	17
Anual	225	187	214	235

Tabla nº 7: Días de trabajo por unidad de obra

3. HIDROLOGÍA

3.1. INTRODUCCIÓN

El objeto de este apartado es determinar el caudal de diseño de cada una de las obras de drenaje de la carretera.

Se realizará el estudio hidrológico de las cuencas interceptadas por la carretera, para obtener los caudales de cálculo de las obras de drenaje transversal y longitudinal.

Si la cuenca de aportación a la obra de drenaje es pequeña, la Instrucción 5.2.-I.C. nos permite el uso de métodos hidrometeorológicos para el cálculo del caudal de drenaje. Esta norma considera que el límite para considerar si una cuenca es pequeña o no, es que el tiempo de concentración sea inferior o superior a seis horas. Como justificaremos posteriormente, las cuencas definidas se pueden considerar pequeñas.

3.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y MORFOMÉTRICA DE LAS CUENCAS A DRENAR

El primer paso a realizar para poder estimar los caudales que deben desaguar los diferentes dispositivos de drenaje es la delimitación de las cuencas que aportan agua a cada uno de ellos.

El estudio hidrológico del río Barxeta no se ha incluido en este anejo, sino que forma parte del Anejo nº10: Estudio Hidráulico de Avenidas.

3.2.1. DELIMITACIÓN DE LAS CUENCAS HIDROLÓGICAS

Para delimitan las divisorias de las cuencas a partir de la cartografía a escala 1:5.000 del Instituto Cartográfico Valenciano.

Por otra parte, mediante el trabajo de campo se consigue definir de forma más precisa el funcionamiento del sistema de cuencas.

En el Apéndice 1, se adjunta el plano de delimitación y situación de las cuencas hidrológicas estudiadas.

3.2.2. DESCRIPTORES MORFOMÉTRICOS

Las características morfométricas de una cuenca tienen una influencia decisiva en la magnitud de los fenómenos hidrológicos que en ella se producen y, especialmente, en los mecanismos de propagación de la escorrentía superficial, por ejemplo, resulta evidente que factores como el tipo de suelo y el espesor de la capa permeable ejercen un gran efecto sobre el régimen de flujo.

A continuación, se realiza una breve descripción de los parámetros definitorios del tamaño, forma y relieve de una cuenca hidrográfica:

- La superficie es el parámetro de escala por excelencia, pues determina el orden de magnitud del volumen de precipitación, el caudal de crecida, etc.
- El perímetro es la longitud del límite exterior de la cuenca; su magnitud depende de la superficie y la forma de la cuenca.
- En cuanto al relieve y la altitud de la cuenca, resulta evidente su influencia puesto que, cuanto mayores sean las pendientes del terreno, habrá menor capacidad de infiltración y mayores velocidades en las corrientes de agua.

El descriptor morfométrico del desfase será el tiempo de concentración, también denominado tiempo de respuesta o de equilibrio, y se define como el tiempo requerido para que, durante un aguacero uniforme, se alcance el estado estacionario; es decir, el tiempo necesario para que todo el sistema contribuya eficazmente a la generación de flujo en el desagüe.

De los distintos métodos existentes para el cálculo del tiempo de concentración, la instrucción de carreteras 5.2-IC de “Drenaje superficial” recomienda la fórmula de Témez para el cálculo y será esta la que utilizaremos.

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L}{J^{1/4}} \right)^{0.76}$$

T_c = tiempo de concentración, en horas

L = longitud del curso principal, en kilómetros

J = pendiente media del curso principal, en tanto por uno

Esta fórmula no es aplicable al caso de las plataformas y los márgenes ya que se trata de un flujo difuso. En estos casos, la Instrucción dice que “Si el recorrido del agua sobre la superficie fuera menor de 30 m, se podrá considerar que el tiempo de concentración es de 5 minutos. Este valor se podrá aumentar de 5 a 10 minutos al aumentar el recorrido del agua por la plataforma de 30 a 150 m.”

Cuenca	Superficie (m²)	Perímetro (km)	Long cauce (km)	Cota máxima (m.s.n.m)	Cota mínima (m.s.n.m)	Pendiente media (m/m)	tc (h)
Cuenca 1	12.806	0,460	0,187	90,00	69,43	0,110	0,128
Cuenca 2	398.545	2,738	1,061	145,35	66,84	0,074	0,515
Cuenca 3	91.680	1,251	0,525	107,68	68,30	0,075	0,301

Tabla nº 8: Descriptores morfométricos de las cuencas

3.2.3. DETERMINIACIÓN DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA

En el ciclo hidrológico, una parte importante del movimiento del agua viene determinada por la infiltración. La infiltración es el proceso por el que el agua precipitada penetra desde la superficie del terreno hacia al suelo, aumentando la humedad de éste. Uno de los métodos más extendidos y experimentados de los modelos de infiltración es el del Soil Conservation Service (SCS) de los Estados Unidos (McQueen, 1982).

El umbral de escorrentía (P_0) es el único parámetro necesario para evaluar la infiltración según la expresión propuesta por el SCS. Depende de cuatro variables que engloban buena parte de las características físicas de la región, objeto de estudio:

- Tipo de suelo, atendiendo con especial interés a la capacidad drenante del terreno.
- Cubierta del suelo
- Pendiente del terreno
- Condiciones previas de humedad del complejo suelo-vegetación

La relación entre el umbral de escorrentía y las tres primeras variables es de tipo tabular; los valores de umbral de escorrentía así calculados deben corregirse en

función de la cuarta variable; a tal efecto, el SCS define tres estados previos de humedad del suelo, en función de la precipitación total de los cinco días anteriores, que determinan el factor corrector del P_0 obtenido anteriormente.

El coeficiente corrector está regionalizado mediante un mapa de isolíneas en la *Instrucción 5.2.- IC de Drenaje Superficial* (Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, 1990); en cualquier caso, se ha hecho uso de un mapa posterior (1994), realizado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.

Para obtener el umbral de escorrentía se ha utilizado las equivalencias entre usos de suelo de la cartografía Corine y el P_0 . En concreto, se ha empleado la tabla realizada por el Proyecto Corine Land Cover en el año de 2000 (CLC-2000), y que como datos de entrada tiene el uso del suelo, la pendiente del terreno y el tipo de suelo. Los usos empleados por la cartografía Corine están correlacionados con la clasificación que realiza el SCS. En las tablas de uso de suelo del CLC-2000 buscaremos el tipo en el que nos encontramos y obtendremos la equivalencia con la clasificación que utiliza la instrucción 5.2-I.C.

El tipo de suelo que nos encontraremos, y su correspondencia con los usos establecidos por la instrucción, será:

- Cítricos: se corresponde con “Plantación regular de aprovechamiento forestal medio”
- Masa forestal clara
- Calzada: se considera “Pavimento bituminoso o de hormigón”

El SCS propone cuatro tipos de suelos : A, B, C y D, cuyas características se describen a continuación:

- Suelo tipo A: En ellos el agua se infiltra rápidamente, aún estando muy húmedos. Profundos y de texturas gruesas (arenosos o areno-limosos), suelen estar excesivamente drenados.
- Suelo tipo B: Con una humedad elevada, tienen una capacidad de infiltración moderada. La profundidad del suelo es de media a profunda y su textura es franco-arenosa, franca, franco-arcillosa o franco-limosa. Están moderadamente drenados.

- Suelo tipo C: Con humedades elevadas, la infiltración es lenta. La profundidad del suelo es inferior a la media y la textura es franco-arcillosa, franco-arcillo-limosa o arcillo-arenosa. Son suelos imperfectamente drenados.
- Suelo tipo D: La infiltración es muy lenta con humedades elevadas. Tienen horizontes de arcilla próximos a la superficie y están pobremente drenados. Se incluyen en esta tipología los terrenos con nivel freático permanentemente alto y suelos de poco espesor.

En nuestro caso, hemos considerado que el suelo es tipo C.

La pendiente media del terreno es superior al 3 % en todas las cuencas delimitadas.

Con esta información y empleando la Tabla 2.1 de la Instrucción 5.2-I.C, obtendremos los umbrales de escorrentía que se resumen a continuación:

Plantaciones regulares aprovechamiento forestal	19
Masa forestal clara	14
Calzada	1

Los valores de umbral de escorrentía obtenidos se afectarán por el correspondiente coeficiente corrector por condiciones previas de humedad del complejo suelo-vegetación, cuyo valor según el mapa realizado por el Centro de estudios Hidrográficos del CEDEX en 1994 es de 3.

Cuenca	Umbral de escorrentía (mm)	Umbral de escorrentía corregido (mm)
Cuenca 1	14	42
Cuenca 2	19	57
Cuenca 3	19	57

Tabla nº 9: Valores del umbral de escorrentía de las cuencas (mm)

3.3. ESTUDIO PLUVIOMÉTRICO

3.3.1. PRECIPITACIÓN DE CÁLCULO

Los periodos de retorno que consideraremos en este anejo son los que recomienda la Instrucción 5.2 – I.C, en la tabla 1.2 de su apartado 1.3:

Elementos de drenaje	Periodo de retorno para IMD alta
Elementos de drenaje superficial de la plataforma y márgenes	25
Obras de drenaje transversal	100

Tabla nº 10: Períodos de retorno (Instrucción 5.2 – IC)

Los valores de las precipitaciones máximas diarias se obtuvieron mediante los mapas de precipitación elaborados a partir del trabajo de Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular realizado por el CEDEX para la Dirección General de Carreteras (DGC, 1999). Y más concretamente de las capas SIG de precipitaciones Máximas Diarias de la aplicación Mapa de Caudales Máximos (CAUMAX) facilitada por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, desarrollada por el CEDEX.

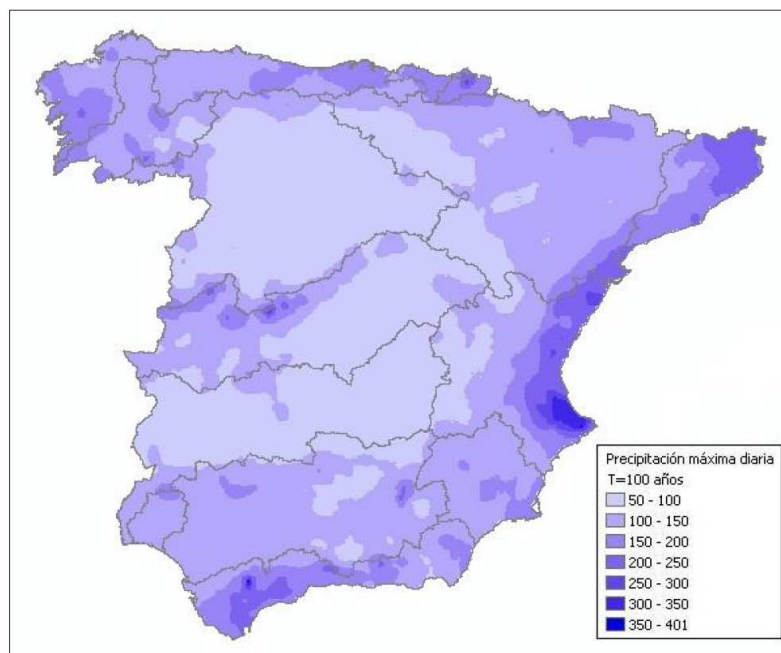


Figura 1 Mapa de precipitaciones máximas diarias para 100 años de periodo de retorno.

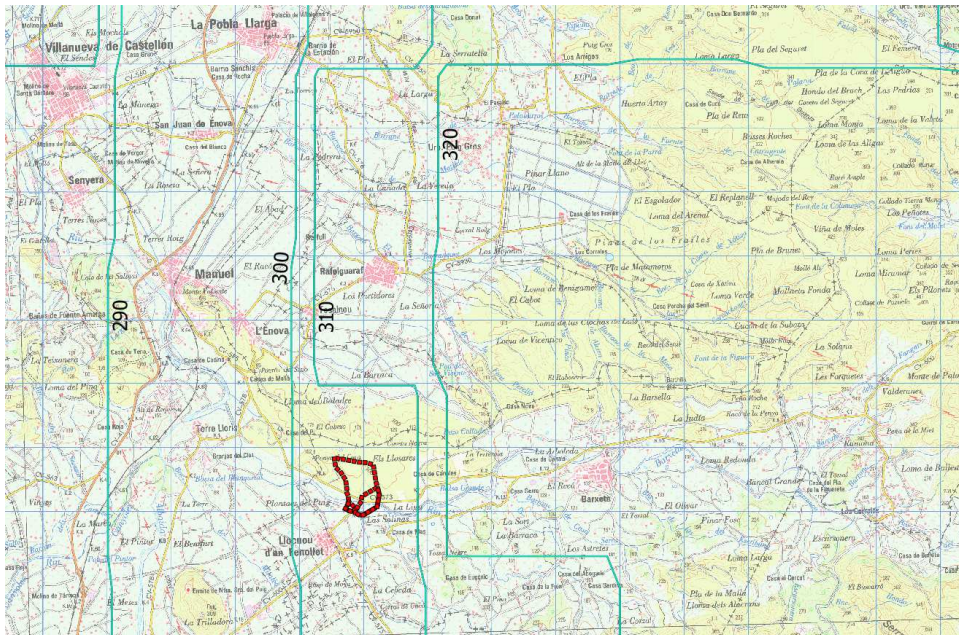


Figura 2 T=100 años

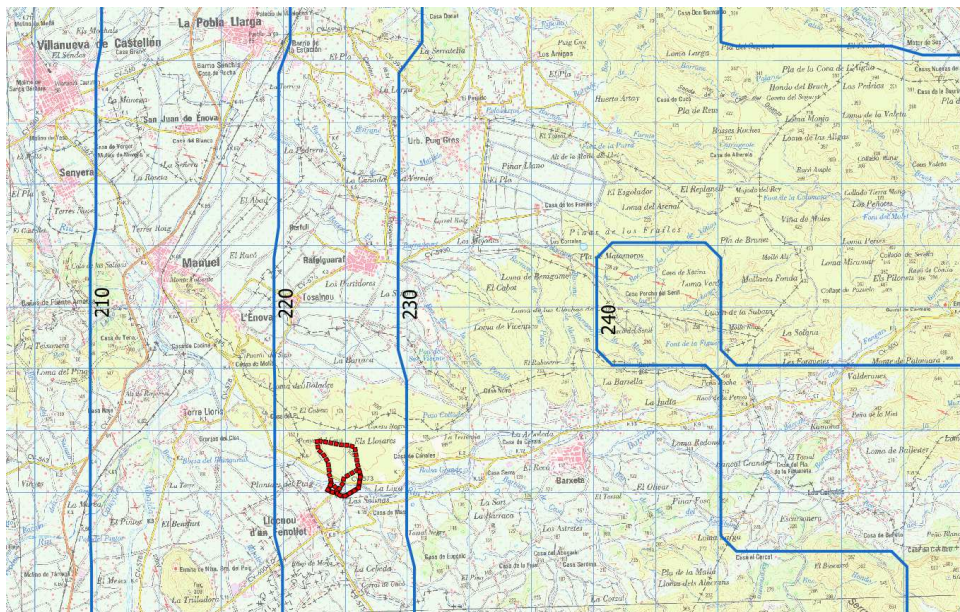


Figura 3 T=25 años

T (años)	Pd (mm)
25	227
100	309

Tabla nº 11: Máxima precipitación diaria anual según el "Mapa de máximas lluvias diarias en la España Peninsular"

3.3.2. INTENSIDAD MEDIA DE PRECIPITACIÓN. CURVAS IDF

Para el cálculo de la intensidad de lluvia se utiliza la precipitación diaria media ponderada (P_d) obtenida anteriormente.

A la hora de obtener la intensidad de lluvia se considera que el caso más desfavorable es aquél cuyo aguacero tiene una duración igual a la del tiempo de concentración para el correspondiente período de retorno considerado.

Consultando el mapa de isóneas adjunto de los valores I_1 / I_d para España (I_1 es la intensidad máxima horaria, e I_d es la intensidad máxima diaria) de la Instrucción 5.2.- IC, en la zona en estudio se toma:

$$\frac{I_1}{I_d} = 11.5$$

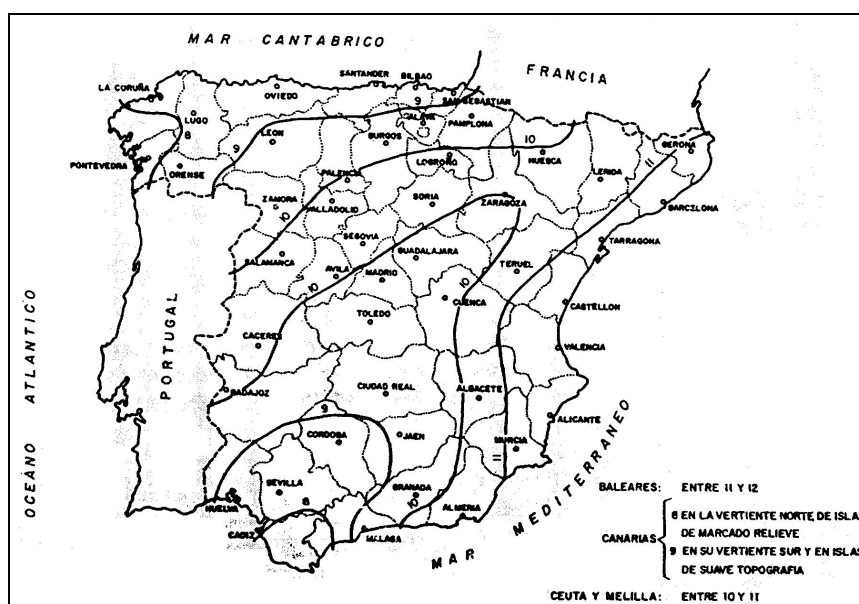


Figura 4: Mapa de isóneas para obtener el coeficiente de torrencialidad

Para calcular la intensidad correspondiente a un aguacero de duración igual al tiempo de concentración se parte de la expresión general de las curvas intensidad-duración:

$$\frac{I_t}{I_d} = \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\left(\frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{28^{0.1} - 1} \right)}$$

donde:

- I_t (mm/h): Intensidad media correspondiente al intervalo de duración t deseado.

- I_d (mm/h): Intensidad media diaria de precipitación, correspondiente al período de retorno considerado, e igual a $P_d/24$.
- P_d (mm): Precipitación total (máxima) diaria correspondiente a dicho período de retorno.
- I/I_d : Cociente entre la intensidad horaria y la diaria (factor de torrencialidad), independiente del período de retorno, y que puede obtenerse de la regionalización realizada a nivel nacional.
- t (h): Duración del intervalo al que se refiere I_t .

3.4. ESTIMACIÓN DEL CAUDALES DE DISEÑO

3.4.1. MODELO HIDROMETEOROLÓGICO

Tal y como se indicó al comienzo de este apartado, el cálculo del caudal de diseño de las obras de drenaje se realizará aplicando el método meteorológico que es la procedimiento que recomienda la Instrucción 5.2 –IC de “Drenaje superficial”.

Para cada una de las cuencas, el caudal en el punto de desagüe se obtiene mediante la expresión:

$$Q = C I_t \frac{A}{K}$$

Donde:

- C es el coeficiente medio de esorrentía de la cuenca o superficie drenada
- Q es el caudal en m^3/s .
- I_t es la intensidad máxima del aguacero de duración igual al tiempo de concentración en mm/h.
- A superficie de la cuenca en m^2 .
- K es un coeficiente que depende de las unidades en que se expresen Q y A , y que en este caso tomará el valor de 3.000.000.

En función del tipo de obra de drenaje a la que drenan se han obtenido los caudales de diseño asociados a uno u otro período de retorno, tal y como indica la tabla 1.2 de

la Instrucción 5.2-I.C de drenaje superficial. Para el drenaje transversal el período de retorno será de 100 años en cuencas con un cauce definido y de 25 años en el caso en el que el agua discurra con un carácter bidimensional. En el caso del drenaje longitudinal, el período de retorno de cálculo será de 25 años.

3.4.2. CAUDAL DE DISEÑO

En este apartado se adjuntarán los caudales de diseño de las cuencas interceptadas por la carretera así como los caudales que desaguan desde la plataforma a las cunetas.

Para cada una de las cuencas interceptadas indicaremos su superficie, el tiempo de concentración, la precipitación diaria asociada al período de retorno de cálculo, la intensidad máxima de aguacero y el caudal de escorrentía.

En el caso del agua a desaguar de la plataforma, en las tablas se indicarán los p.k. de inicio y final, la superficie de la plataforma, la precipitación diaria, el tiempo de concentración, la intensidad máxima de aguacero y el caudal de escorrentía.

Cuenca

Período de retorno de 25 años

Cuenca	Superficie (m ²)	Tiempo de concentración (h)	Po (mm)	Pd (mm)	It/Id	Intensidad (mm/h)	C	Caudal (m ³ /s)
1	12,806	0,128	42,000	227,00	36,29	343,240	0,465	0,68
3	91,680	0,301	57,000	227,00	23,14	218,870	0,359	2,40

Tabla nº 12: Caudales de diseño de las cuencas interceptadas para T= 25 años

Período de retorno de 100 años

Cuenca	Superficie (m ²)	Tiempo de concentración (h)	Po (mm)	Pd (mm)	It/Id	Intensidad (mm/h)	C	Caudal (m ³ /s)
2	398,545	0,515	57,000	309,00	17,1	220,210	0,466	13,63

Tabla nº 13: Caudales de diseño de las cuencas interceptadas para T= 100 años

Plataforma y taludes*Período de retorno de 25 años*

Calzada / Talud	Eje	P.K. Inicio	P.K. final	L cauce (km)	Ancho (m)	Superficie (m²)	Pend(m/m)
Calz 01	CV-575	2+360	2+478	0.118	10.0	1,180.00	0.010
Talud 01	CV-575	2+360	2+480	0.120	3.5	420.00	0.660
Calz 02	CV-573	0+000	0+162	0.162	10.0	1,620.00	0.010
Calz 03	Variante Llocnou	0+090	0+300	0.210	8.0	1,680.00	0.034
Talud 02	Variante Llocnou	0+090	0+300	0.210	4.0	840.00	0.660
Calz 04	Variante Llocnou	0+100	0+260	0.160	8.0	1,280.00	0.034
Talud 03	Variante Llocnou	0+100	0+260	0.160	4.0	640.00	0.660

Calzada / Talud	tc (h)	Po (mm)	Pd (25 años)	It/Id	Intensidad (mm/h)	C	Caudal (m³/s)
Calz 01	0.167	3	227.00	31.64	299.270	0.981	0.12
Talud 01	0.167	33	227.00	31.64	299.270	0.550	0.02
Calz 02	0.180	3	227.00	30.4	287.490	0.981	0.15
Calz 03	0.174	3	227.00	30.99	293.150	0.981	0.16
Talud 02	0.167	33	227.00	31.64	299.270	0.550	0.05
Calz 04	0.167	3	227.00	31.64	299.270	0.981	0.13
Talud 03	0.167	33	227.00	31.64	299.270	0.550	0.04

Tabla nº 14: Caudales de diseño desaguado por la plataforma y los taludes para T= 25 años

4. DRENAJE

4.1. INTRODUCCIÓN

El drenaje superficial del proyecto comprende:

- La recogida de las aguas pluviales procedentes de la plataforma y sus márgenes, mediante cunetas, sumideros y bajantes.
- La evacuación de las aguas recogidas a cauces naturales bien sea directamente bien a través de obras de desagüe transversal.
- La restitución de la continuidad de los cauces naturales interceptados por la carretera, mediante su eventual acondicionamiento y la construcción de obras de drenaje transversal.

El dimensionamiento hidráulico del drenaje superficial se realiza a partir del cálculo realizado en el análisis hidrológico anterior, dimensionando las obras necesarias para la canalización de la escorrentía superficial.

Se comprobará la capacidad hidráulica de los diferentes tramos de cuneta y de las obras de drenaje transversal.

4.2. DRENAJE TRANSVERSAL

El objeto principal de las obras de drenaje transversal consiste en garantizar la continuidad de los cauces naturales interceptados por la carretera, perturbándolos lo menos posible, así como canalizar la escorrentía de las cuencas interceptados por el trazado de la carretera.

A continuación se resumen las características de las obras de drenaje, indicando en cuales de ellas sólo se realizará una ampliación de las existentes y cuales son obras de nueva ejecución.

O.D.	Eje	P.K	Tipo	Caudal a desaguar (m³/s)	Áreas	Dimensiones
OD-1	CV-573	0+160	Nueva	13,63	Cuenca 17	2x 2,00 x 1,80

Tabla nº 15: Obras de drenaje transversal

La comprobación de capacidad de estas obras se realizará mediante la aplicación del método de cálculo para pequeñas obras de drenaje transversal, apartado 5.3.2. de la Instrucción 5.2-IC "Drenaje Superficial". Los resultados de esa comprobación se adjuntan en el Apéndice nº2.

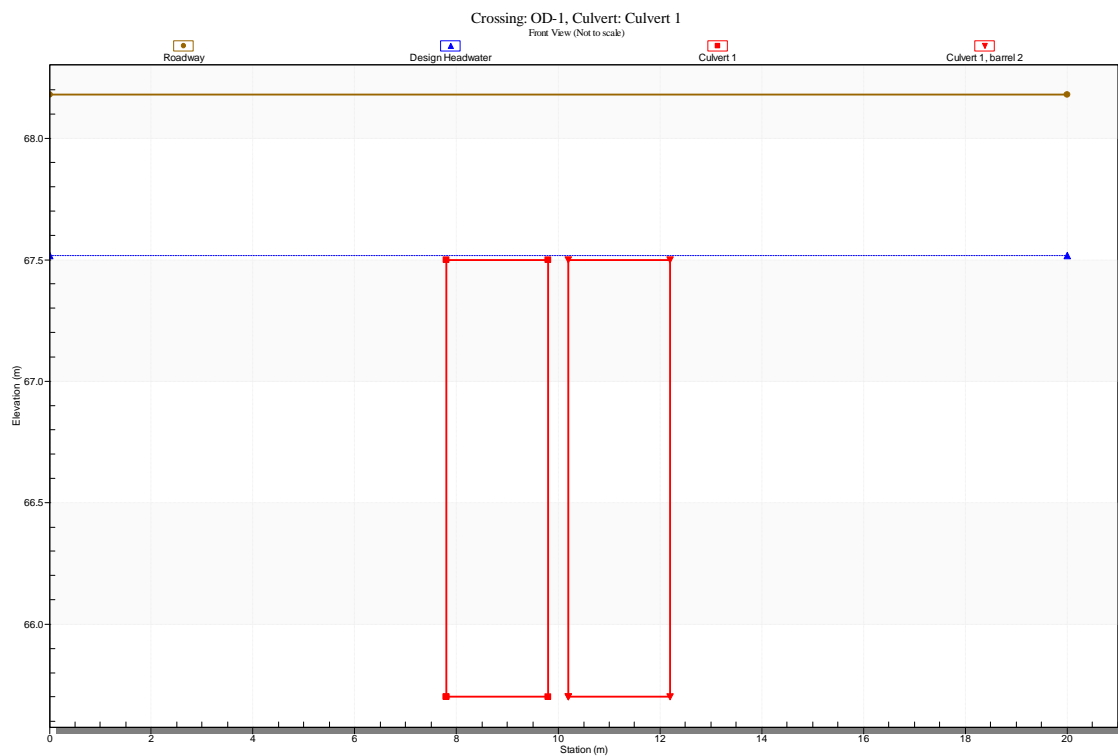
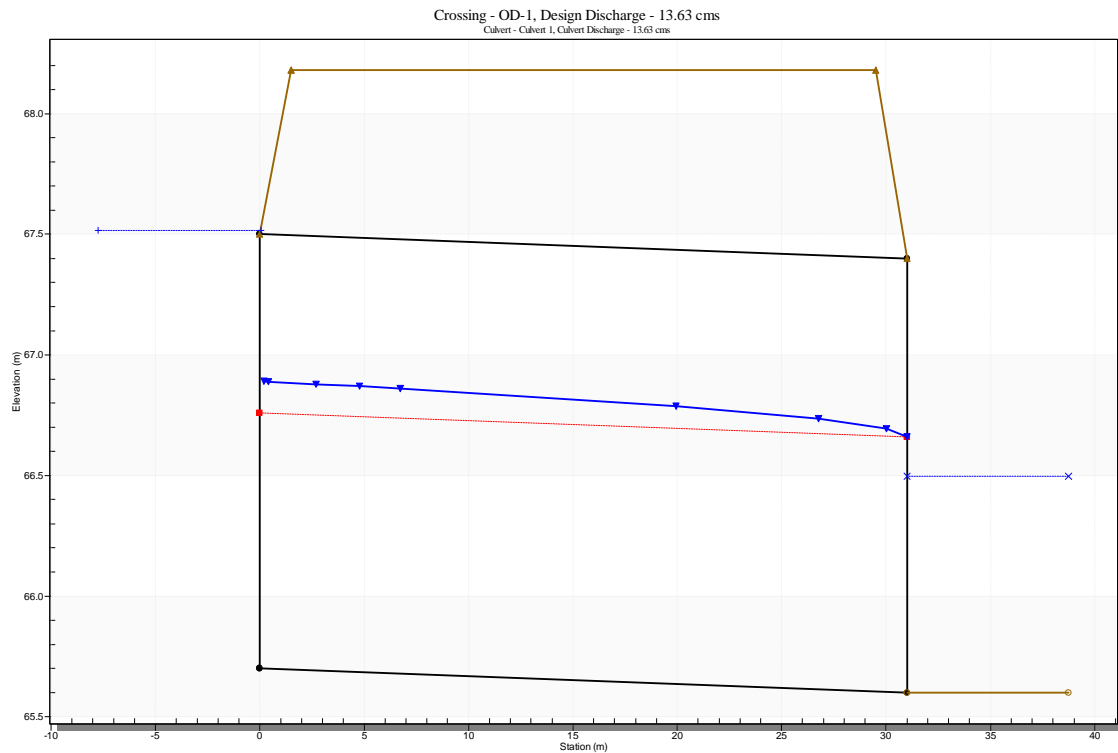
Para dimensionar las obras de drenaje que dan continuidad a los cauces naturales interceptados (OD-1) se han utilizado los caudales asociados a período de retorno de 100 años y se han tenido en cuenta las indicaciones del apartado 5.2.2.3 acerca de las dimensiones mínimas de las obras para garantizar que no se producen estrechamientos. En el resto de obras de drenajes, el dimensionamiento se ha realizado a partir del caudal asociado a un período de retorno de 25 años ya que son las encargadas de canalizar la escorrentía de las cuencas interceptadas por el trazado de la carretera.

Previamente se han establecido una serie de condicionantes, algunos de ellos en función de los materiales a emplear. Estos criterios básicos iniciales son los siguientes:

- Altura mínima del conducto en función de la normativa vigente. En España la Instrucción 5.2-IC de Drenaje Superficial de Carreteras determina la altura mínima del conducto en función de su longitud.
- Conducto de planta lo más recta posible, minimizando las modificaciones en el cauce natural, es decir, intentando mantener la dirección y pendiente naturales del cauce.
- Pendiente única en toda la obra de drenaje
- Velocidad máxima para caudal de diseño 4.5 m/s en ODT de acero corrugado y 6.0 m/s en ODT de hormigón
- Entrada no sumergida. Para ello se suele limitar la cota de energía a la entrada de la ODT al 20% de la altura del conducto por encima de la clave, es decir, 1.2·D.
- Cota de lámina inferior en 0.50 m a la rasante de la carretera.

La obra de drenaje se modeliza mediante el software HY8. Software desarrollado por la FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA) para ayudar en el análisis y el diseño de alcantarillas. Se adjuntan los resultados obtenidos para la obra de drenaje OD-1. Cumpliéndose las condiciones anteriores.

HY-8 Culvert Analysis Report



HY-8 Analysis Results

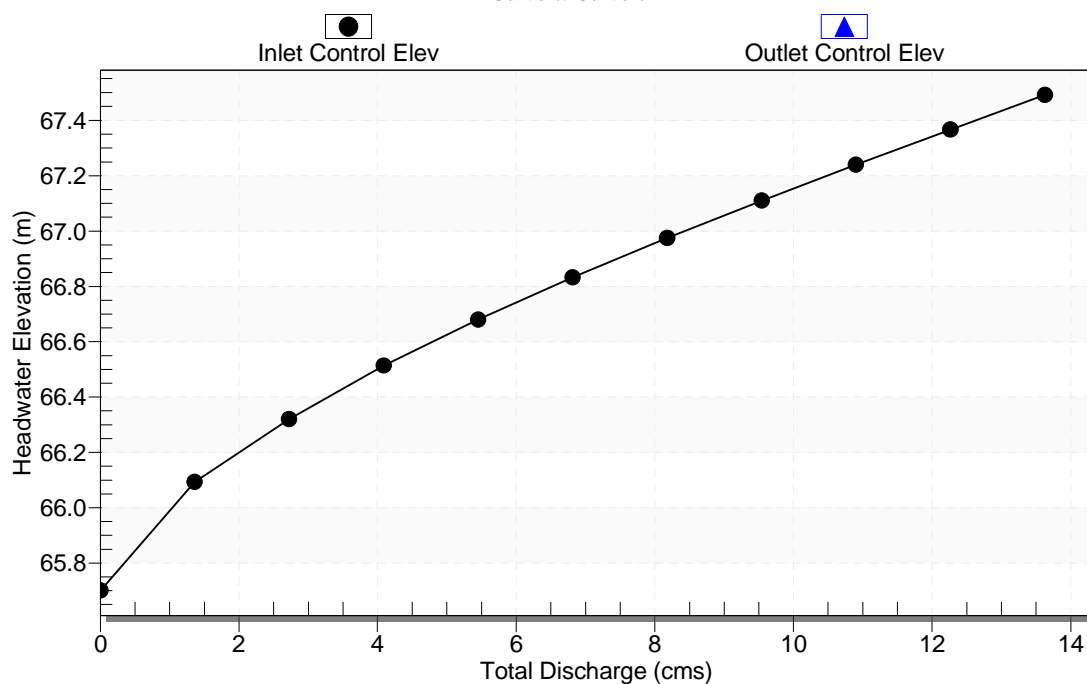
Culvert Summary Table - Culvert 1

Culvert Crossing: OD-1

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	65.70	0.00	0.0*	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.36	1.36	66.09	0.39	0.39	2-M2c	0.24	0.23	0.23	0.21	1.50	0.64
2.73	2.73	66.32	0.62	0.62	2-M2c	0.39	0.36	0.36	0.33	1.88	0.83
4.09	4.09	66.52	0.81	0.82	2-M2c	0.51	0.47	0.47	0.42	2.16	0.97
5.45	5.45	66.69	0.98	0.99	2-M2c	0.63	0.58	0.57	0.50	2.37	1.08
6.82	6.82	66.85	1.13	1.15	2-M2c	0.74	0.67	0.67	0.58	2.56	1.18
8.18	8.18	66.99	1.27	1.29	2-M2c	0.85	0.75	0.75	0.65	2.72	1.26
9.54	9.54	67.13	1.41	1.43	2-M2c	0.95	0.84	0.83	0.71	2.86	1.34
10.90	10.90	67.27	1.54	1.57	2-M2c	1.05	0.91	0.91	0.78	2.99	1.40
12.27	12.27	67.39	1.67	1.69	2-M2c	1.15	0.99	0.99	0.84	3.11	1.46
13.63	13.63	67.52	1.79	1.82	2-M2c	1.24	1.06	1.06	0.90	3.22	1.52

Performance Curve

Culvert: Culvert 1



4.3. DRENAJE LONGITUDINAL

La función del drenaje longitudinal es recoger la escorrentía superficial procedente de la plataforma de la carretera y de los márgenes que viertan hacia ella, y conducirlas a un punto de desagüe.

Se dispondrán cunetas en los desmontes y terraplenes donde la cuenca vertiente se vea interceptada por la vía. Además se colocarán bajantes prefabricadas en los terraplenes de más de 2 metros de altura, tal y como indica la Instrucción 5.2 IC de “Drenaje Superficial”, y la separación entre ellas será de 30 metros por encontrarse la carretera en una zona de clima mediterráneo. Se colocarán bordillos que permitan recoger el agua de la plataforma y dirigirla a las bajantes prefabricadas.

4.3.1. CUNETAS

4.3.1.1. Características geométricas

Se han definido cuatro tipos de cunetas, cuyas características geométricas se resumen a continuación:

Tipo de cuneta	Tipo I
Talud interior	6:1
Talud exterior	1:1
Ancho base (m)	0
Ancho total (m)	1,4
Calado (m)	0,2
Revestimiento	Hormigón

Tipo de cuneta	Tipo II
Talud interior	6:1
Talud exterior	1:1
Ancho base (m)	0
Ancho total (m)	2,1
Calado (m)	0,3
Revestimiento	Hormigón

Tipo de cuneta	Tipo III
Talud interior	1:1
Talud exterior	1:1
Ancho base (m)	0
Ancho total (m)	1,2

Calado (m)	0,6
Revestimiento	Hormigón

Tipo de cuneta	Tipo IV
Talud interior	1:1
Talud exterior	1:1
Ancho base (m)	2,5
Ancho total (m)	3,5
Calado (m)	0,5
Revestimiento	Tierra

4.3.1.2. Caudal a evacuar por las cunetas

A partir de los caudales obtenidos en el apartado 3.4, se ha elaborado la siguiente tabla, donde se resumirán los tramos de cuneta que se han definido, indicando su situación, el tipo de cuneta empleado y el caudal que ha de desaguar, especificando las áreas asociadas a cada tramo de drenaje longitudinal..

Tramo	PK inicio	PK final	Cuenca	Caudal (m³/s)
CV-575 (Margen Izda)	2+360	Final	Cuenca 01+Calz 01 + Tal 01	0.82
CV-573 (Margen Izda)	0+000	Final	Cuenca 03 + Calz 02	2.55
Variante Llocnou	0+090	0+300	Calz 03 + Talud 02	0.21
Variante Llocnou	0+100	0+260	Calz 04 + Talud 03	0.16

Tabla nº 16: Caudales a desaguar por las cuentas

4.3.1.3. Cálculo hidráulico de las cunetas

Para determinar la capacidad hidráulica de las cunetas se hace uso de la fórmula de Manning, para movimientos de agua en lámina libre.

$$Q = K \cdot S_m \cdot R_h^{2/3} \cdot \sqrt{J}$$

donde: Q = caudal, en m³/s

K = coeficiente rugosidad

S_m = área de la sección mojada, en m²

R_h = radio hidráulico, $R_h = S/P$

P = perímetro mojado, en mm.

J = pendiente de la cuneta.

En la siguiente tabla se adjuntan los caudales que son capaces de desaguar cada una de las cunetas calculadas a partir de la fórmula anterior, comparándolas con las que han de desaguar.

Tramo	Caudal (m ³ /s)	T1	T2	F (m)	h (m)	n Manning	Pdte (m/m)	Ancho B (m)	Sup. M (m ²)	Per. M P (m)	Radio Hidr. Rh (m)	Q (m ³ /s)	v (m/s)
CV-575 (Margen Izda)	0.82	1.00	1.00	0.00	0.60	0.014	0.03	1.200	0.360	1.697	0.212	1.584	4.401
CV-573 (Margen Izda)	2.55	1.00	1.00	2.50	0.50	0.02	0.01	3.500	1.500	3.914	0.383	3.957	2.638
Variante Llocnou	0.21	1.00	6.00	0.00	0.30	0.014	0.0169	2.100	0.315	2.249	0.140	0.789	2.504
Variante Llocnou	0.16	1.00	6.00	0.00	0.20	0.014	0.0169	1.400	0.140	1.499	0.093	0.268	1.911

Tabla nº 17: Caudales desaguados por las cunetas

4.3.2. OBRAS TRANSVERSALES DE DRENAJE LONGITUDINAL

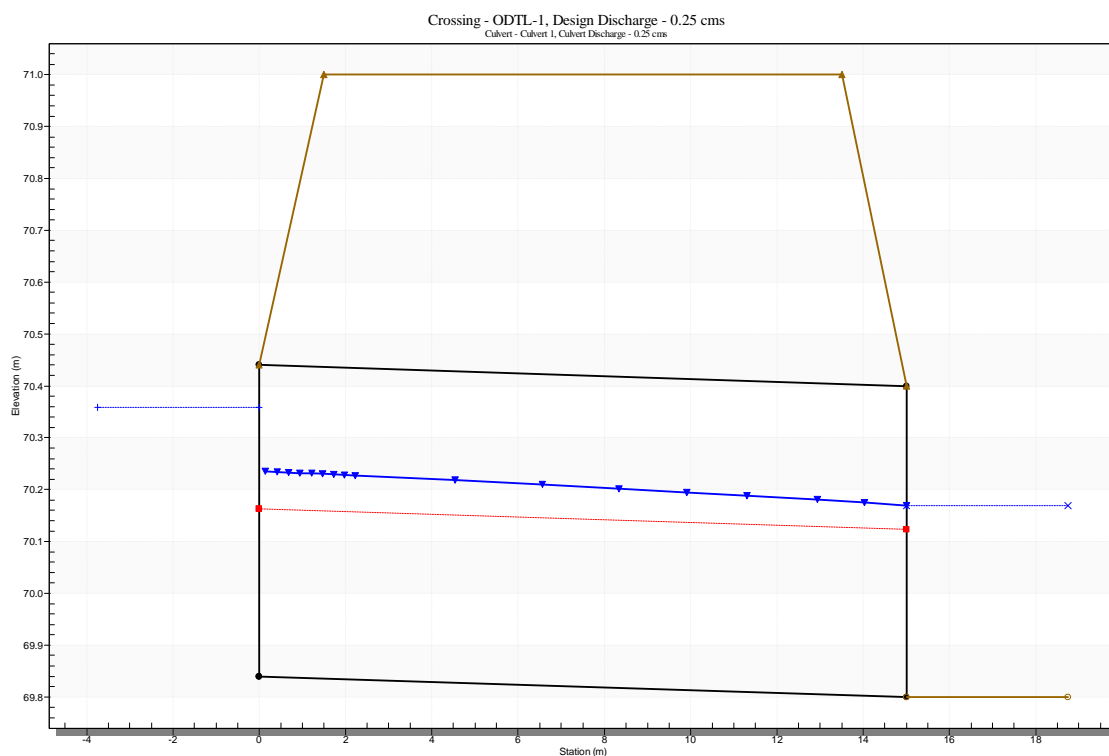
Las obras transversales de drenaje longitudinal son las encargadas de desaguar el agua llevada por las cunetas procedente únicamente de la plataforma de la carretera.

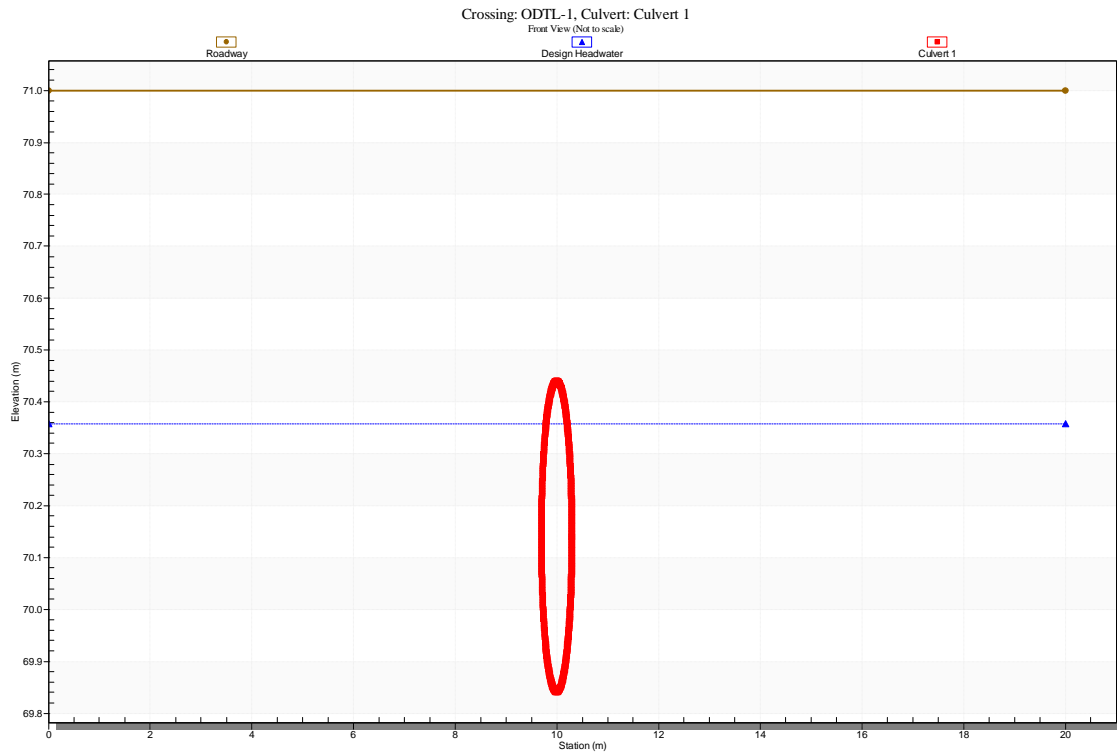
A continuación se resume las características las obras de este tipo que se ejecutarán y los caudales de desagüe asociados.

O.T.D.L	Eje	P.K	Caudal a desaguar (m³/s)	Áreas	Dimensiones
OTDL-1	Variante de Llocnou	0+090	0,212	Calz 18 + Talud 13	Φ 600

Tabla nº 18: Obras transversales de drenaje longitudinal

La comprobación de capacidad de esta obra para el desagüe del drenaje longitudinal se realizará aplicando el mismo método utilizado en las obras de drenaje transversal. Se adjunta a continuación los resultados obtenidos en el programa HY8.



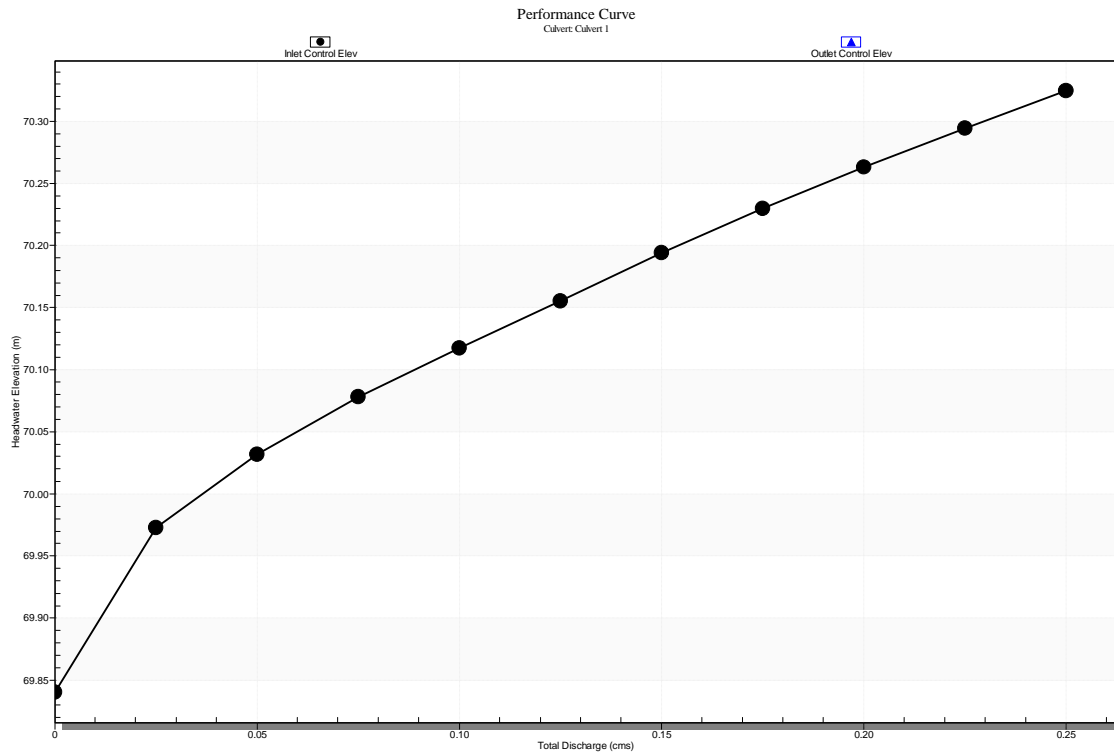


HY-8 Analysis Results

Culvert Summary Table - Culvert 1

Culvert Crossing: ODTL-1

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	69.84	0.00	0.0*	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.02	0.02	69.99	0.13	0.15	3-M1t	0.12	0.09	0.16	0.16	0.43	1.03
0.05	0.05	70.06	0.19	0.22	3-M1t	0.17	0.14	0.20	0.20	0.60	1.23
0.07	0.07	70.11	0.24	0.27	3-M1t	0.20	0.17	0.23	0.23	0.73	1.36
0.10	0.10	70.15	0.28	0.31	3-M1t	0.24	0.20	0.26	0.26	0.84	1.46
0.13	0.13	70.19	0.32	0.35	3-M1t	0.27	0.22	0.28	0.28	0.95	1.54
0.15	0.15	70.23	0.35	0.39	3-M1t	0.30	0.25	0.30	0.30	1.04	1.62
0.17	0.17	70.26	0.39	0.42	3-M2t	0.33	0.27	0.32	0.32	1.13	1.68
0.20	0.20	70.29	0.42	0.45	3-M2t	0.36	0.29	0.34	0.34	1.21	1.74
0.22	0.22	70.33	0.45	0.49	3-M2t	0.39	0.31	0.35	0.35	1.29	1.79
0.25	0.25	70.36	0.48	0.52	3-M2t	0.42	0.32	0.37	0.37	1.37	1.84



5. PUENTE SOBRE EL RÍO BARXETA

5.1. INTRODUCCIÓN

Se redacta este apartado ante la necesidad de justificar que la estructura de la CV-575 sobre el río Barxeta, no interfiere en el régimen hidráulico del río, y constatar, adicionalmente, la existencia de resguardo suficiente de la misma, para asegurar su capacidad de desagüe en casos de crecidas del río Barxeta asociadas a **100 años** de periodo de retorno.

5.2. ESTIMACIÓN DEL CAUDAL DE DISEÑO

Hemos utilizado la aplicación Mapa de Caudales Máximos (CAUMAX) facilitada por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente para estimar el caudal punta obtenido. Esta herramienta desarrollada por el CEDEX nos permite consultar mapas de caudales máximos asociados a distintos períodos de retorno. El caudal asociado a un período de retorno de 100 años en este punto del río Barxeta es de 649 m³/s.

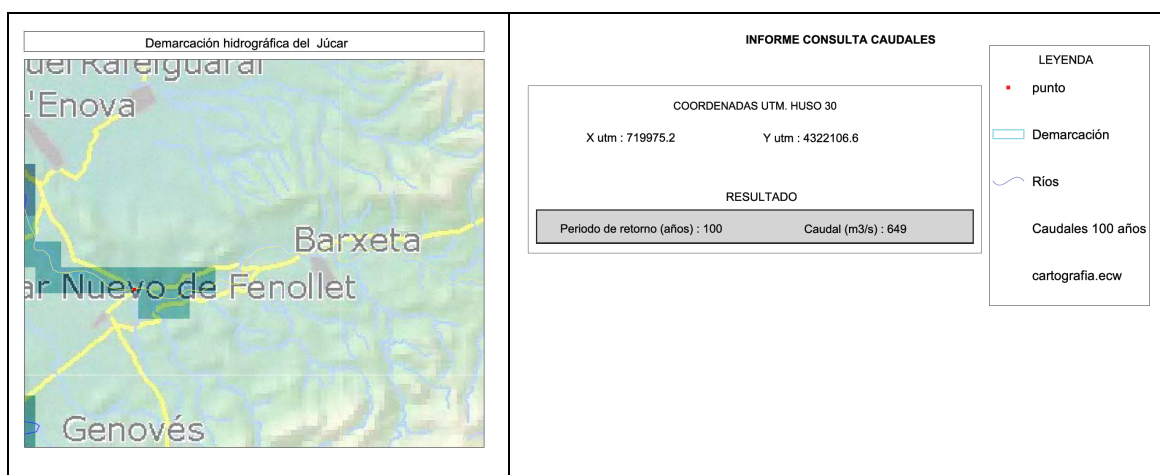


Figura nº 5.- Informe consulta de Caudales programa CAUMAX (MAGRAMA y CEDEX).

5.3. ESTUDIO HIDRÁULICO

5.3.1. INTRODUCCIÓN

En el estudio hidráulico se pretende analizar el comportamiento del cauce del río Barxeta frente a un suceso de carácter extraordinario, en las inmediaciones del puente de la CV-575. Dado que la infraestructura es existente y no se modifica las partes que presentan frente al paso del flujo, se persigue en el presente anejo comprobar el comportamiento hidráulico del cauce en el entorno de la estructura de paso, con el objeto de justificar que ésta tiene resguardo suficiente para permitir el desagüe de crecidas asociadas a 100 años de periodo de retorno y que no interfiere en el régimen hidráulico del cauce del río Barxeta.

El análisis hidráulico de la situación de partida se llevará a cabo mediante la potente herramienta de cálculo que supone la utilización del software HEC-RAS, que permite la simulación hidráulica en régimen permanente o transitorio de una red de cauces con el objeto de obtener el perfil de la superficie libre mediante la resolución de la ecuación de la energía.

5.3.2. MODELO DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA HEC-RAS

Ya se ha indicado en la introducción del presente capítulo que el modelo de simulación hidráulica-sedimentológica Hec-RAS, en su versión 3.1.3, tiene como utilidad principal el análisis del flujo unidimensional turbulento completamente desarrollado, en régimen permanente o transitorio, en redes de cursos fluviales, encauzamientos y canalizaciones, con interferencia de estructuras insertas en el curso del flujo.

Los distintos requerimientos que precisa el programa y las diferentes opciones de simulación de las que dispone se describen someramente en los apartados siguientes.

5.3.2.1. Datos geométricos

Los datos geométricos básicos consisten en: el establecimiento de la conectividad del sistema fluvial (esquema del sistema fluvial), datos de secciones transversales, distancias entre secciones, coeficientes de pérdida de energía (pérdidas por fricción y pérdidas por contracción o expansión) e información sobre uniones fluviales (confluencias o divergencias). A continuación, revisamos la información que solicita el programa para establecer todos estos datos geométricos.

5.3.2.1.1. Determinación de los límites de estudio

Los límites para la recolección de datos aguas arriba de la zona de estudio deberían ubicarse a una distancia tal, que los incrementos en el perfil del agua, producto de cualquier modificación dentro del cauce, converjan con las condiciones previamente existentes. En el caso de análisis, esta condición se ha traducido en modelizar un tramo de cauce del río Barxeta, cuyo inicio se encuentra emplazado aproximadamente 225 m aguas arriba de la estructura.

En relación a la condición de contorno aguas abajo, es necesaria la obtención de información adicional para prevenir la afección de los resultados dentro del tramo de estudio debido a alguna condición de contorno definida por el usuario.

Para un flujo subcrítico, el error introducido en el contorno a través de un calado desconocido irá disminuyendo a medida que los cálculos avancen hacia aguas arriba. Consecuentemente, y con el fin de evitar cualquier error de cálculo dentro del tramo objeto del estudio hidráulico, la condición de contorno desconocida deberá ubicarse suficientemente alejada aguas abajo, de modo que el perfil calculado converja hacia una solución consistente en el momento en que los cálculos alcancen el límite inferior de la zona de estudio.

En el caso cuyo análisis nos ocupa, esta condición se ha traducido en modelizar un tramo del río Barxeta que termina 450 m aguas abajo de la estructura, punto suficientemente alejado para que las variables hidráulicas en el entorno de la estructura de la CV-575 sean independientes de la condición impuesta en el punto final.

5.3.2.1.2. Esquema del sistema fluvial

El esquema define la conectividad de los diversos tramos fluviales. Hec-Ras es capaz de modelar sistemas fluviales que abarcan desde tramos sencillos únicos hasta complicadas redes fluviales.

A continuación, se muestra el esquema del sistema fluvial objeto de este estudio:

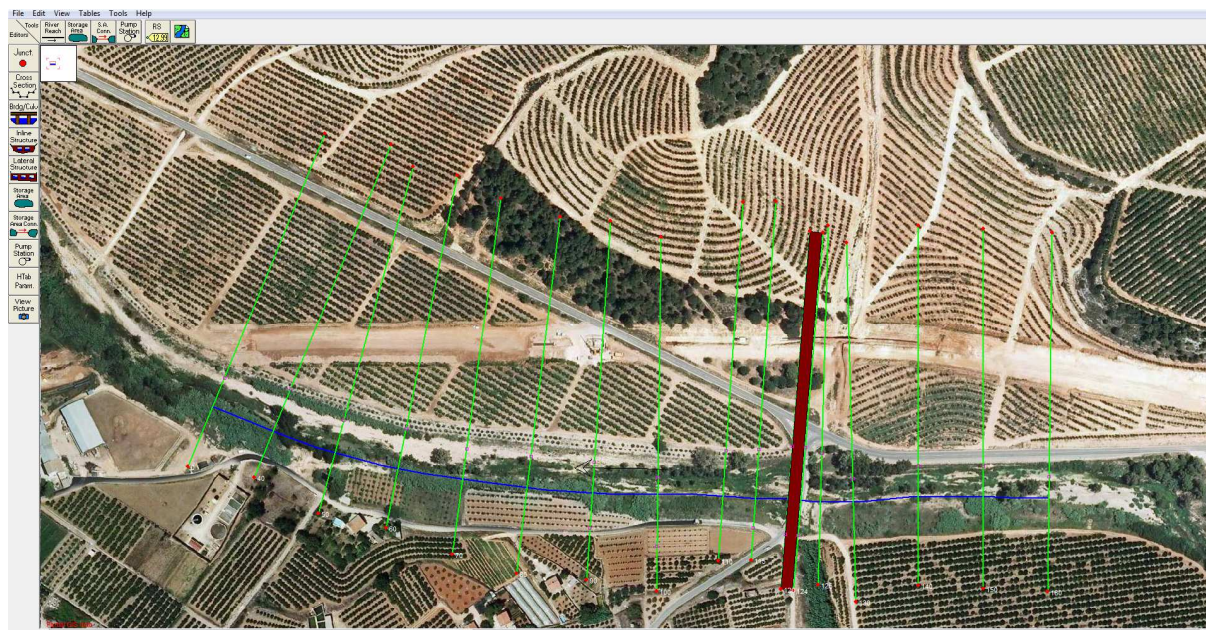


Figura nº 6.- Esquema fluvial del tramo del río Barxeta modelizado en HEC-RAS.

Tal y como puede apreciarse en la figura anterior, el esquema fluvial consiste en un solo tramo de cauce cuya longitud total es de **690 m**.

5.3.2.1.3. Geometría de las secciones transversales

La geometría del canal se introduce en Hec-RAS en términos de perfiles de superficie del terreno (secciones trasversales) y distancias medidas entre ellas (longitudes entre secciones).

Las secciones trasversales se sitúan a intervalos a lo largo del canal o curso fluvial para caracterizar la capacidad de transporte de flujo del cauce y su llanura de inundación. Las secciones deberían alcanzar la totalidad de la llanura de inundación, y deberían ser perpendiculares a las líneas de flujo (aproximadamente paralelas a las curvas de nivel).

Es necesaria la introducción de secciones trasversales en posiciones representativas a lo largo del canal: en puntos donde ocurran cambios en el caudal, pendiente, forma o rugosidad, donde comiencen o acaben diques, y en puentes u otras estructuras de control. También se deberán utilizar varias secciones, independientemente de la distancia, en las zonas donde se produzcan cambios abruptos. El espaciamiento entre secciones es también función del tamaño del río, su pendiente, y la uniformidad en la forma de las secciones trasversales. Las longitudes de tramo en las márgenes son medidas a lo largo de la traza que realiza el centro de masas del flujo en la margen.

En este caso, se han definido secciones del cauce del río Barxeta cada 50 metros, además de algunas adicionales en la zona donde va inserta la infraestructura del transporte que nos ocupa.

5.3.2.1.4. Rugosidad del contorno

El siguiente dato geométrico necesario para la modelización del cauce es la **rugosidad del contorno**, concepto utilizado en la evaluación de la resistencia al avance del flujo.

En los cauces con contornos erosionables la forma cambia con las condiciones del flujo; el lecho adquiere diferentes configuraciones y la sección transversal puede llegar a desplazarse lateralmente. Estos cambios afectan a la resistencia al avance del flujo e introducen una “resistencia de forma” adicional a la “resistencia de grano” que se considera exclusivamente en canales artificiales prismáticos. La resistencia de forma está asociada a las formas de lecho, considerando como tales a las irregularidades de tamaño superior al mayor tamaño de la granulometría del material que lo forma.

La resistencia al avance del flujo y en concreto las pérdidas de energía asociadas a la fricción con el contorno se calculan mediante la conocida ecuación del ingeniero irlandés Robert Manning, introducida en una reunión del *Institute of Civil Engineers* de Irlanda en 1889, que se expresa del siguiente modo en unidades del Sistema Internacional:

$$I = \frac{n^2}{R_h^{4/3}} V^2$$

donde:

I : pendiente de la línea de energía

R_h : radio hidráulico, en m.

V : velocidad media del flujo, en m/s.

n : coeficiente de rugosidad, conocido como n de Manning.

Aunque la anterior fórmula de resistencia al avance del flujo es estrictamente válida para régimen estacionario y uniforme, en el método de cálculo que utiliza **HEC-RAS** se aproxima la resistencia al avance en flujos variados a la del flujo estacionario y uniforme con el mismo calado.

El método aplicado para la estimación del número de Manning es el Método de Cowan (“Hidráulica de canales abiertos” de Ven Te Chow). A continuación, se explican de modo resumido las principales bases de esta metodología.

Básicamente, el método estima el coeficiente Manning como adición de varios sumandos, estructura que responde a los diferentes factores de los que depende el parámetro físico que deseamos estimar. La expresión analítica a aplicar es la siguiente:

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

A continuación, se procede a explicar el significado de cada uno de los sumandos y del factor m_5 .

n_0 es el valor básico del número de Manning para un canal recto, uniforme y liso en los materiales naturales involucrados.:

n_1 es un valor corrector del número de Manning asociado al efecto de las rugosidades superficiales.

n_2 es el segundo corrector del valor inicial y está asociado a las variaciones de forma y tamaño que pueda presentar la sección transversal del cauce.

n_3 es el valor corrector asociado a las posibles obstrucciones que el cauce objeto de estudio puede presentar al paso del flujo.

n_4 es el sumando corrector asociado al efecto de la vegetación.

m_5 es el factor de corrección asociado al efecto de los meandros.

Los valores que alcanzan cada uno de los factores anteriores se recogen en el siguiente cuadro:

Características del terreno	Tierra	Corte en roca	Grava fina	Grava gruesa
n	0,020	0,025	0,024	0,028
Grado de irregularidad	Suave	Menor	Moderado	Severo
n_1	0,000	0,005	0,010	0,020
Variación de la ST	Gradual	Ocasionalmente alternante	Frecuentemente alternante	-
n_2	0,000	0,005	0,010-0,015	-
Grado de obstrucción	Insignificante	Menor	Apreciable	Severo

n_3	0,000	0,010 - 0,015	0,020 - 0,030	0,040 - 0,060
Grado de vegetación	Baja	Media	Alta	Muy alta
n_4	0,005-0,010	0,010-0,025	0,025-0,050	0,050-0,100
Efecto de los meandros	Menor	Apreciable	Severo	-
m_5	1,000	1,150	1,300	-

Tabla nº 19: Valores de los factores correctores de la rugosidad. Método de Cowan.

Para la aplicación de la metodología anteriormente expuesta y debida a Cowan se ha considerado una cauce en tierras con grado de irregularidad suave, con variaciones graduales de secciones transversales, sin obstrucciones al paso del flujo significativas, con un grado de vegetación bajo-medio y sin meandros acusados en la zona de estudio. Así pues, el número de Manning utilizado abarca el intervalo de 0,025-0,030.

5.3.2.1.5. Modelación de estructuras transversales insertas en el cauce

Hec-RAS calcula las pérdidas de energía causadas por las estructuras insertas en el curso fluvial en tres partes bien diferenciadas:

- Pérdidas de energía ocurridas en el tramo inmediatamente aguas abajo de la estructura, donde tiene lugar la expansión del flujo.
- Pérdidas de energía producidas en la propia estructura, calculables por diferentes métodos.
- Pérdidas inmediatamente aguas arriba de la estructura donde se produce la contracción del flujo.

Dos son las cuestiones principales para llevar a cabo correctamente la modelización de una estructura: localizar en la ubicación adecuada las secciones transversales que circundan la estructura y elegir con criterio el método de cálculo hidráulico.

Las consideraciones a tener en cuenta para modelizar la geometría de un tramo fluvial en las proximidades de un puente son independientes de las posibles alternativas de cálculo que permite Hec-RAS.

Las alternativas disponibles utilizan cuatro secciones trasversales a definir por el usuario con el objetivo de calcular las pérdidas de energía causadas por la estructura. Durante los cálculos hidráulicos el programa formula, además, dos secciones adicionales en el interior de la estructura.

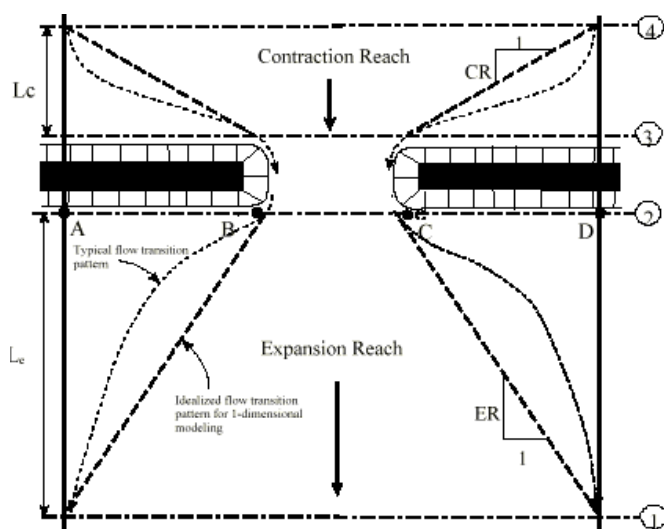


Figura nº 7.- Secciones transversales en el entorno del puente.

Sección transversal 1: Su situación debe ser suficientemente aguas abajo de la estructura de manera que se haya producido por completo la expansión del flujo.

La distancia del tramo de expansión, L_e , debería determinarse mediante investigación de campo durante la ocurrencia de crecidas. En el caso en que no sea posible la investigación de campo, la recomendación que da el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos es una distancia igual a cuatro veces la longitud media de la cara de constricción causada por los estribos de la estructura.

Sección transversal 2: Debe localizarse a corta distancia aguas abajo del puente. Esta sección deberá representar el área de flujo efectiva en las inmediaciones del puente, para lo que se hará uso de la herramienta Ineffective Flow Areas del menú de secciones transversales.

Sección transversal 3: Debe localizarse a corta distancia aguas arriba del puente.

La distancia entre esta sección y el puente deberá recoger exclusivamente la longitud requerida para que se produzca la aceleración y contracción del flujo en la zona inmediatamente aguas arriba del puente. La sección 3 debe representar sólo el área de flujo efectiva aguas arriba del puente.

Sección transversal 4: Es una sección ubicada aguas arriba del puente donde las líneas de flujo son aproximadamente paralelas y la sección transversal es plenamente efectiva. En general, la contracción del flujo se produce en una distancia más corta que la expansión.

Previa explicación de las diferentes metodologías de cálculo y ecuaciones aplicables para el cálculo de pérdidas de energía por la acción de una estructura, cabe diferenciar los tipos y clases de flujo.

El Hec-RAS desde la perspectiva de la modelización hidráulica de puentes contempla dos tipos de flujo: los flujos bajos y los altos.

Se entiende por flujo bajo a aquel que atraviesa el puente en lámina libre, de modo que la superficie de agua se mantiene por debajo del punto más bajo del tablero del puente. En el caso de que el puente entre en carga o que el flujo lo rebase, estaremos en situación de flujo alto.

Para identificar la clase de flujo, el programa utiliza la ecuación del momento. El procedimiento que sigue consta de dos fases:

En primer lugar, calcula el momento con calado crítico en las dos secciones interiores del puente. La sección interior al puente con mayor momento (sección más constreñida) será la sección de control en el puente. Si las dos secciones son idénticas el programa toma la sección de aguas arriba como la sección de control.

Como segundo paso, compara el momento con calado crítico en la sección de control con el momento del flujo aguas abajo del puente para el flujo subcrítico (aguas arriba para flujo supercrítico).

Si el momento en la sección de aguas abajo es mayor que el momento crítico en el interior del puente se considera que el flujo es completamente subcrítico a través del puente (Clase A de flujo bajo), si no es así se asume que la constricción provoca un resalto hidráulico (Clase B de flujo bajo). Si el perfil es completamente supercrítico a través del puente, entonces se considera Clase C de flujo bajo.

HEC-Ras facilita cuatro métodos para abordar el cálculo de las pérdidas a través del puente en caso de flujo bajo:

- Ecuación de la energía
- Balance de momento
- Ecuación de Yarnell
- Método WSPRO

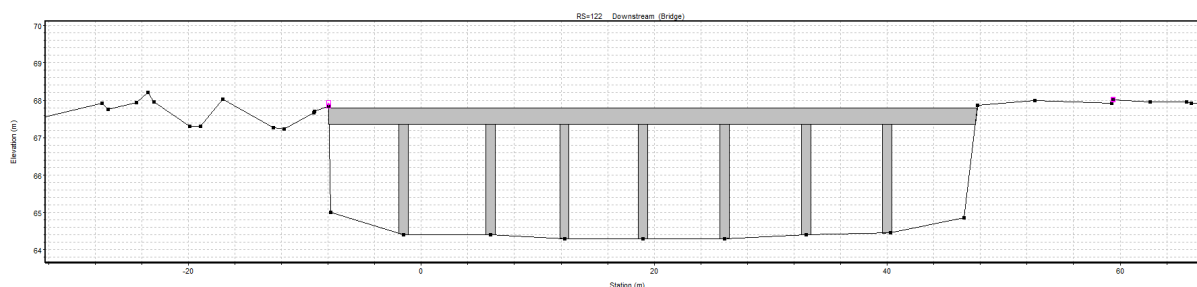
El programa, según el tipo de flujo alto que esté aconteciendo, utiliza la ecuación de la energía u otras ecuaciones que rigen el flujo en presión o el vertido sobre vertedero de pared delgada.

Puente CV-575 - Barxeta			
PK	0+225	Material	Fábrica
Ancho medio tablero	9,0	Longitud tablero	85,97
Caracterización de los Vanos			
Número: 8	Forma: Rectangular	Ancho: Variable	Altura máx: 2,90
Caracterización de las pilas			
Número: 7	Sección: Rectangular	Ancho: 0,9	Altura máx: 2,90

Fotografía



Modelización en HEC-RAS



5.3.2.2. Datos de flujo permanente

5.3.2.2.1. Régimen de flujo

Está determinado en gran medida por la pendiente natural del cauce y su rugosidad.

En cualquier caso, en las distintas simulaciones que se han llevado a cabo, se le ha especificado al modelo la condición de régimen mixto. Esta condición lleva a que sea el propio modelo el que determine el régimen de flujo en cada instante y para cada sección de la franja de inundación, incluyendo el cálculo del resalto que pudiese formarse ante el cambio de régimen rápido a lento.

5.3.2.2.2. Caudales circulantes

Los datos de caudales se han extraído del estudio hidrológico. En HEC-RAS sólo se ha analizado la respuesta del sistema fluvial frente a la crecida asociada a 100 años de periodo de retorno, dado que esta es la avenida de diseño del tramo. El caudal punta de la crecida del río Barxeta asociada a 100 años de periodo de retorno al paso de la estructura de la CV-575 es de **649 m³/s**.

5.3.2.2.3. Condiciones de contorno

Del conjunto de condiciones de contorno entre las que se puede elegir dentro del HEC-RAS, se ha escogido la opción de calado normal en la sección de inicio, aguas arriba y final, aguas abajo.

5.3.3. SIMULACIONES HIDRÁULICAS REALIZADAS

5.3.3.1. Resumen de las hipótesis de partida

Se pretende en este apartado hacer una síntesis de los datos de entrada necesarios para realizar las simulaciones hidráulicas y de las hipótesis adoptadas para los cálculos.

La geometría longitudinal del cauce ha sido definida a través del eje fluvial del mismo que se ha delineado sobre la cartografía disponible del cauce del río Barxeta.

La geometría transversal del cauce ha sido definida a partir de los perfiles transversales del mismo, que han sido obtenidos mediante el uso de la cartografía disponible del tramo objeto de estudio. Se han definido secciones cada 50 metros y se han realizado interpolaciones cada 10 metros para el cálculo hidráulico.

La rugosidad del cauce se ha estimado por aplicación del Método de Cowan e inspección visual. En apartado anterior se han recogido los valores resultantes.

Se ha supuesto un régimen de flujo mixto.

En cuanto al caudal circulante por el cauce, se ha considerado un valor de 649 m³/s, correspondiente al caudal punta del hidrograma de crecida del río Barxeta asociado a 100 años de periodo de retorno, a su paso por la estructura objeto de estudio.

Se ha supuesto una condición de contorno de calado normal aguas arriba y aguas abajo, situadas lo suficientemente alejadas del tramo de estudio, para evitar que éstas invalidasen los resultados obtenidos en las inmediaciones de la estructura.

5.3.3.2. Análisis hidráulico del tramo objeto de estudio

A continuación se adjuntan los resultados obtenidos en el entorno del emplazamiento del puente y un croquis de la sección transversal de cálculo con indicación de la lámina de agua esperada para una crecida asociada a 100 años de periodo de retorno.

River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
160	649.00	65.51	68.14	68.70	69.96	0.008999	5.98	108.61	53.20	1.33
150	649.00	65.24	67.12	67.78	69.36	0.014004	6.64	97.74	57.57	1.63
140	649.00	64.97	67.60	67.60	68.77	0.004836	4.78	135.75	58.52	1.00
130	649.00	64.66	67.24	67.40	68.49	0.006020	4.96	130.86	63.98	1.11
125	649.00	64.44	66.70	67.16	68.28	0.009240	5.56	116.68	66.20	1.34
124	649.00	64.40	66.70	66.95	68.21	0.007053	5.44	119.38	55.16	1.18
122	Bridge									
120	649.00	64.30	66.36	66.87	68.29	0.010447	6.14	105.64	55.03	1.42
115	649.00	64.09	67.47	67.47	68.70	0.004661	4.90	132.42	54.12	1.00
110	649.00	63.96	67.33	67.67	68.66	0.007741	4.36	138.23	75.92	1.21
100	649.00	63.75	67.49	67.49	68.42	0.005136	4.29	151.45	80.51	1.00
90	649.00	63.52	67.21	67.21	68.16	0.005065	4.33	149.98	78.55	1.00
80	649.00	63.25	66.55	66.80	67.83	0.007107	5.03	129.12	69.64	1.18
70	649.00	62.96	66.73	66.73	67.75	0.004998	4.46	145.61	71.96	1.00
60	649.00	62.52	66.50	66.62	67.58	0.005886	4.59	141.32	75.21	1.07
50	649.00	62.20	65.56	65.97	67.16	0.009308	5.61	115.75	64.71	1.34
40	649.00	62.11	66.16	66.16	66.39	0.001499	2.11	307.04	189.21	0.53
0	649.00	61.91	65.90	65.90	66.14	0.001661	2.18	297.80	190.33	0.56

Tabla nº 20.- Resultados de la simulación hidráulica.

El rango de velocidades medias del flujo en el cauce principal en el entorno de la estructura oscila entre el intervalo de 5,44 a 6,14 m/s. La lámina de agua en la zona alcanza cotas que oscilan dentro del intervalo 66,95 a 66,87 msnm.

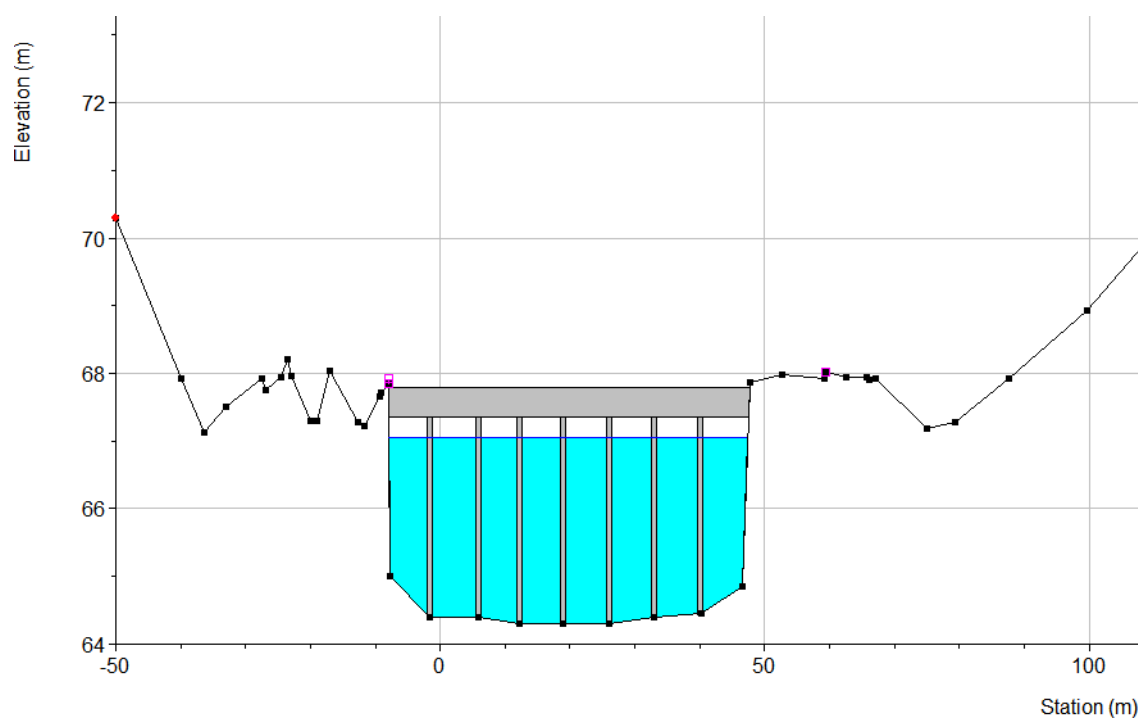


Figura nº 8: Sección transversal de la estructura

5.3.4. CONCLUSIONES

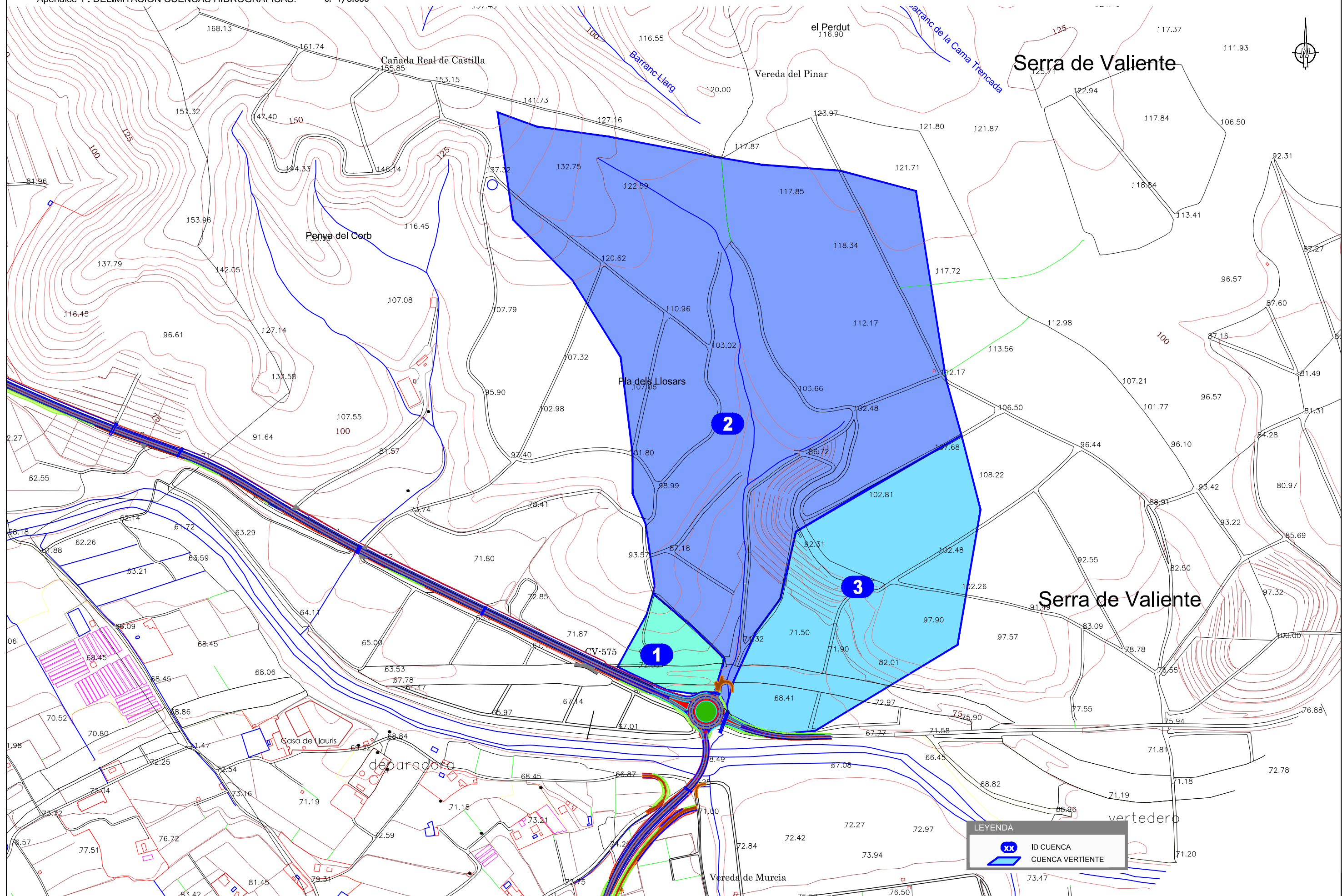
El estudio hidráulico llevado a cabo tiene como objeto principal verificar que la estructura de paso de la CV-575 sobre el río Barxeta, no interfiere de forma negativa en el funcionamiento hidráulico de dicho cauce fluvial.

En primer lugar, cabe señalar que los resultados del modelo hidráulico construido para tal efecto, ponen de manifiesto que las secciones en las que se ubica la estructura tienen capacidad hidráulica suficiente para trasegar el caudal punta correspondiente a la crecida asociada a 100 años de periodo de retorno. Es decir, la estructura del puente objeto del este estudio **posee un resguardo suficiente** - 67,36 (punto más bajo del tablero del puente) – 66,95 (lámina de agua en la sección de aguas arriba)=0,41 m - respecto a la máxima cota que alcanzaría la lámina de agua en la citada crecida extraordinaria.

Adicionalmente, los resultados hidráulicos reflejan que la estructura no provoca daños adicionales en el cauce y zonas adyacentes del cauce del río Barxeta en el tramo de estudio, dado que no condiciona el funcionamiento hidráulico del mismo aguas arriba de su ubicación.

Atendiendo, por tanto, a las recomendaciones de la Ley de Aguas y del Reglamento Público Hidráulico (RD 849/1986) en cuanto a la autorización de obras de paso sobre cauces fluviales se refiere, la estructura objeto de estudio no produce inundaciones aguas arriba de su situación, no incurriendo en causa alguna que pudiera paralizar su construcción.

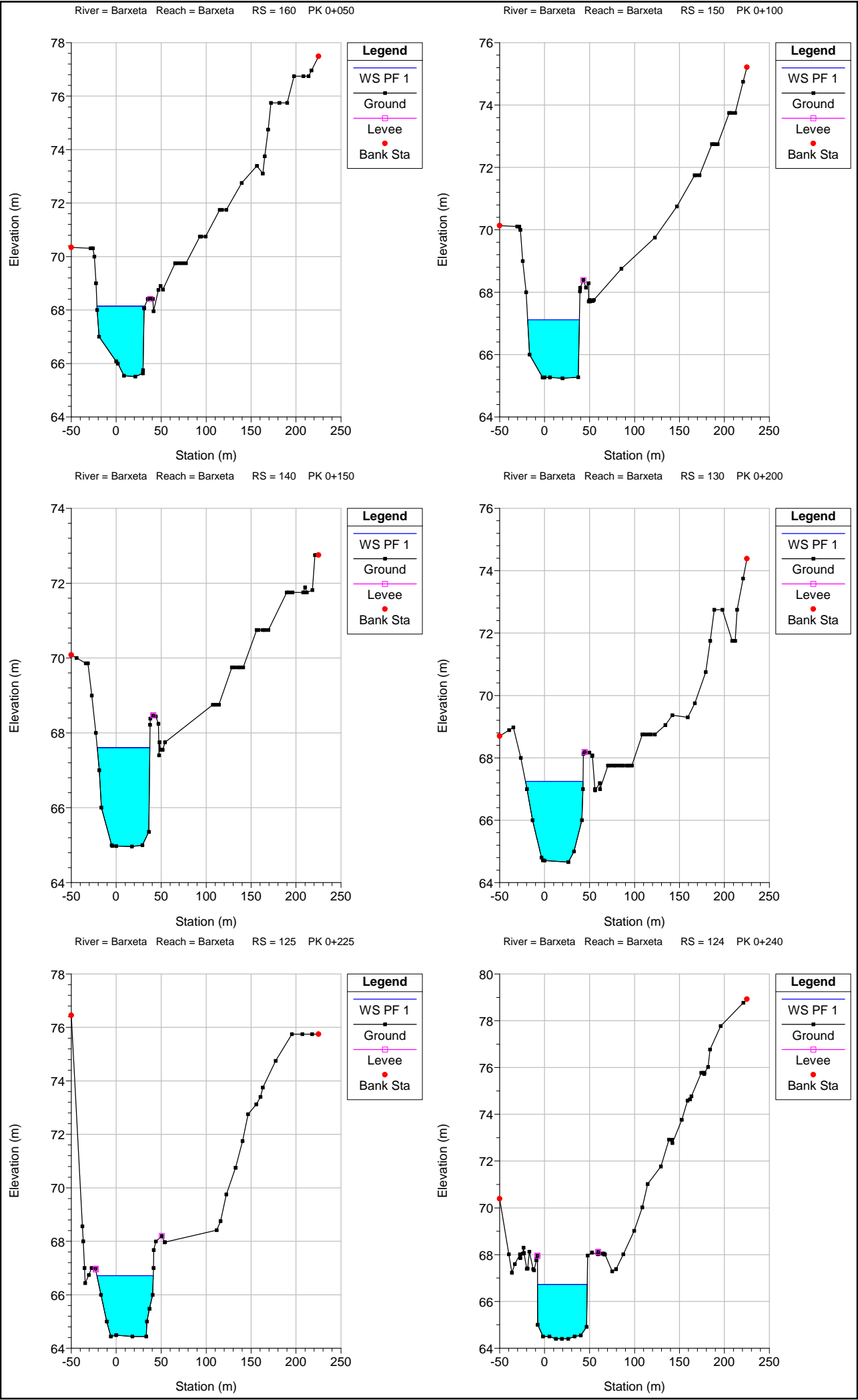
APÉNDICE N°1: PLANOS DE DELIMITACIÓN DE CUENCAS HIDROLÓGICAS



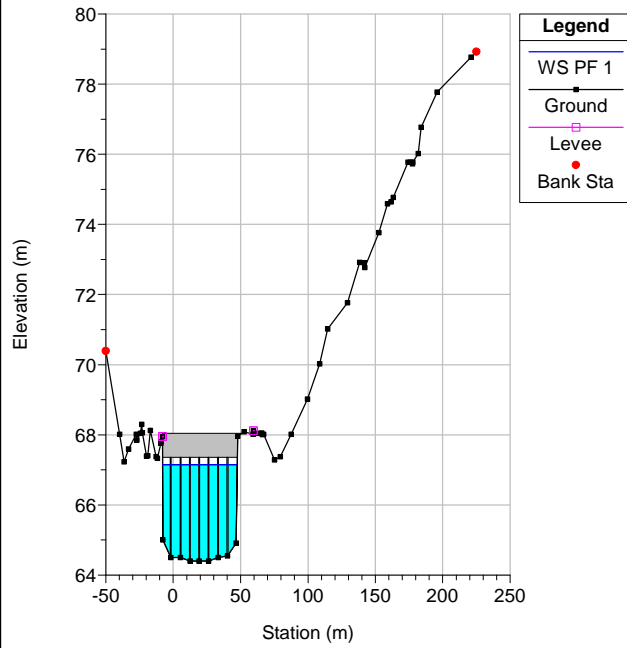
LEYENDA

- ID CUENCA
- CUENCA VERTIENTE

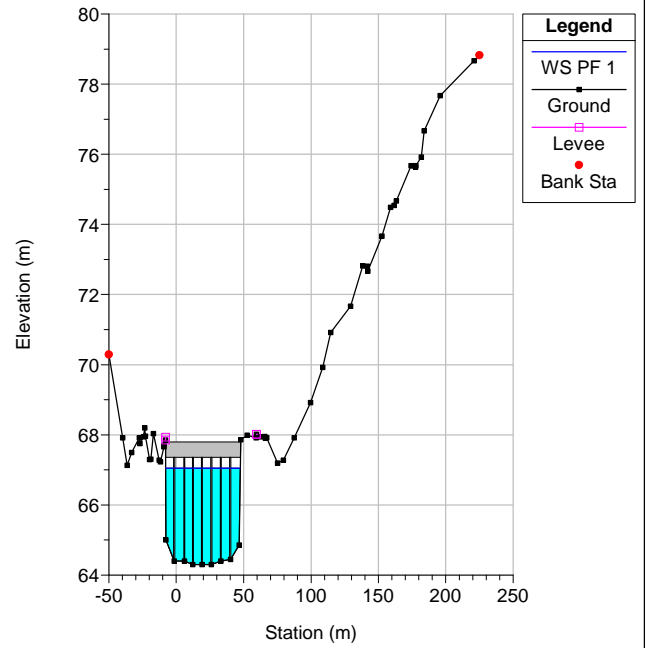
APÉNDICE N°2: SECCIONES TRANSVERSALES T=100



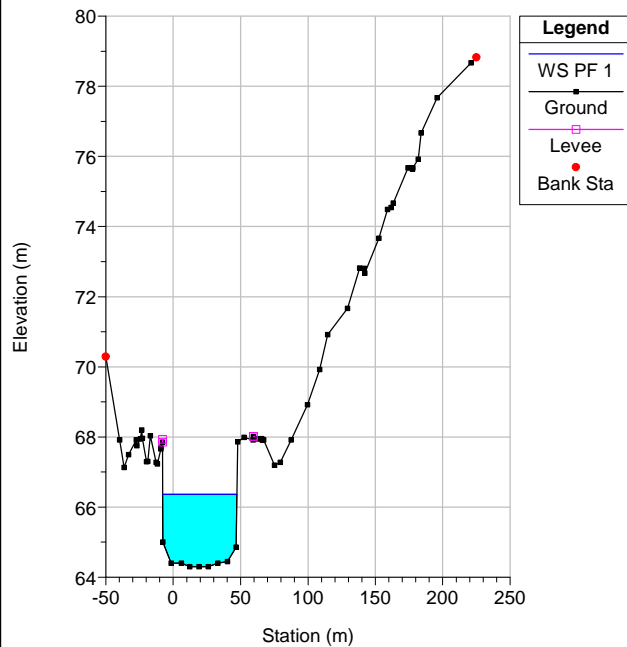
River = Barxeta Reach = Barxeta RS = 122 BR Cruce CV-575



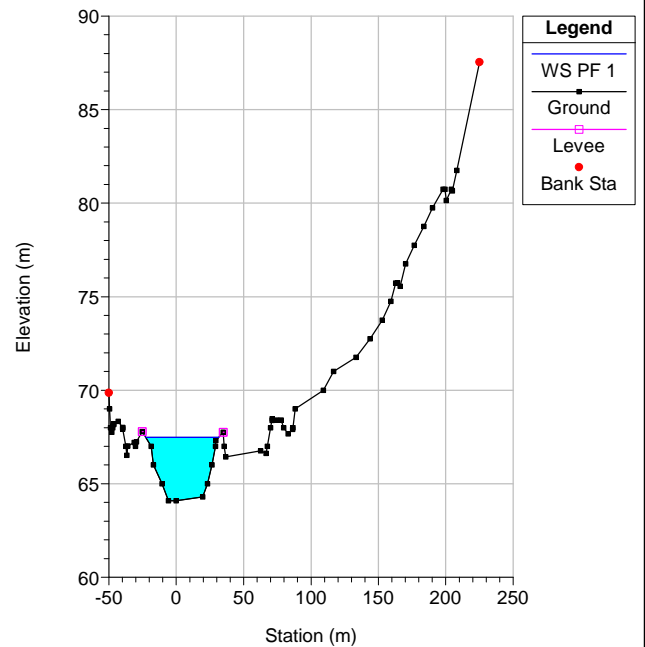
River = Barxeta Reach = Barxeta RS = 122 BR Cruce CV-575



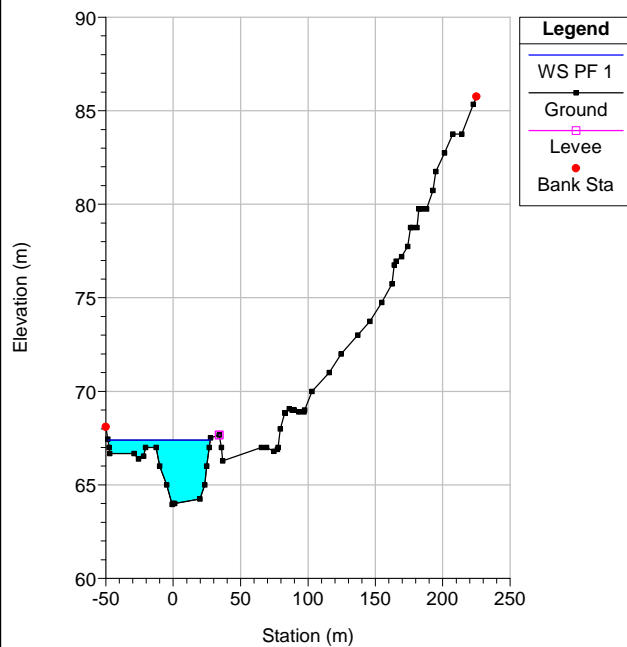
River = Barxeta Reach = Barxeta RS = 120 PK 0+250



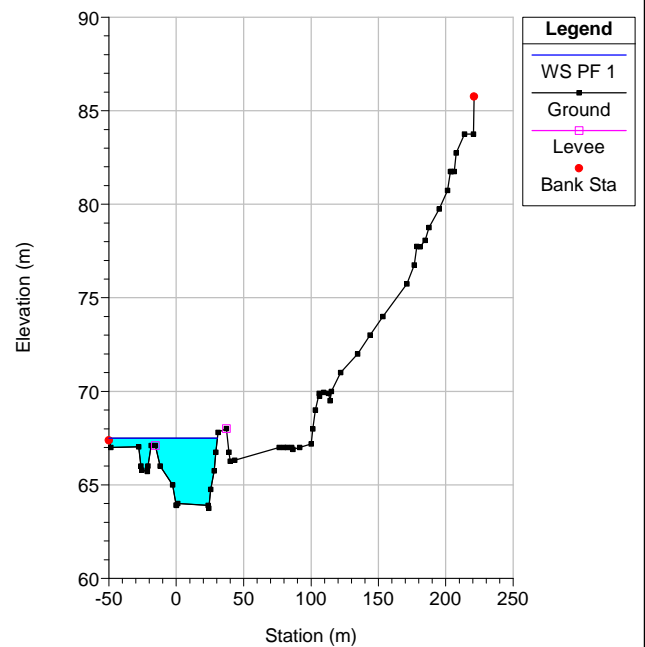
River = Barxeta Reach = Barxeta RS = 115 PK 0+275



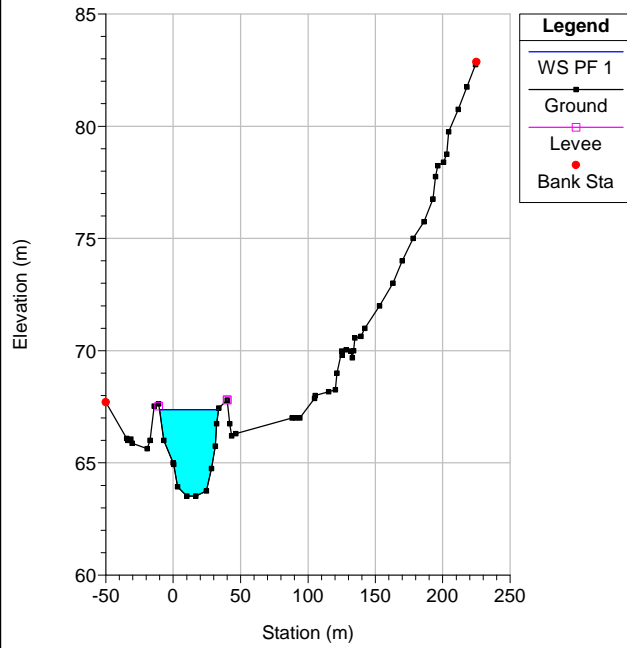
River = Barxeta Reach = Barxeta RS = 110 PK 0+300



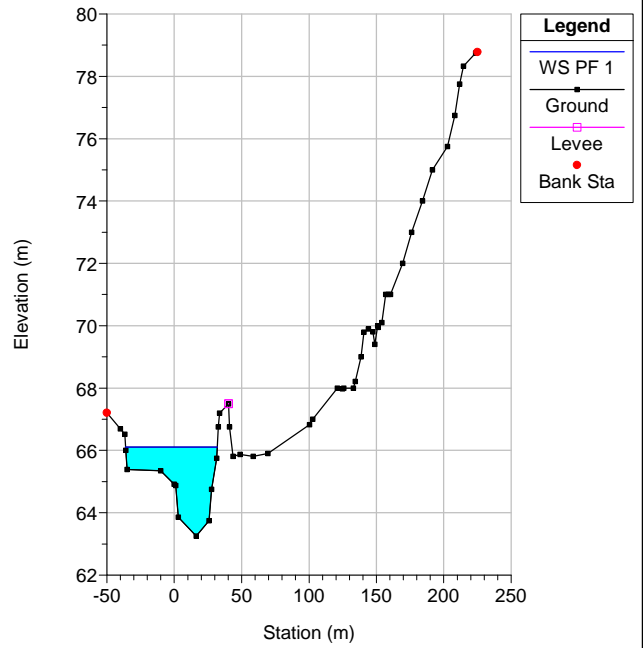
River = Barxeta Reach = Barxeta RS = 100 PK 0+350



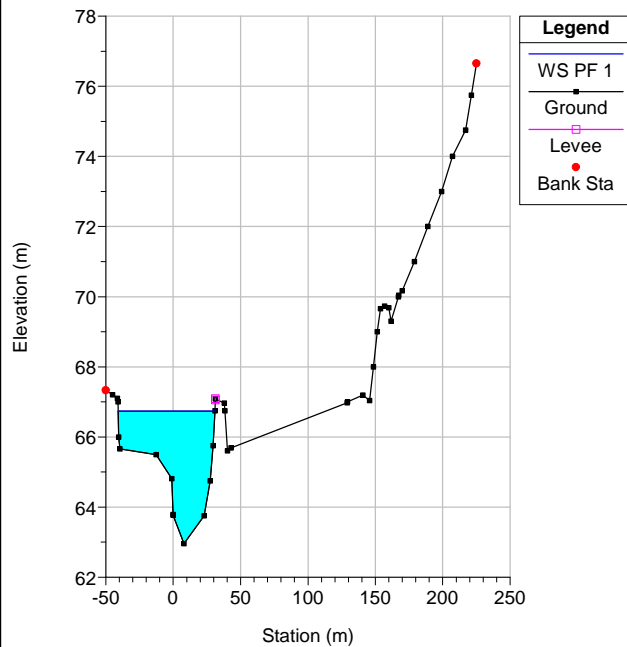
River = Barxeta Reach = Barxeta RS = 90 PK 0+400



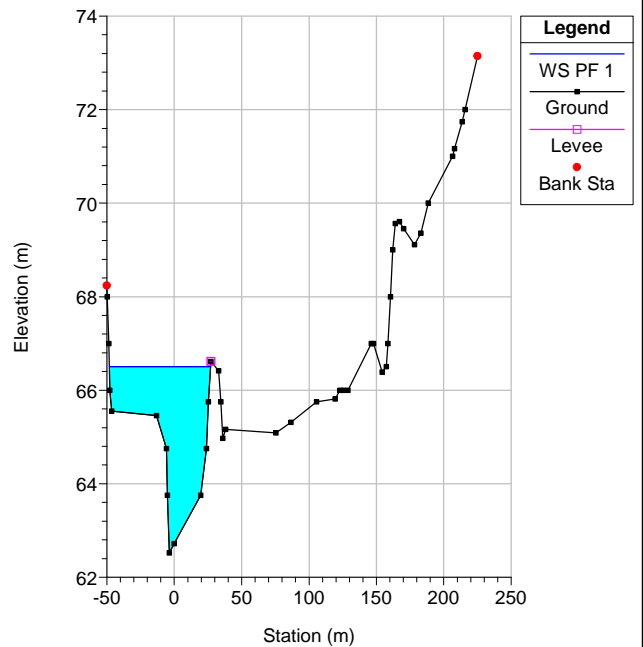
River = Barxeta Reach = Barxeta RS = 80 PK 0+450



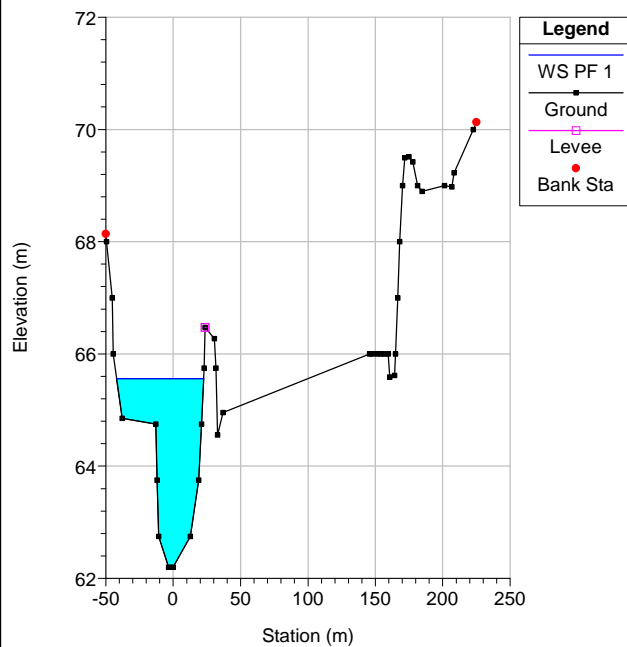
River = Barxeta Reach = Barxeta RS = 70 PK 0+500



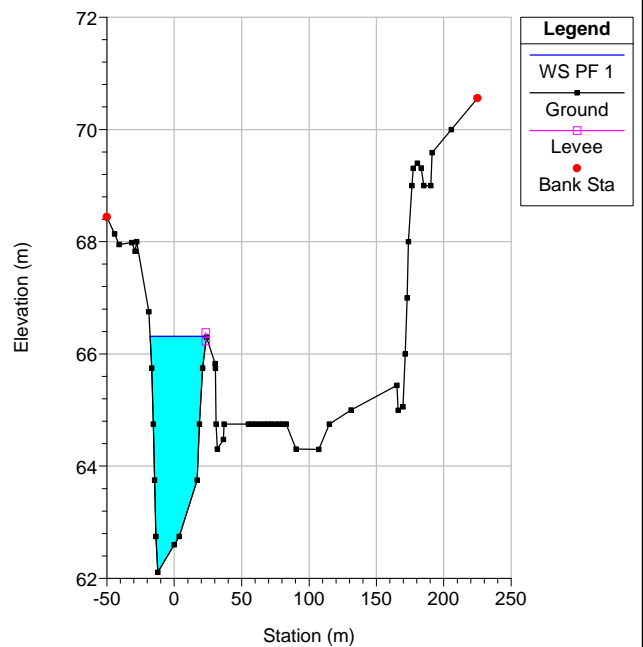
River = Barxeta Reach = Barxeta RS = 60 PK 0+550



River = Barxeta Reach = Barxeta RS = 50 PK 0+600



River = Barxeta Reach = Barxeta RS = 40 PK 0+650



River = Barxeta Reach = Barxeta RS = 0 PK 0+690

