



**ESTUDI HIDRÀULIC.  
PLA PARCIAL N°7 SECTOR 2  
"BALCÓ DEL DELTA". L'AMPOLLA  
(BAIX EBRE)**

**ÍNDEX**

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓ</b> .....	<b>2</b>
1.1	ANTECEDENTS .....	2
1.2	OBJECTE D'ESTUDI .....	2
1.3	CONTEXT GEOGRÀFIC .....	2
1.4	CONTEXT GEOLOGIC .....	3
1.5	context hidrologic superficial.....	3
<b>2</b>	<b>HIDROLOGIA</b> .....	<b>4</b>
2.1	INTRODUCCIÓ.....	4
2.2	DEFINICIÓ DE LA CONCA.....	4
2.2.1	Introducció .....	4
2.2.2	Característiques morfològiques de la conca .....	4
2.3	MÈTODE DEL SCS CN .....	5
2.4	MODEL METEOROLÒGIC .....	6
2.5	CÀLCUL DE CABALS AMB EL METODE RACIONAL.....	7
2.5.1	Introducció .....	7
2.5.2	Coefficient d'uniformitat (K) .....	7
2.5.3	Coefficient d'escorrentiu (C) .....	7
2.5.4	Temps de concentració (Tc).....	8
2.5.5	Pluja de disseny. Intensitat de la precipitació (I) .....	8
2.5.6	Cabals obtinguts .....	9
<b>3</b>	<b>MODELITZACIÓ HIDRÀULICA</b> .....	<b>10</b>
3.1	METODOLOGIA DE CàLCUL .....	10
3.2	BASE TEORICA DE CALCUL .....	10
3.3	MODELITZACIO DE LA PLANA D'INUNDACIO .....	11
3.3.1	Tipus de règim .....	11
3.3.2	Cabal de càlcul .....	11
3.3.3	Seccions de càlcul .....	11
3.3.4	Paràmetre hidràulics.....	12
3.3.5	Estructura projectada.....	12
3.3.6	Condicions de contorn .....	13
3.4	RESULTATS DE LA SIMULACIÓ .....	13
3.4.1	Situació actual (sense viaducte).....	13
3.4.2	Situació amb el viaducte.....	15
<b>4</b>	<b>EROSIÓ</b> .....	<b>18</b>
4.1	MÈTODE DE CàLCUL .....	18
4.1.1	Mètode del SCU .....	18
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONS</b> .....	<b>19</b>

## 1 INTRODUCCIÓ

### 1.1 ANTECEDENTS

Per encàrrec de **EiP Estudis i projectes**, i seguint les indicacions i instruccions rebudes per part del Sr. **Òscar Inglada Piñol**, Enginyer de Camins, Canals i Ports, s'ha realitzat l'adequació i actualització de l'estudi hidràulic de la zona de referència.

### 1.2 OBJECTE D'ESTUDI

Les inundacions són fenòmens naturals associats al funcionament normal dels sistemes fluvials i costaners. Com a conseqüència de les modificacions exercides per l'home en el medi natural i/o per l'ocupació de zones potencialment inundables, es poden produir situacions en què, en cas d'avingudes, poden afectar béns i persones.



Figura 1: Situació del viaducte de la zona d'estudi

En el present estudi es determinarà:

- Afeccions que causaria una crecuda del cabal del barranc d'Ulldellops per als períodes de retorn, T10, T100 i T500 anys en les condicions actuals.
- Afeccions que causaria una crecuda del cabal del barranc d'Ulldellops per als períodes de retorn, T10, T100 i T500 amb la implantació del viaducte.
- Erosió a la zona de la pila central del viaducte.

### 1.3 CONTEXT GEOGRÀFIC

L'àrea objecte d'aquest estudi se situa al municipi de l'Ampolla, i dins de la nova zona d'urbanització "Balcó del Delta", a la marge esquerre de l'anomenat barranc d'Ulldellops. Les coordenades UTM del centre de la parcel·la són:

Coordenades UTM	
x	y
305304	4519126

Taula 1: Coordenades centrals de l'àrea d'estudi

El municipi de l'Ampolla està situat al sector est de la comarca del Baix Ebre. La zona d'estudi, projecte constructiu anomenat "Balcó del Delta", se situa al sud-oest d'aquesta població. En aquesta comarca del sud de la província de Tarragona s'hi diferencien dues zones de relleu: una zona pràcticament plana, al sector est i sud-est i modelada per materials quaternaris i una altra zona més abrupte, a la part nord i nord-oest, que comprèn la Serra de Cardó i el massís de Tortosa-Beseit, constituïdes per materials cretacs i juràsics.

La comarca té unes cotes topogràfiques moderades que oscil·len entre els 0 m (a la costa) i els 1404 m (al Mont-Caro, al massís de Tortosa-Beseit).

Les condicions geogràfiques i morfològiques permeten considerar la comarca del Baix Ebre un clima mediterrani (estius secs i calorosos i hiverns temperats), les precipitacions mitjanes anuals oscil·len entre els 500 - 550 mm a la zona de la costa, i els 800-850 mm a les zones més elevades de les Serres de Cardó i Tortosa-Beseit. Les precipitacions més elevades s'enregistren a la tardor.



Figura 2: Situació de la zona d'estudi

#### 1.4 CONTEXT GEOLOGIC

Geològicament la regió se situa dins de la plana deltaica del riu Ebre, el delta de l'Ebre es desenvolupa sobre del substrat Mesozoic, format per riques calcàries i dolomies que tectònicament, a la zona, es caracteritza, per un plegament suau i orientat, en direcció NE-SO. La majoria de les falles existents són de distensió i individualitzen diversos blocs, tant emergits com deprimits, els quals estan recoberts parcialment per dipòsits neògens i quaternaris. La neotectònica a la que està sotmesa la zona ha condicionat la depressió sobre la qual s'ha desenvolupat el delta de l'Ebre.

La xarxa de drenatge del barranc d'Ulldellops discorre sobre materials quaternaris, constituïts per conglomerats d'origen fluvial. Concretament, a la zona d'estudi, hi predomina una important acumulació sedimentària d'aquests materials quaternaris, relacionada amb les aportacions de les avingudes d'aquest barranc i la dinàmica litoral existent.

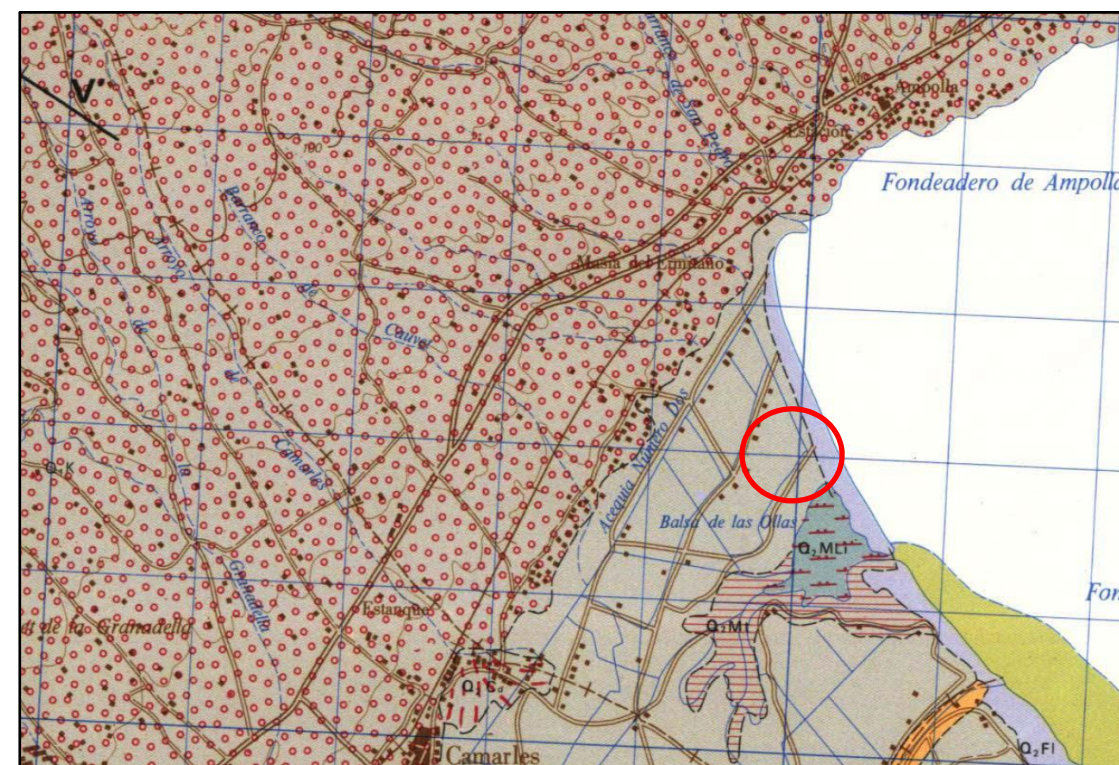


Figura 3: Mapa geològic 1:50.000. Font IGME

#### 1.5 CONTEXT HIDROLOGIC SUPERFICIAL

El sector estudiat forma part de la conca del barranc d'Ulldellops i es troba a la part baixa del seu curs, es tracta d'un barranc d'alimentació esporàdica que desguassa directament al mar aigües avall del sector estudiat.

Aquesta zona no està inclosa dins de les zones potencialment inundables segons la base de dades de l'INUNCAT.

## 2 HIDROLOGIA

### 2.1 INTRODUCCIÓ

L'estudi hidrològic té com a objecte fonamental la determinació del comportament de l'aigua dels rius, al seu pas per la zona objecte d'estudi, en el cas que ens ocupa, el barranc d'Ulldellops i més concretament a la zona d'ubicació del viaducte.

Seguint els criteris de la "GUIA TÈCNICA – Recomanacions Tècniques per als estudis d'inundabilitat d'àmbit local", publicada per l'Agència Catalana de l'Aigua al Març de 2003, els càlculs hidrològics es realitzen mitjançant el mètode racional o bé el programa de modelització hidrològica HEC-HMS, programa de simulació de precipitació-escorrentiu, el software HEC-HMS (Hydrological Engineering Center) és de difusió gratuïta.

El mètode racional calcula el cabal màxim d'escorrentiu superficial d'una pluja d'intensitat  $I$  que cau sobre una conca de superfície  $S$ , que comença de manera instantània i que és constant durant un temps mínim igual al temps de concentració de la conca  $T_c$ .

Tant en el cas de càlcul mitjançant el mètode racional com utilitzant el software de càlcul HEC-HMS es necessiten unes dades base de càlcul, aquestes són:

- Definició geomètrica de la conca objecte de l'estudi, veure punt 2.2.
- Càlcul del llindar d'escorrentiu segons el mètode SCS, recomanat per l'ACA, veure el punt 2.3.
- Model meteorològic, on es determina la duració i la intensitat de la pluja de projecte, veure el punt 2.4

Un cop obtingudes les bases de càlcul es determina el cabal màxim per a la conca d'estudi i pels diferents períodes de retorn considerats amb les dues metodologies recomanades. En el cas d'estudi de projecte el cabal màxim es calcularà amb el mètode racional.

## 2.2 DEFINICIÓ DE LA CONCA

### 2.2.1 Introducció

A partir dels mapes topogràfics de la zona, s'han obtingut una sèrie de característiques de la conca, necessàries per a portar a terme els posteriors càlculs així com la modelització.

S'ha delimitat la conca utilitzant topografia 1:1.000, cartografia 1:5.000 i ortofotomapes, per determinar els canvis de vessant així com les línies d'aigua preferent. Aquesta informació s'ha obtingut de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya i de l'empresa EiA.

Per a la conca s'han obtingut les següents característiques:

- Superfície
- Longitud
- Pendent del curs principal
- Cota superior i inferior

### 2.2.2 Característiques morfològiques de la conca

Les dades de la conca queden recollides en la taula següent:

PARÀMETRE	
Superfície	330 Ha
Longitud del curs fluvial	4.107 m
Alçada Màxima	147,5 m
Alçada Mínima	1,4 m

Taula 2: Paràmetres geomètrics de la conca

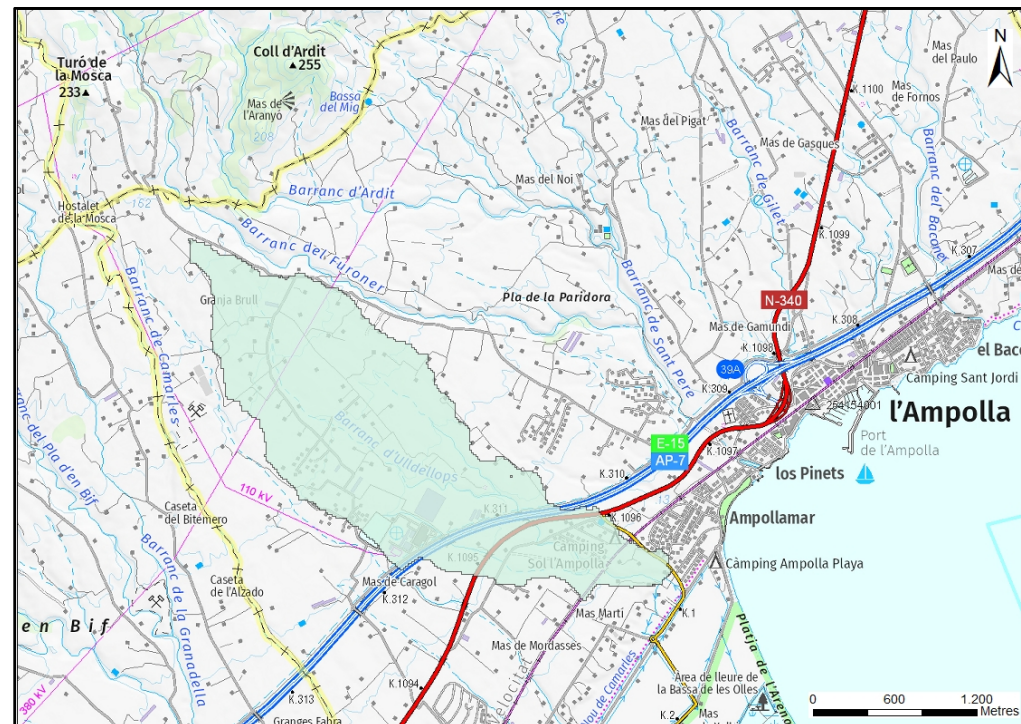


Figura 4: Representació gràfica de la conca sobre una cartografia 50.000 del ICGC



Figura 5: Representació gràfica de la conca sobre l'ortofotografia de l'ICGC escala 1:25.000

### 2.3 MÈTODE DEL SCS CN

El "Soil Conservation Service" (SCS 1972) va tabular el número de corba segons:

- L'ús del sòl
- El Pendent
- Característiques hidrològiques
- Grup del sòl

Aquests números de corba s'apliquen per a condicions anteriors d'humitat de tipus II, les quals corresponen a condicions normals.

La relació entre el llindar d'escorrentiu ( $P'_0$ ) i el número de corba (NC) utilitzada habitualment a la península és la proposada per Tèmez:

$$P'_0 = \frac{5.000}{NC} - 50$$

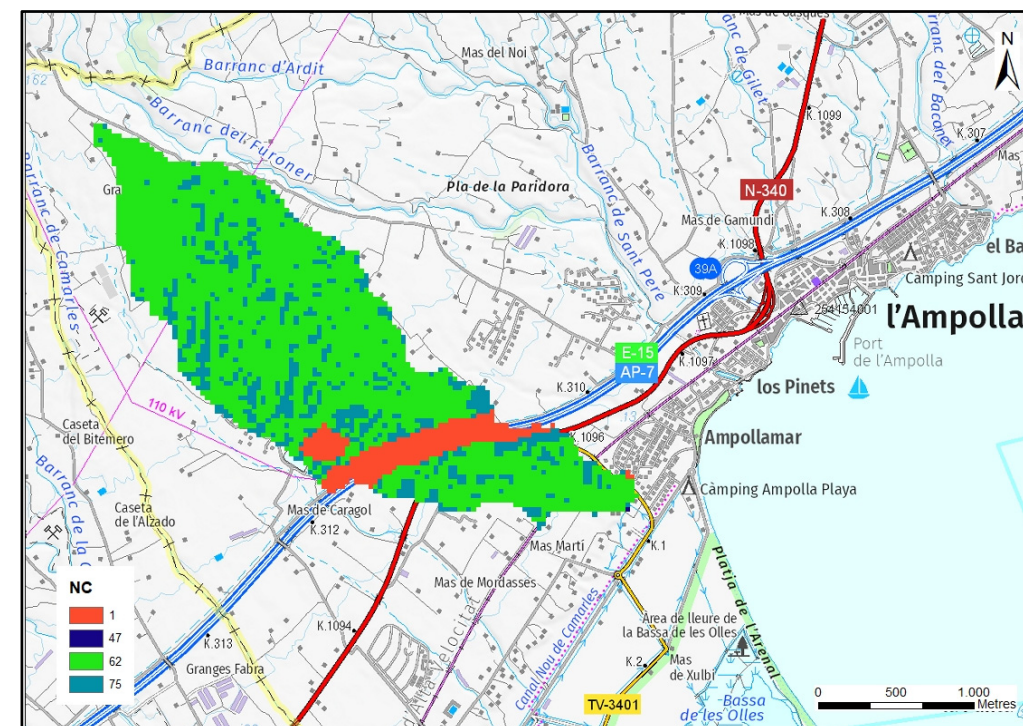


Figura 6: Representació gràfica dels valors de  $P_0$  per la conca d'estudi

El valor promig de p'o per a la conca d'estudi amb un número de corba **NC promig de 59,32** és de:

$$P'_0 = \frac{5.000}{NC} - 50 = 34,28mm$$

## 2.4 MODEL METEOROLÒGIC

En aquest apartat es defineix la duració i la intensitat de la pluja.

El tractament de les dades de precipitació per a obtenir el hietograma s'ha realitzat prèviament mitjançant el mètode dels blocs alternats.

El mètode permet d'obtenir a partir d'una corba intensitat-duració-freqüència un hietograma de disseny. Aquest hietograma especifica la profunditat de precipitació que ocorre en n intervals de temps successius de duració  $\Delta t$  amb una duració total de  $T_d = n \cdot \Delta t$ . La intensitat es llegeix en una corba IDF per a cadascuna de les duracions  $\Delta t$ ,  $2\Delta t$ ,  $3\Delta t$ , ..., i la profunditat de precipitació corresponent es troba multiplicant la intensitat i la duració. Prenen diferències entre valors successius de profunditat de precipitació, es troba la quantitat de precipitació que s'ha d'afegir per a cada unitat addicional de temps  $\Delta t$ . Aquests increments o blocs es reordenen en una seqüència temporal de manera que la intensitat màxima ocorri en el centre, a 1/3 o 2/3 de la duració requerida  $T_d$  i els altres blocs és situen en ordre descendent alternativament cap a la dreta i cap a l'esquerra del bloc central per a formar el hietograma de disseny.

La corba IDF per a un període de retorn de TR anys, es pot obtenir a partir de la següent equació:

$$I_t = \frac{P'_d}{24} \cdot (11)^{\frac{28^{0,1} - t^{0,1}}{28^{0,1} - 1}}$$

On:

**It** intensitat en mm/h

**Pd'**: pluja màxima modificada en 24 hores per a un període de retorn TR

**t**: temps de duració de la pluja (h)

La pluja màxima modificada (**Pd'**) es defineix de la següent manera:

$$P'_d = P_d \cdot K_A$$

Essent:

**Pd**: pluja màxima en 24 hores per a un període de retorn TR

**KA**: coeficient de simultaneïtat

El coeficient de simultaneïtat es relaciona amb l'àrea de la conca de la següent manera:

$$K_A = 1 \quad \text{si } A \leq 1 \text{ km}^2$$

$$K_A = 1 - \frac{\log A}{15} \quad \text{si } A > 1 \text{ km}^2$$

$$K_A = 1 - \frac{\log A}{15} = 0,962$$

S'ha utilitzat el mapa d'isomàximes facilitat per l'ACA per als període de retorn de 10, 100 i 500 anys.

La següent taula (Taula 3: Precipitacions màximes per als diferents períodes de retorn) resumeix els valors de precipitació màxima per a períodes de retorn de 10, 100 i 500 anys per a la conca:

Període de retorn (anys)	Pd (mm)
10	132,94
100	223,72
500	297

Taula 3: Precipitacions màximes per als diferents períodes de retorn

## 2.5 CÀLCUL DE CABALS AMB EL METODE RACIONAL

### 2.5.1 Introducció

El mètode utilitzat per a calcular el cabal d'avinguda és el proposat per J.R. Témez, en el treball "Cálculo Hidrometeorológico de Caudales Máximos en Pequeñas Cuencas Naturales 1978" realitzat per la "Dirección General de Carreteras" del M.O.P.U., amb les modificacions proposades pel mateix autor de l'article "Generación y mejora del método racional" publicat en la revista Ingeniería Civil núm. 82, el qual es recull en la publicació de la Junta d'Aigües de la Generalitat de Catalunya "Recomanacions sobre mètodes d'estimació d'avingudes màximes".

El mètode hidrometeorològic es basa en l'aplicació de la fórmula racional amb la qual s'obté el cabal màxim possible que pot produir-se amb una pluja d'intensitat determinada en una conca d'àrea i coeficient de vessament coneguts. Amb la utilització de la fórmula racional se suposa que hi ha gran regularitat espacial i temporal de les pluges, hipòtesi acceptable per temps de concentració petits i per a les avingudes a conques petites.

La fórmula per calcular el cabal punta és:

$$Q_p = K \cdot \frac{C \cdot I \cdot S}{3,6}$$

On

- Q<sub>p</sub>** Cabal punta (m<sup>3</sup>/s)
- C** Coeficient d'escorrentiu (adimensional)

- I** Intensitat de precipitació (mm/h) corresponent a una durada efectiva de la pluja D igual al temps de concentració T<sub>c</sub> de la conca.
- S** Superfície de la conca (km<sup>2</sup>)
- K** Coeficient d'uniformitat (adimensional)

### 2.5.2 Coeficient d'uniformitat (K)

El coeficient d'uniformitat reflexa la falta d'uniformitat de la pluja en conques relativament extenses.

Depèn de diversos factors, com la torrencialitat de les precipitacions i les característiques morfològiques de la conca.

El coeficient d'uniformitat, K, es calcula amb la fórmula:

$$K = 1 + \frac{T_c^{1,25}}{T_c^{1,25} + 14}$$

On

- K** Coeficient d'uniformitat (adimensional)
- T<sub>c</sub>** Temps de concentració (hores)

### 2.5.3 Coeficient d'escorrentiu (C)

El coeficient d'escorrentiu defineix la proporció de la component superficial de la precipitació de intensitat I, i depèn de la raó entre la precipitació total diària (Pd) corresponent a un període de retorn determinat i el llinard d'escorrentiu (Po) a partir del que s'inicia l'escorrentiu superficial.

Es pot dir que és una relació entre la precipitació i l'aigua que discorre per la superfície.



El coeficient d'escorrentiu C es calcula amb la fórmula:

$$C = \frac{(P'_d - P'_o) \cdot (P'_d + 23P'_o)}{(P'_d + 11P'_o)^2}$$

On

**C** Coeficient d'escorrentiu (adimensional)

**Pd'** Volum de precipitació diària (mm)

**Po'** Llindar d'escorrentiu (mm)

T (anys)	P'd (mm)	P'o (mm)	C
500	286	29.57	0.66
100	215	29.57	0.57
10	128	29.57	0.39

Taula 4: Coeficients d'escorrentiu (C)

El volum de precipitació diària s'ha determinat en l'apartat 2.4 i el llindar d'escorrentiu s'obté mitjançant el mètode del SCS Numero de Corba, en l'apartat 2.3.

#### 2.5.4 Temps de concentració (Tc)

El Temps de concentració Tc es defineix com el temps que transcorre entre la finalització de la precipitació i la sortida de la darrera gota d'escorrentiu superficial.

El temps de concentració és funció, per una banda, de les característiques geomorfològiques de la conca (forma en planta, pendent mitja, cobertes, densitat...) que faciliten més o menys l'evacuació de l'escorrentiu i per altra banda la intensitat de la pluja, ja que la velocitat del flux varia amb el cabal d'escorrentiu generat.

El processos d'urbanització generalment disminueixen la rugositat de la superfície d'escorrentiu, impermeabilitzen la superfície i per tant es genera més escorrentiu i aquest és evacuat en menor temps. Tot això significa que el temps de concentració en zones urbanes o urbanitzades és menor que en conques amb terreny natural.

En el cas de projecte es tracta d'una **conca rural**, i per tant:

$$T_c = 0,3 * \left(\frac{L}{j^{0,25}}\right)^{0,76} = 1,12$$

On

**j** Pendent mig de la conca

**L** Longitud de la llera

#### 2.5.5 Pluja de disseny. Intensitat de la precipitació (I)

El valor de la intensitat mitjana màxima ve determinada per la duració de la pluja, que equival al temps de concentració i al període de retorn seleccionat. Per a la determinació es fan servir les corbes IDF, anomenant corbes IDF les que resulten d'unir punts representatius de la intensitat mitjana en intervals de diferent durada i corresponents tots ells a una mateixa freqüència o període de retorn.

La seva obtenció només és possible a partir de l'anàlisi de tempestes enregistrades amb pluviògrafs i a la Península se solen utilitzar les corbes proposades per Témez, que va deduir la relació següent:

$$I = I_d \cdot \left(\frac{I_1}{I_d}\right)^{\frac{(28^{0,1} - T_c^{0,1})}{(28^{0,1} - 1)}}$$

T (anys)	P'd (mm)	I (mm/h)
500	<b>286</b>	96
100	215	72
10	128	43

Taula 5: Intensitat de precipitació (I)

On

- I** Intensitat màxima mitjana (mm/h)
- I<sub>1</sub>** Intensitat horària per al període de retorn considerat, que és la intensitat de precipitació per a una durada efectiva de la pluja d'una hora (mm/h)
- I<sub>d</sub>** Intensitat mitjana diària per la període de retorn considerat, que és la intensitat de precipitació per a una durada efectiva de pluja d'un dia (mm/h) = (P'<sub>d</sub>/24).
- T<sub>c</sub>** Temps de concentració (h)

El quocient (I<sub>1</sub>/I<sub>d</sub>) és característic de la zona d'estudi i a Catalunya es pot considerar un valor mitjà d'11, d'acord amb MOPU (1990).

Es defineix **Intensitat Mitjana Horària (I<sub>d</sub>)** com:

$$I_d = P'_d / 24$$

El volum de **precipitació diària (P'<sub>d</sub>)** es calcula mitjançant l'expressió:

$$P'_d = K_A \cdot P_d$$

T (anys)	P <sub>d</sub> (mm)	P' <sub>d</sub> (mm)
500	297	286
100	223.72	215
10	132.94	128

Taula 6: Valors de precipitació diària

On:

- K<sub>A</sub>** Coeficient de simultaneïtat, és adimensional i minora la precipitació diària
- P<sub>d</sub>** Volum de precipitació diària per al període de retorn considerat obtingut del mapa d'isomàximes de precipitació corresponent (mm)
- P'<sub>d</sub>** Volum de precipitació diària (mm)

Els valors de la precipitació són els obtinguts en l'apartat 2.4

El **coeficient de simultaneïtat (K<sub>A</sub>)** es calcula mitjançant l'expressió:

$$K_{A=1} \quad \text{Si } S \leq 1 \text{ km}^2$$

$$K_A = 1 - \frac{\log S}{15} \quad \text{Si } S > 1 \text{ km}^2$$

On

- K<sub>A</sub>** Coeficient de simultaneïtat, és adimensional i minora la precipitació diària
- S** Superfície de la conca (km<sup>2</sup>)

### 2.5.6 Cabals obtinguts

En el cas de la hidrologia de la conca amb els paràmetres definits anteriorment, els cabals obtinguts per a períodes de retorn de 10, 100 i 500 anys són els següents:

CARACTERÍSTIQUES HIDROLÒGIQUES DE LA CONCA			
CONCA:	Conca del torrent d'Ulldellops	Tipus Conca:	1
àrea =	330,00 Ha	pend mig llera J =	0,0289 m/m
cota superior =	120 m	temps conc t <sub>c</sub> =	1,719 h
cota inferior =	1,4 m	(si 1% < grau urb < 10%)	
long llera =	4,100 km		
l, I, I, d =	11		
			coeficient de majoració
			CEDEX : $K1 + \frac{t_c^{1.25}}{t_c^{1.25} + 14}$
			K = 1,12

Taula 7: Característiques hidrològiques de la conca del Barranc d'Ulldellops

### CABALS DE LA CONCA Q (m<sup>3</sup>/s) EN FUNCIÓ DEL PERÍODE DE RETORN T

T (anys)	P <sub>d</sub> (mm)	P' <sub>d</sub> (mm)	P' <sub>o</sub> (mm)	C	I (mm/h)	A (Ha)	K	Q (m <sup>3</sup> /s)
500	297	287	34,28	0,62	94	330,0	1,12	59,5
100	223,72	216	34,28	0,52	71	330,0	1,12	37,7
10	132,94	128	34,28	0,34	42	330,0	1,12	14,6

Taula 8: Cabals obtinguts amb mètode racional per a diferents períodes de retorn per a la conca

### 3 MODELITZACIÓ HIDRÀULICA

#### 3.1 METODOLOGIA DE CÀLCUL

Tal i com aconsella l'ACA en la "GUIA TÈCNICA. Recomanacions tècniques per als estudis d'inundabilitat d'àmbit local" s'ha utilitzat el programa **HEC-RAS**, (programa de càlcul per l'anàlisi de flux en rius desenvolupat per l'Hidrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers). per a fluxos permanents i gradualment variats.

L'objectiu de les simulacions hidràuliques és determinar la Zona Fluvial (ZF), el Sistema Hídric (SH) i la Zona d'inundació.

La determinació de l'alçada de la làmina d'aigua a la llera associada a cada cabal s'ha realitzat a partir del model matemàtic HEC-RAS (versió 5.0.4). Water Surface Profiles, River Analysis System.

Les principals hipòtesis assumides al model HEC són les següents:

- Flux estacionari; per tant no hi ha variació del calat o la velocitat amb el temps.
- Flux gradualment variat. Això condueix a una distribució hidrostàtica de pressions
- Flux unidimensional: la única component de la velocitat és en la direcció del flux.
- Les pendents han de ser petites, menors de 1/10; i per tant  $\cos\theta \approx 1$  i el calat vertical és representatiu de l'alçada de pressió.
- Els contorns són rígids i no s'admet que hi hagi erosió o sedimentació a la llera

#### 3.2 BASE TEORICA DE CALCUL

##### Flux gradualment variat

El procediment de càlcul en règim uniforme i gradualment variat està basat en la resolució de l'equació d'energia específica amb pèrdues per a fluxos unidimensionals permanents, conegut com Standard Step Methode. L'avaluació de les pèrdues es realitza mitjançant l'equació de Manning.

La fórmula utilitzada per al càlcul de les pèrdues de fricció (fórmula de Manning) és la següent:

$$I = \frac{h^2 v^2}{R_H^{4/3}}$$

On:

**I:** pendent de la línia d'energia, en tant per u

**n:** coeficient de rugositat de Manning

**v:** velocitat, en m/s

**R<sub>H</sub>:** Radi hidràulic, en m

La pèrdua de càrrega o pèrdua d'energia ( $h_e$ ) entre dos seccions transversals compren els termes de pèrdua per fricció i pèrdua per contracció o expansió. La següent equació defineix la pèrdua de càrrega:

$$h_e = L \cdot S_f + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} \right|$$

On:

**L:** distància entre seccions

**S<sub>f</sub>:** pendent de fricció

**C:** coeficient d'expansió o de contracció

El pendent de fricció es calcula mitjançant la fórmula de Manning:

$$S_f = \left( \frac{Q \cdot n}{A \cdot R^{2/3}} \right)^2$$

On:

**Q:** cabal

**A:** àrea mullada

**R:** radi hidràulic

**n:** coeficient de rugositat de Manning.

A banda, ens cal introduir unes condicions de contorn i hem optat per modelitzar a partir d'un cas mixt, que vol dir que ens trobem davant de l'alternança de zones en règim supercrític (ràpid) amb altres amb règim subcrític (lent).

S'han modelat una sèrie de seccions representatives distribuïdes al llarg de cadascun dels trams del curs fluvial al seu pas pel sector objecte d'estudi mitjançant el model hidràulic HEC-RAS 4.1.0, el qual analitza la làmina d'aigua resultant per al cabal associat a un període de retorn determinat i calcula la resposta hidràulica del curs fluvial enfront aquest cabal.

Un cop obtingut el valor del cabal d'avinguda per a un període de retorn de 5, 10, 50, 100 i 500 anys, i juntament amb les seccions modelitzades, es determinarà el calat teòric de la làmina d'aigua en situació actual.

Una vegada definida la situació actual, es realitzarà la modelització i es valorarà les seves implicacions i conseqüències.

### 3.3 MODELITZACIO DE LA PLANA D'INUNDACIO

Les dades que precisa el model HEC-RAS per calcular els nivells d'aigua a la llera són els següents:

- Tipus de règim
- Cabal de càlcul
- Definició geomètrica de la llera, plana d'inundació
- Estructures existents
- Condicció de contorn

#### 3.3.1 Tipus de règim

A la llera del barranc d'Ulldelops s'ha suposat un règim lent. El règim ràpid només es dona a lleres artificials i en comptades ocasions, segons alguns autors, i mai, segon altres que afirmen que en lleres naturals el que es produeix és una successió continua de calats crítics, ressalts,

etc. que donen lloc a turbulències que impedeixen la formació d'un règim ràpid establint-se, per contra, un règim crític inestable.

Això ve comentat en el text "Computer-Assisted Floodplain Hydrology and Hydraulics" de Danigel H.Hoggan, a un article de Jarret (1984 i 1987), al text "Guide to Bridge Hydraulics" de C.R. Neil, etc i està comprovat experimentalment al laboratori i en diversos rius i lleres artificials.

Així, el model matemàtic HEC-RAS del barranc d'Ulldelops, s'ha calculat en règim lent de forma que tots els calats que s'obtenen en aquest, queden acotats inferiorment pel crític corresponent calculat a cada secció. Així mateix, queda assumit aquest calat crític quan es requereix un calat inferior per representar les turbulències i pèrdues d'energia que es produïrien realment al riu.

#### 3.3.2 Cabal de càlcul

Els cabals de càlcul són els següents, obtinguts en l'apartat 2.5.6:

	Q (m <sup>3</sup> /s)
T=10 anys	14,6
T=100 anys	37,7
T=500 anys	59,5

Taula 9: Cabals de càlcul per a la modelització

#### 3.3.3 Seccions de càlcul

Per simular el funcionament del barranc d'Ulldelops en el tram objecte d'aquest estudi, la modelització a l'HEC-RAS inclou el traçat del barranc que va des de aigües amunt fins a aigües avall del viaducte que travessa el barranc.

L'estacionament de les seccions per al model HEC-RAS s'ha realitzat partint des d'aigües avall fins aigües amunt donant **perfils cada 20 m aproximadament**. En alguns trams s'han fet interpolacions cada 10 m per poder ajustar millor el model (Figura 8).

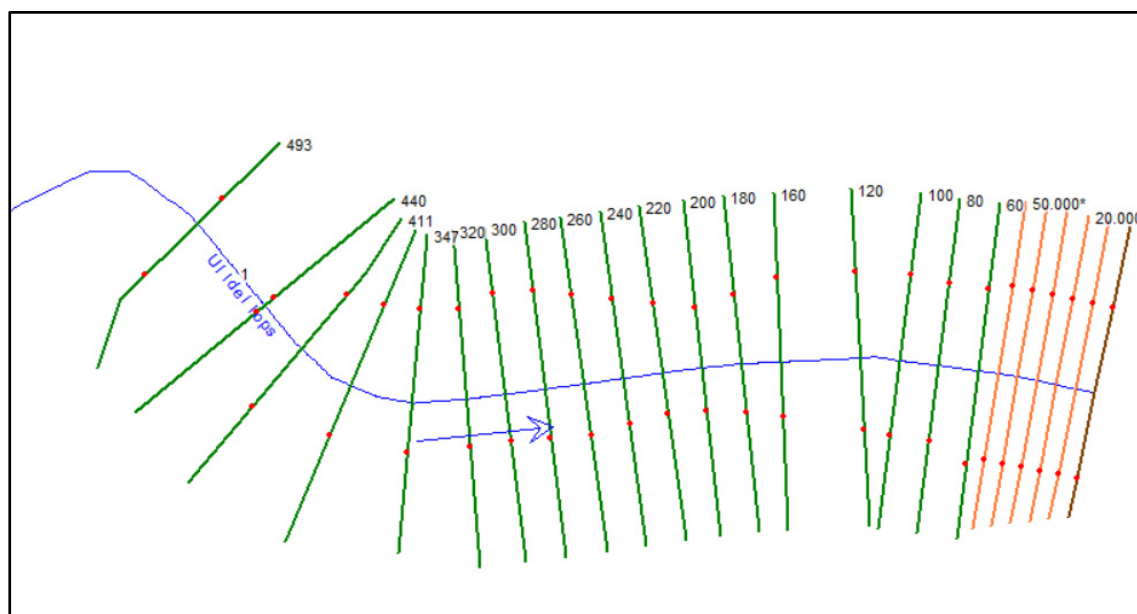


Figura 7: Planta del barranc d'Ulldellops introduïda a HEC-RAS sense el viaducte

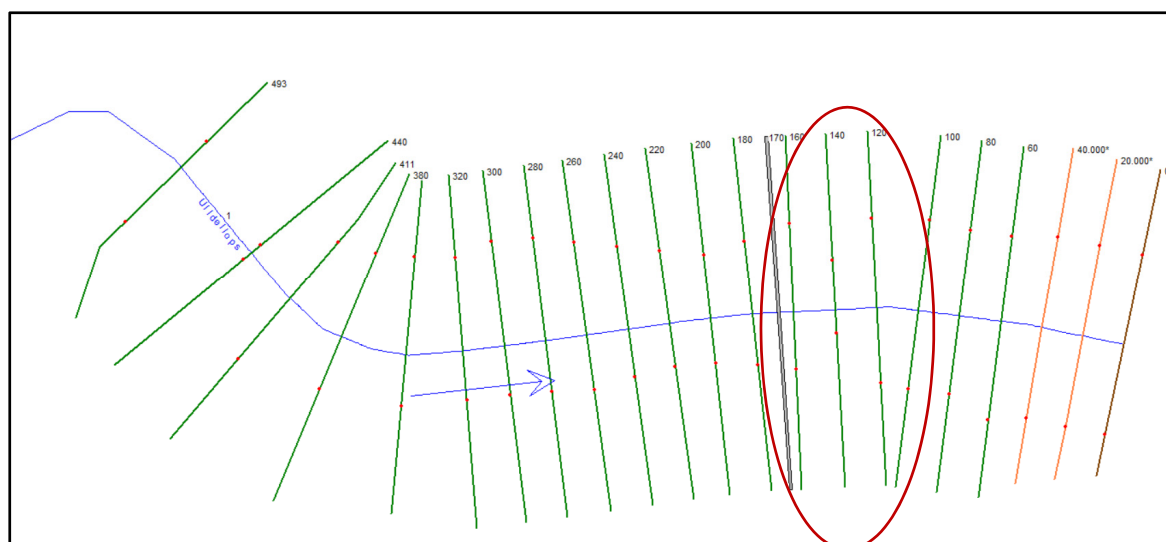


Figura 8: Planta del barranc d'Ulldellops introduïda a HEC-RAS amb el viaducte

### 3.3.4 Paràmetre hidràulics

El paràmetre hidràulic bàsic és el coeficient de rugositat de Manning (n), el coeficient s'obté de la següent taula, el valor és pren de  $n = 0,030$ , ja que la llera presenta seccions transversals i alineacions irregulars amb vegetació abundant als marges inclinats i graves de fins a 150 mm de diàmetre

<b>a) Canales sin vegetación</b>	
Sección transversal uniforme, alineación regular sin guijarros ni vegetación, en suelos sedimentarios finos	0,016
Sección transversal uniforme, alineación regular, sin guijarros ni vegetación, con suelos de arcilla duros u horizontes endurecidos	0,018
Sección transversal uniforme, alineación regular, con pocos guijarros, escasa vegetación, en tierra franca arcillosa	0,020
Pequeñas variaciones en la sección transversal, alineación bastante regular, pocas piedras, hierba fina en las orillas, en suelos arenosos y arcillosos, y también en canales recién limpiados y rastrillados	0,0225
Alineación irregular, con ondulaciones en el fondo, en suelo de grava o esquistos arcillosos, con orillas irregulares o vegetación	0,025
<b>Sección transversal y alineación irregulares, rocas dispersas y grava suelta en el fondo, o con considerable vegetación en los márgenes inclinados, o en un material de grava de hasta 150 mm de diámetro</b>	<b>0,030</b>
Canales irregulares erosionados, o canales abiertos en la roca	0,030
<b>(b) Canales con vegetación</b>	
Gramíneas cortas (50-150 mm)	0,030-0,060
Gramíneas medias (150-250 mm)	0,030-0,085
Gramíneas largas (250-600 mm)	0,040-0,150
<b>(c) Canales de corriente natural</b>	
Limpios y rectos	0,025-0,030
Sinuosos, con embalses y bajos	0,033-0,040
Con muchas hierbas altas, sinuosos	0,075-0,150

Taula 10: valors de la rugositat en funció del tipus de llera

### 3.3.5 Estructura projectada

S'ha projectat un viaducte sobre el barranc d'Ulldellops, la geometria del qual consta d'una pila central i estreps laterals tal i com es pot veure en la següent figura:

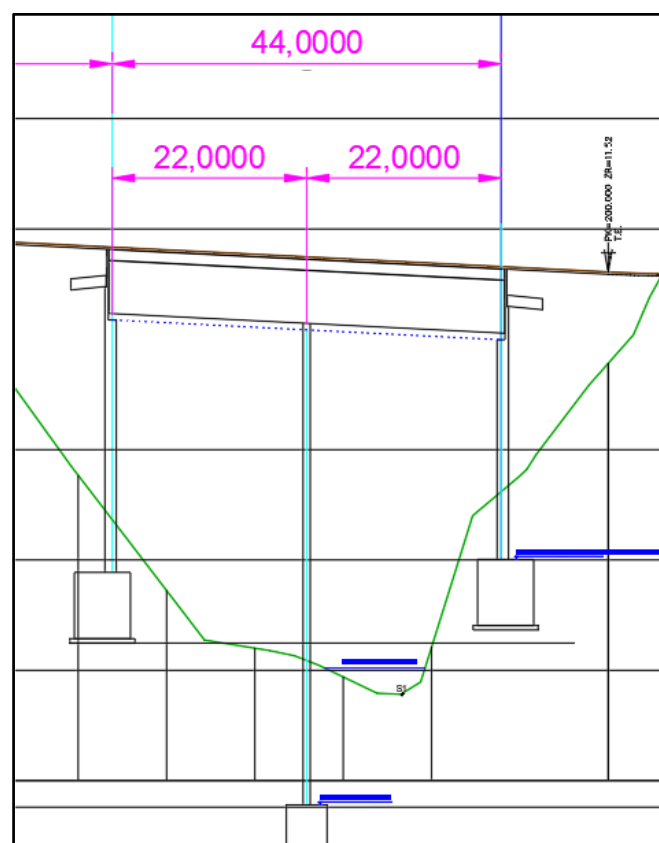


Figura 9: Viaducte de àmbit de l'estudi

Aquestes dades són les que tindran més rellevància per la definició del model.

### 3.3.6 Condicions de contorn

El programa funciona per càlculs successius de la superfície de l'aigua a cada secció considerada i pren les condicions de contorn en la secció immediatament aigües avall. Per conèixer l'alçada d'aigua en cada secció de la zona del viaducte i per a cadascuna de les avingudes tractades en aquest estudi (T500, T100 i T10) la condició de contorn que s'utilitza és la de calat crític tant aigües amunt com aigües avall del barranc d'Ulldelops.

## 3.4 RESULTATS DE LA SIMULACIÓ

Es presenten els resultats de càlcul per a les dues situacions simulades, una d'elles en situació actual i una segona amb la implantació del viaducte.

### 3.4.1 Situació actual (sense viaducte)

S'han considerat com a seccions representatives les seccions dibuixades en la figura 10:

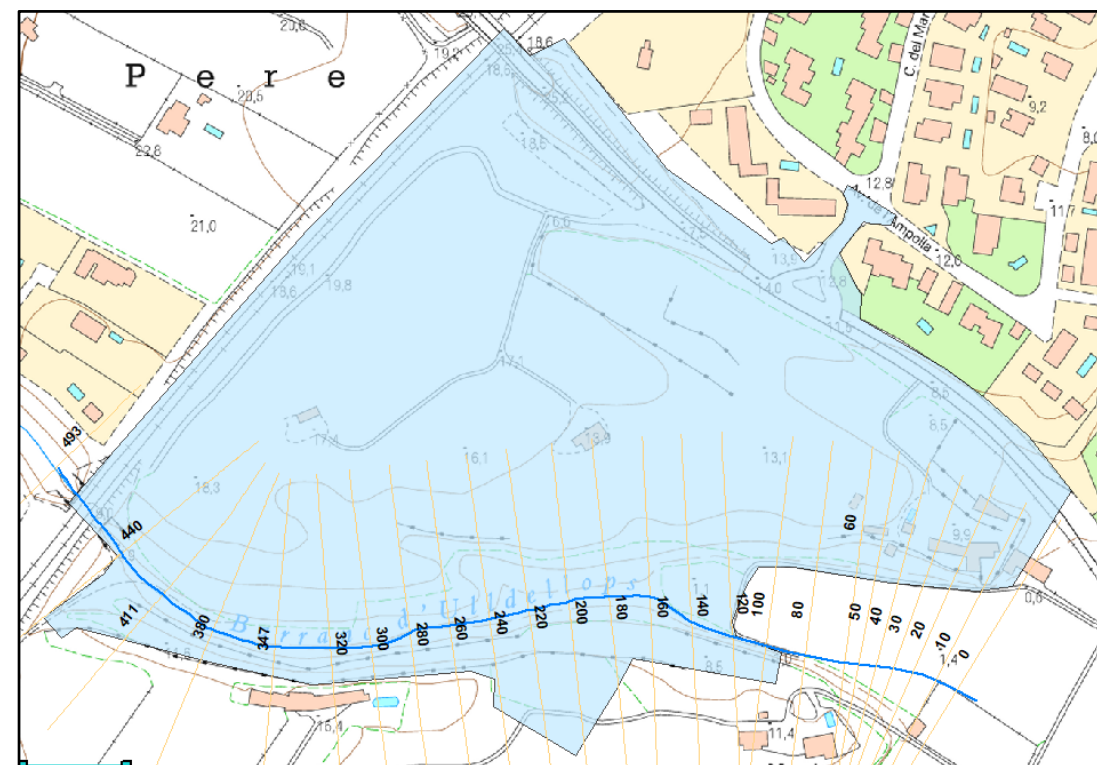


Figura 10: Seccions representatives

A mode de resum s'han obtingut, per a totes les seccions modelitzades, els següents resultats per a T500, T100 i T10:

T500							
XS	Q (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S Elev (m)	E.G Elev (m)	E.G Slope (m/m)	Vel Chn (m/s)	Froude
493	59.5	5.64	8.02	8.72	0.0091	3.73	1.01
440	59.5	5.00	7.27	7.69	0.0039	2.89	0.67
411	59.5	4.50	7.58	7.66	0.0005	1.21	0.26
380	59.5	4.23	7.32	7.45	0.0013	1.62	0.39
347	59.5	3.90	7.39	7.43	0.0003	0.96	0.20
320	59.5	3.64	7.37	7.42	0.0003	0.98	0.20
300	59.5	3.26	7.35	7.40	0.0003	1.02	0.21
280	59.5	3.04	7.33	7.39	0.0003	1.04	0.21
260	59.5	2.67	4.87	5.54	0.0092	3.61	1.01
240	59.5	2.44	4.95	5.02	0.0009	1.18	0.32
220	59.5	2.31	4.95	5.01	0.0004	1.01	0.24
200	59.5	2.22	4.87	4.94	0.0006	1.17	0.27
180*	59.5	2.12	3.81	4.14	0.0061	2.54	0.81
160*	59.5	2.02	3.22	3.66	0.0097	2.93	1.01
120	59.5	1.81	2.72	2.91	0.0052	1.94	0.72
100	59.5	1.70	2.76	2.85	0.0019	1.35	0.45
80	59.5	1.60	2.75	2.82	0.0013	1.19	0.38
60	59.5	1.50	2.74	2.79	0.0010	1.04	0.33
50	59.5	1.48	2.73	2.78	0.0009	1.02	0.32
40	59.5	1.46	2.72	2.78	0.0009	1.00	0.31
30	59.5	1.45	2.72	2.77	0.0008	0.97	0.30
20	59.5	1.43	2.72	2.76	0.0008	0.92	0.29
10	59.5	1.41	2.07	2.27	0.0088	1.98	0.89
0	59.5	1.39	1.91	2.12	0.0120	2.05	1.01

Taula 11: valors obtinguts de la modelització amb HEC-RAS per T500

T100							
XS	Q (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S Elev (m)	E.G Elev (m)	E.G Slope (m/m)	Vel Chn (m/s)	Froude
493	37.7	5.64	7.56	8.14	0.0097	3.39	1.01
440	37.7	5.00	6.60	7.01	0.0063	2.84	0.80
411	37.7	4.50	6.90	6.96	0.0006	1.09	0.26
380	37.7	4.23	6.41	6.58	0.0024	1.85	0.51
347	37.7	3.90	6.51	6.55	0.0004	0.94	0.23
320	37.7	3.64	6.50	6.54	0.0004	0.93	0.22
300	37.7	3.26	6.48	6.52	0.0004	0.96	0.22
280	37.7	3.04	6.47	6.52	0.0003	0.96	0.21
260	37.7	2.67	4.45	5.00	0.0094	3.27	1.00
240	37.7	2.44	4.32	4.41	0.0019	1.34	0.45
220	37.7	2.31	4.35	4.39	0.0005	0.94	0.26
200	37.7	2.22	4.27	4.33	0.0007	1.07	0.29
180*	37.7	2.12	3.55	3.78	0.0057	2.14	0.76
160*	37.7	2.02	2.99	3.32	0.0107	2.54	1.01
120	37.7	1.81	2.31	2.66	0.0224	2.61	1.35
100	37.7	1.70	2.46	2.54	0.0025	1.26	0.50
80	37.7	1.60	2.43	2.50	0.0018	1.09	0.42
60	37.7	1.50	2.41	2.46	0.0014	0.97	0.37
50	37.7	1.48	2.40	2.45	0.0013	0.95	0.36
40	37.7	1.46	2.39	2.43	0.0012	0.93	0.35
30	37.7	1.45	2.38	2.42	0.0011	0.90	0.33
20	37.7	1.43	2.37	2.41	0.0010	0.86	0.31
10	37.7	1.41	1.95	2.09	0.0084	1.65	0.84
0	37.7	1.39	1.80	1.96	0.0131	1.75	1.00

Taula 12: valors obtinguts de la modelització amb HEC-RAS per T100

T10							
XS	Q (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S Elev (m)	E.G Elev (m)	E.G Slope (m/m)	Vel Chn (m/s)	Froude
493	14.6	5.64	6.85	7.24	0.01087	2.77	1.01
440	14.6	5.00	6.41	6.49	0.00144	1.28	0.38
411	14.6	4.50	6.47	6.48	0.00017	0.55	0.14
380	14.6	4.23	5.21	5.53	0.01176	2.53	1.01
347	14.6	3.90	5.15	5.21	0.00124	1.04	0.36
320	14.6	3.64	5.13	5.18	0.00085	0.97	0.30
300	14.6	3.26	5.13	5.17	0.00059	0.87	0.26
280	14.6	3.04	5.12	5.16	0.00045	0.82	0.23
260	14.6	2.67	3.79	4.15	0.01086	2.66	1.01
240	14.6	2.44	3.85	3.89	0.00101	0.88	0.32
220	14.6	2.31	3.86	3.88	0.00029	0.55	0.18
200	14.6	2.22	3.85	3.87	0.00032	0.59	0.19
180*	14.6	2.12	2.97	3.20	0.01257	2.14	1.02
160*	14.6	2.02	2.61	2.85	0.01901	2.20	1.21
120	14.6	1.81	2.08	2.40	0.06502	2.50	2.00
100	14.6	1.70	2.13	2.18	0.00375	0.97	0.54
80	14.6	1.60	2.08	2.12	0.00265	0.85	0.46
60	14.6	1.50	2.03	2.06	0.00267	0.82	0.46
50	14.6	1.48	2.00	2.04	0.00257	0.82	0.45
40	14.6	1.46	1.98	2.01	0.00243	0.81	0.44
30	14.6	1.45	1.96	1.99	0.00223	0.78	0.42
20	14.6	1.43	1.94	1.97	0.00196	0.75	0.40
10	14.6	1.41	1.93	1.95	0.00154	0.68	0.35
0	14.6	1.39	1.65	1.73	0.01583	1.28	1.00

Taula 13: valors obtinguts de la modelització amb HEC-RAS per T10

\*Seccions aigües amunt i aigües avall on en un futur anirà ubicat el viaducte

A l'apèndix 1 s'adjunten les seccions obtingudes de la simulació amb l'HEC-RAS.

A l'apèndix 3 es representa la plana d'inundació per a tots els períodes de retorn estudiats en la situació actual.

### 3.4.2 Situació amb el viaducte

S'han considerat com a seccions representatives les seccions dibuixades en la figura inferior.

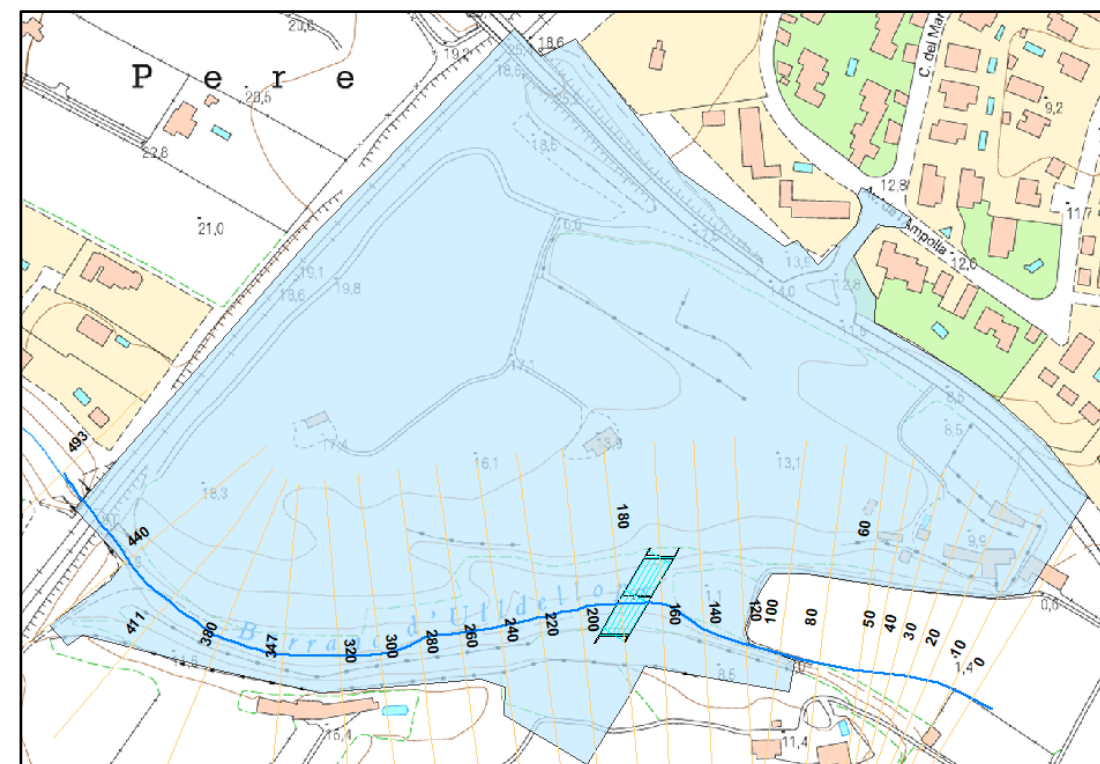


Figura 11: Seccions representatives

A mode de resum s'han obtingut, per a totes les seccions modelitzades, els següents resultats per a T500, T100 i T10:



T500							
XS	Q (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S Elev (m)	E.G Elev (m)	E.G Slope (m/m)	Vel Chn (m/s)	Froude
493	59.5	5.24	7.73	8.47	0.0093	3.81	1.01
440	59.5	4.80	7.37	7.69	0.0026	2.52	0.55
411	59.5	4.50	7.58	7.66	0.0005	1.21	0.26
380	59.5	4.23	7.32	7.45	0.0013	1.62	0.39
347	59.5	3.90	7.39	7.43	0.0003	0.96	0.20
320	59.5	3.64	7.37	7.42	0.0003	0.98	0.20
300	59.5	3.26	7.35	7.40	0.0003	1.02	0.21
280	59.5	3.04	7.33	7.39	0.0003	1.04	0.21
260	59.5	2.67	4.87	5.54	0.0092	3.61	1.01
240	59.5	2.44	4.63	4.75	0.0021	1.53	0.48
220	59.5	2.31	4.65	4.73	0.0007	1.20	0.30
200	59.5	2.22	4.52	4.63	0.0010	1.43	0.36
180*	59.5	2.12	4.02	4.24	0.0034	2.09	0.62
Bridge							
160*	59.5	2.02	3.20	3.66	0.0106	3.01	1.05
120	59.5	1.81	2.43	2.93	0.0229	3.12	1.42
100	59.5	1.70	2.69	2.80	0.0024	1.45	0.50
80	59.5	1.60	2.67	2.76	0.0017	1.28	0.43
60	59.5	1.50	2.66	2.73	0.0013	1.13	0.37
50	59.5	1.48	2.66	2.71	0.0011	1.06	0.34
40	59.5	1.46	2.65	2.70	0.0009	0.99	0.32
30	59.5	1.45	2.65	2.69	0.0008	0.93	0.29
20	59.5	1.43	2.65	2.69	0.0007	0.87	0.28
10	59.5	1.41	2.65	2.68	0.0005	0.80	0.25
0	59.5	1.39	1.91	2.12	0.0120	2.05	1.01

Taula 14: valors obtinguts de la modelització amb HEC-RAS per T500

T100							
XS	Q (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S Elev (m)	E.G Elev (m)	E.G Slope (m/m)	Vel Chn (m/s)	Froude
493	37.7	5.24	7.24	7.86	0.0099	3.48	1.01
440	37.7	4.80	6.73	7.00	0.0033	2.27	0.58
411	37.7	4.50	6.90	6.96	0.0006	1.09	0.26
380	37.7	4.23	6.41	6.58	0.0024	1.85	0.51
347	37.7	3.90	6.51	6.55	0.0004	0.94	0.23
320	37.7	3.64	6.50	6.54	0.0004	0.93	0.22
300	37.7	3.26	6.48	6.52	0.0004	0.96	0.22
280	37.7	3.04	6.47	6.52	0.0003	0.96	0.21
260	37.7	2.67	4.45	5.00	0.0094	3.27	1.00
240	37.7	2.44	4.12	4.26	0.0030	1.68	0.56
220	37.7	2.31	4.17	4.23	0.0008	1.07	0.31
200	37.7	2.22	4.07	4.15	0.0011	1.25	0.36
180*	37.7	2.12	3.70	3.87	0.0034	1.79	0.60
Bridge							
160*	37.7	2.02	2.99	3.32	0.010658	2.54	1.01
120	37.7	1.81	2.31	2.66	0.022424	2.61	1.35
100	37.7	1.70	2.43	2.52	0.003021	1.32	0.54
80	37.7	1.60	2.39	2.46	0.002159	1.16	0.46
60	37.7	1.50	2.37	2.42	0.001747	1.04	0.41
50	37.7	1.48	2.36	2.40	0.001435	0.97	0.38
40	37.7	1.46	2.35	2.39	0.001163	0.90	0.34
30	37.7	1.45	2.34	2.38	0.000943	0.84	0.31
20	37.7	1.43	2.34	2.37	0.000773	0.78	0.28
10	37.7	1.41	2.34	2.36	0.000645	0.71	0.26
0	37.7	1.39	1.80	1.96	0.013072	1.75	1.00

Taula 15: valors obtinguts de la modelització amb HEC-RAS per T100

T10							
XS	Q (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S Elev (m)	E.G Elev (m)	E.G Slope (m/m)	Vel Chn (m/s)	Froude
493	14.6	5.24	6.47	6.89	0.0111	2.89	1.01
440	14.6	4.80	6.43	6.49	0.0009	1.08	0.30
411	14.6	4.50	6.47	6.48	0.0002	0.55	0.14
380	14.6	4.23	5.21	5.53	0.0118	2.53	1.01
347	14.6	3.90	5.15	5.21	0.0012	1.04	0.36
320	14.6	3.64	5.13	5.18	0.0008	0.97	0.30
300	14.6	3.26	5.13	5.17	0.0006	0.87	0.26
280	14.6	3.04	5.12	5.16	0.0004	0.82	0.23
260	14.6	2.67	3.79	4.15	0.0109	2.66	1.01
240	14.6	2.44	3.22	3.65	0.0258	2.90	1.43
220	14.6	2.31	3.52	3.55	0.0010	0.83	0.31
200	14.6	2.22	3.44	3.49	0.0014	0.95	0.37
180*	14.6	2.12	3.21	3.30	0.0033	1.35	0.55
Bridge							
160*	14.6	2.02	2.65	2.84	0.0128	1.94	1.01
120	14.6	1.81	2.20	2.30	0.0107	1.44	0.88
100	14.6	1.70	2.14	2.18	0.0036	0.96	0.53
80	14.6	1.60	2.09	2.12	0.0025	0.84	0.45
60	14.6	1.50	2.01	2.05	0.0030	0.86	0.48
50	14.6	1.48	1.99	2.03	0.0024	0.79	0.43
40	14.6	1.46	1.98	2.00	0.0018	0.72	0.38
30	14.6	1.45	1.97	1.99	0.0014	0.65	0.34
20	14.6	1.43	1.96	1.98	0.0011	0.59	0.30
10	14.6	1.41	1.95	1.97	0.0008	0.53	0.26
0	14.6	1.39	1.65	1.73	0.0158	1.28	1.00

Taula 16: valors obtinguts de la modelització amb HEC-RAS per T10

\*Seccions aigües amunt i aigües avall on en un futur anirà ubicat el viaducte

A l'apèndix 2 s'adjunten les seccions obtingudes de la simulació amb l'HEC-RAS.

A l'apèndix 4 es representa la plana d'inundació per a tots el períodes de retorn estudiats per a la situació futura (viaducte)

Als apèndix 5 i 6 s'adjunten les seccions longitudinals obtingudes amb l'HEC-RAS per ambdues situacions estudiades.

#### 4 EROSIÓ

En general, s'anomena erosió o degradació a la remoció de les partícules del llit del riu que efectua l'aigua amb el resultat de la profundització del llit del riu en forma local o general. A l'augmentar el cabal del riu també augmenta la velocitat mitja del corrent, la força tractiva i la capacitat de transport generant erosió.

En tot pont hi ha 3 tipus de erosió:

- Erosió general o degradació del llit del riu
- Erosió per contracció o obstruccions
- Erosió localitzada al voltant dels estreps o piles

En general el càlcul de la profunditat d'erosió produïda en estreps i pilars del ponts té lloc degut a que hi intervenen molts conceptes, tals com: hidrodinàmica, hidràulica fluvial, transport de sediments i hidràulica experimental. En general la profunditat d'erosió depèn de les característiques del corrent del riu, de l'aportament de sòlids i de la geometria de l'estructura.

##### 4.1 MÈTODE DE CÀLCUL

Hi ha molts mètodes per al càlcul de l'erosió, en funció dels paràmetres amb els quals es treballa, la geometria de l'estructura, el tipus de materials presents en el llit del riu.. Per al càlcul que ens ocupa, s'ha realitzat el càlcul amb el mètode SCU.

##### 4.1.1 Mètode del SCU

Equació desenvolupada per la Universitat de Colorado. Equació desenvolupada en base a l'anàlisi dimensional dels paràmetres que afecten l'erosió i anàlisi de dades de laboratori. Es el mètode més usat als Estats Units d'Amèrica i també l'aplica el programa HEC-RAS (1998).

Aplicació del mètode:

$$\frac{d_s}{h} = 2.0K_f K_\phi K_c K_a \left(\frac{a}{h}\right)^{0.65} Fr^{0.43}$$

On:

**K<sub>f</sub>**: factor de correcció que té en compte la forma de la pila

Forma de la pila	K <sub>f</sub>
Nariz cuadrada	1.1
Nariz redonda	1.0
Cilíndrica	1.0
Punta aguda	0.9
Grupo de cilindros	1.0

Taula 17: factor de correcció per forma de la pila

**K<sub>φ</sub>**: factor de correcció que té en compte l'angle d'atac del flux

Angulo de ataque	l/a = 4	l/a = 8	l/a = 12
0°	1.0	1.00	1.0
15°	1.5	2.00	2.5
30°	2.0	2.75	3.5
45°	2.3	3.30	4.3
90°	2.5	3.90	5.0

Taula 18: factor de correcció angle de flux

**K<sub>c</sub>**: factor de correcció per la forma del llit del riu. *Usualment 1,1.*

**K<sub>a</sub>**: factor de correcció per acorassament del sediment del riu. *Prendrem un valor de Ka de 1,0.*

**a**: amplada de la pila

**Fr**: Numero de Froude

Per tant l'erosió a la zona de la pila serà segons l'expressió empleada de:

$$\frac{d_s}{h} = 2.0K_f K_\phi K_c K_a \left(\frac{a}{h}\right)^{0.65} Fr^{0.43} = 2,25m$$

## 5 CONCLUSIONS

L'anàlisi dels resultats permet fer les següents consideracions:

- Tant per la situació actual com per la situació futura d'execució del viaducte sobre el barranc d'Ulldelops, les avingudes per als períodes de retorn estudiats T10, T100 i T500 anys no representen problemes d'inundabilitat.
- En el punt d'estudi s'assoleixen valors màxims pel que fa a la làmina d'aigua i per un període de retorn màxim de T500 anys de:

T500	
<b>Sense viaducte</b>	1,69m
<b>Amb viaducte</b>	1,90m

Taula 19: làmina d'aigua per a les diferents situacions estudiades

- Amb la construcció del viaducte es produeix en aquest punt una sobreelevació de 0,21m.
- La zona d'estudi on s'ubicarà el viaducte no pateix problemes d'inundacions per aquests períodes de retorn anteriorment mencionats, tot i això, les possibles avingudes de caràcter torrencial del barranc d'Ulldelops podrien tenir associades làmines més grans d'aigua com a conseqüència de l'aportament massiu de sediments, arbres, etc., fent que la secció disminueixi i, per tant, que per a un mateix cabal, el calat augmenti de forma puntual.
- Per tal de poder minimitzar aquest efecte, recomanem preveure un manteniment del barranc, sobretot des del punt de vista de neteja dels marges i de la llera.
- Tot i així, podem pensar que aquest efecte puntual serà mínim.

- Pel que fa a l'erosió a la zona de la pila central s'obté un valor de 2,25 m. Així doncs, en qualsevol cas i segons els factors considerats, el valor màxim teòric d'erosió que pot afectar la pila no superarà els 2,5 m en episodis d'avingudes màximes.
- En episodis d'avingudes més estables o de règim baix, poden reomplir-se els espais oberts per l'erosió i començarà un nou episodi d'erosió.
- Com a protecció de les piles en front a l'erosió, el mètode més ben documentat és el de l'enrocat, les alternatives d'enrocat varien pel que fa al tamany, forma i massa, com també la seva flexibilitat en el disseny.
- La profunditat d'erosió pot reduir-se col·locant enrocat al voltant de la pila, en una amplada vuit vegades l'amplada de la pila (Ruff i Nickelson, 1993).

**Mediterrània de Geoserveis, SL** resta a la vostra disposició per a tots aquells comentaris o aclariments que, respecte d'aquest estudi, ens vulgueu fer.

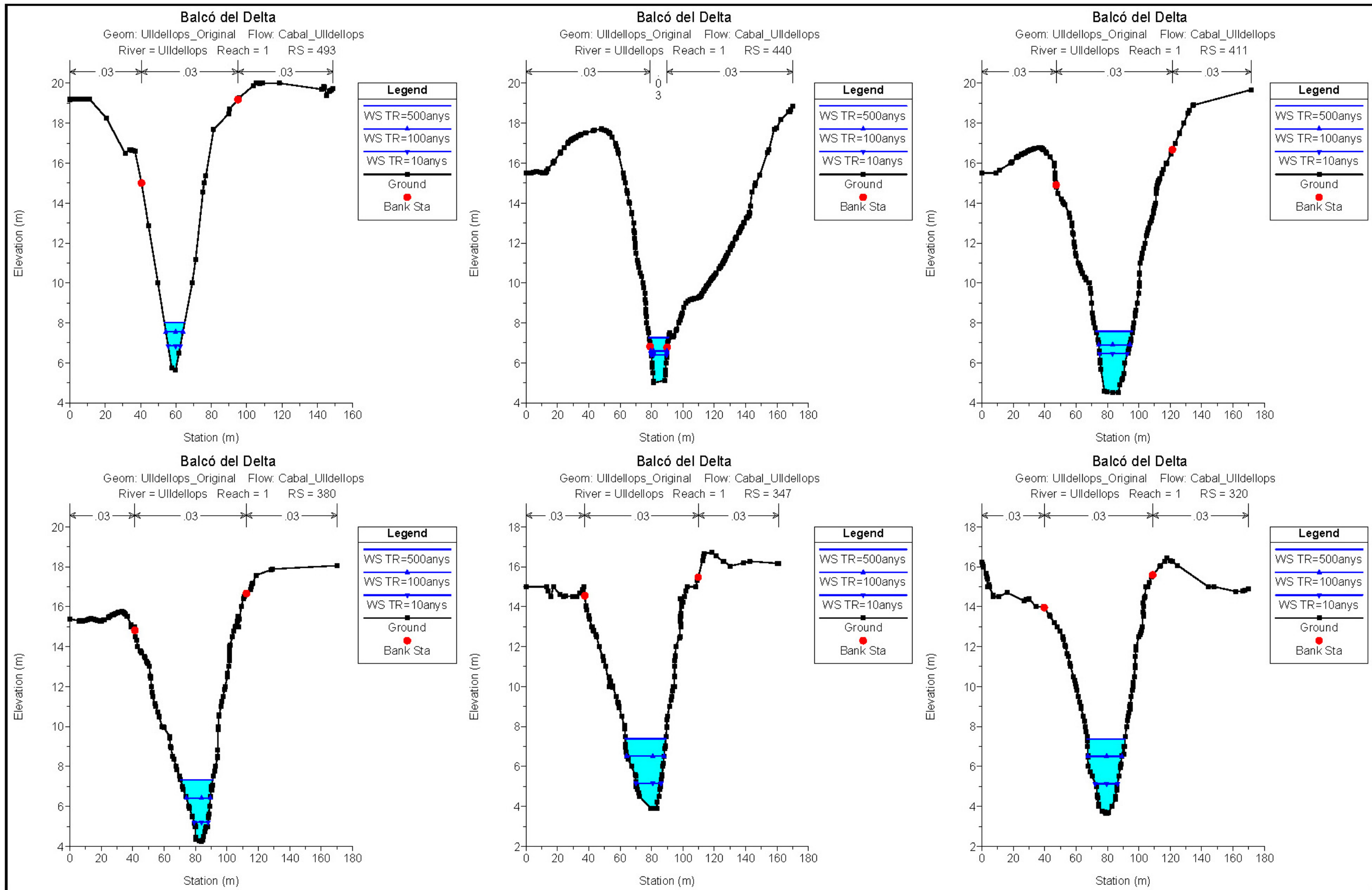
Cambrils, 16 d'Abril de 2021

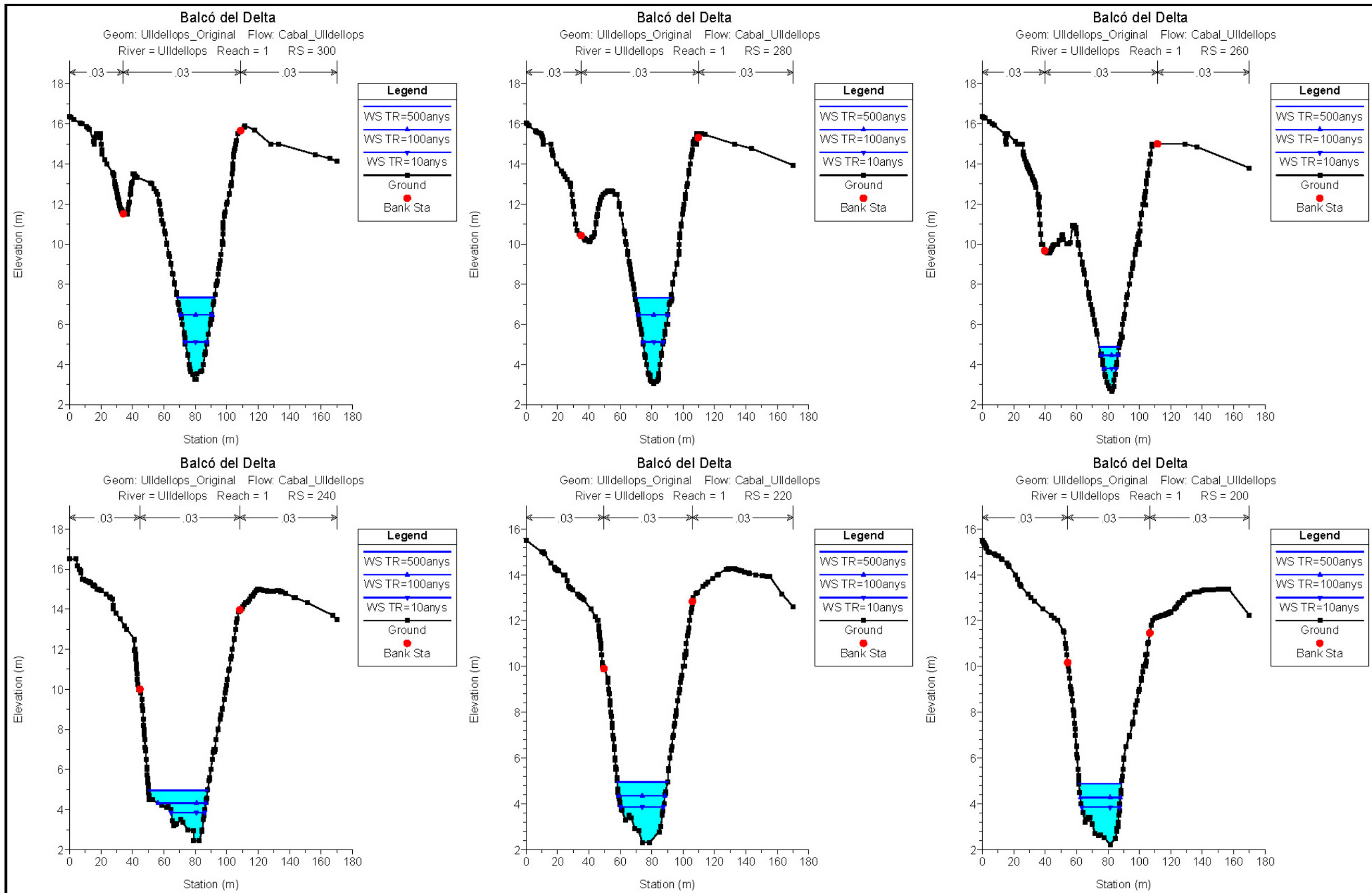


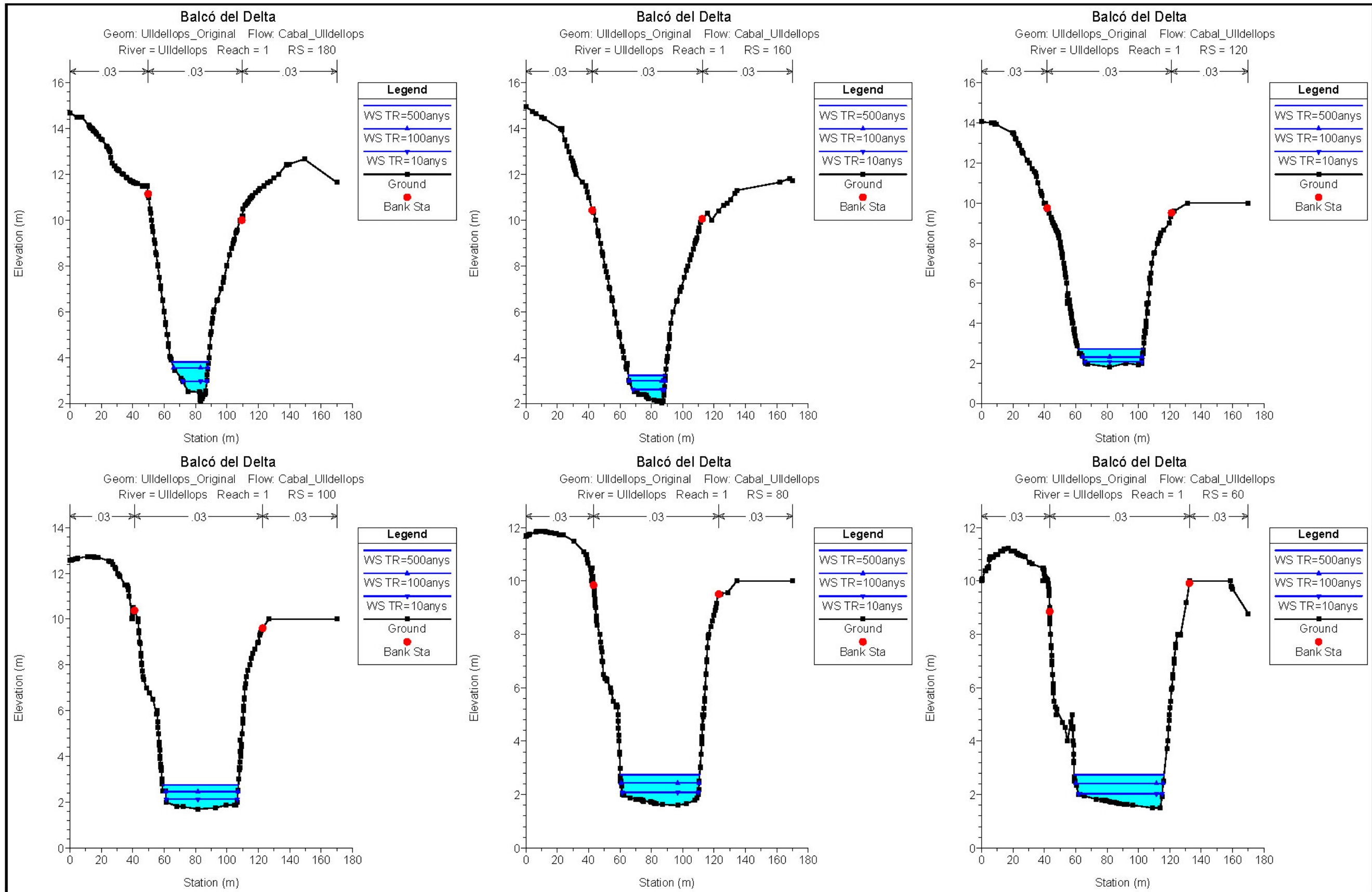
Passatge Angel Guimerà, 5  
43550 CAMBRILS  
Tel: 977 368 039 - Fax: 977 368 046

Joan Recasens i Bertran  
Geòleg col·legiat núm. 1366

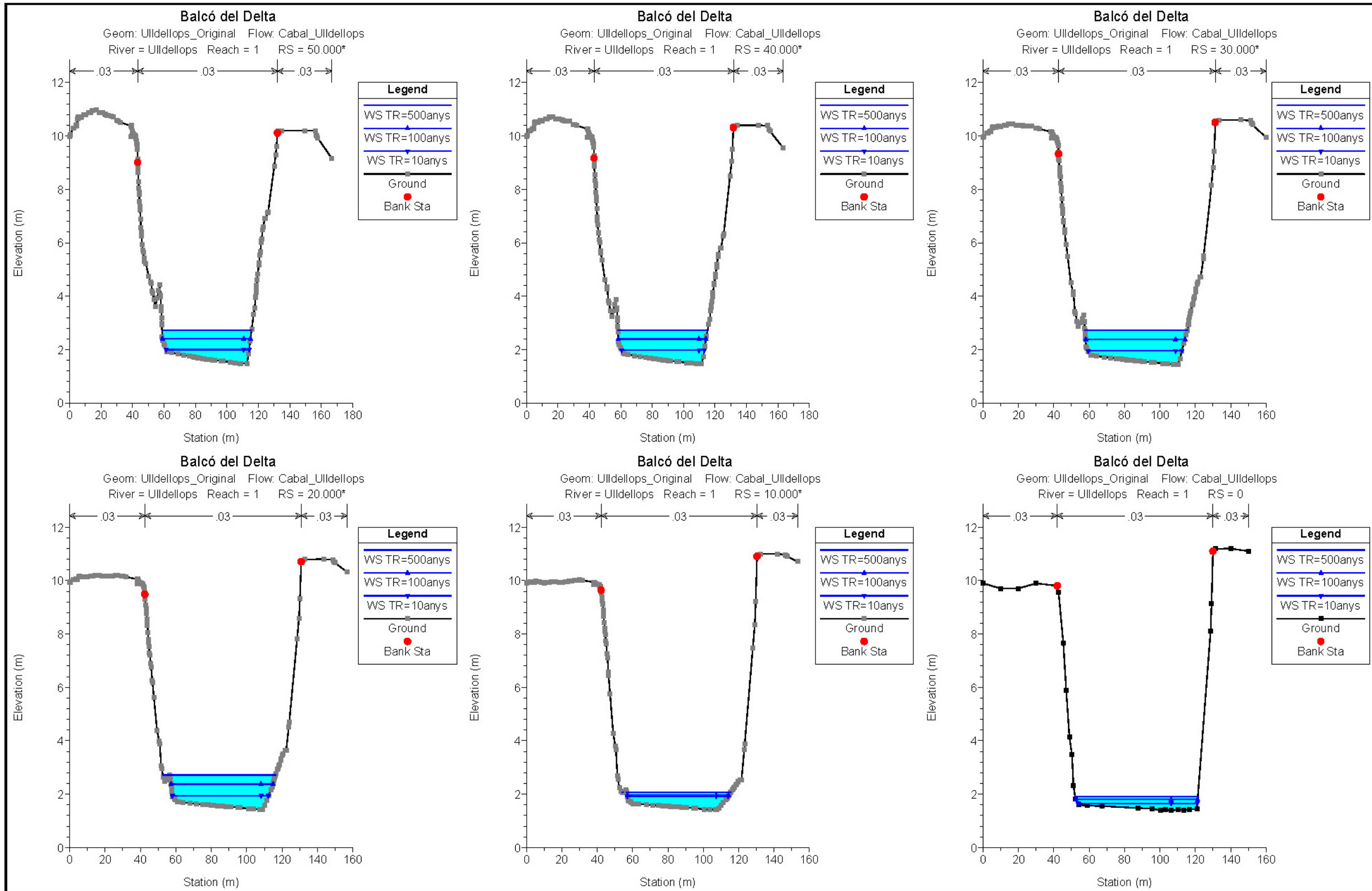
APÈNDIX 1 SECCIONS HEC-RAS (en situació actual)



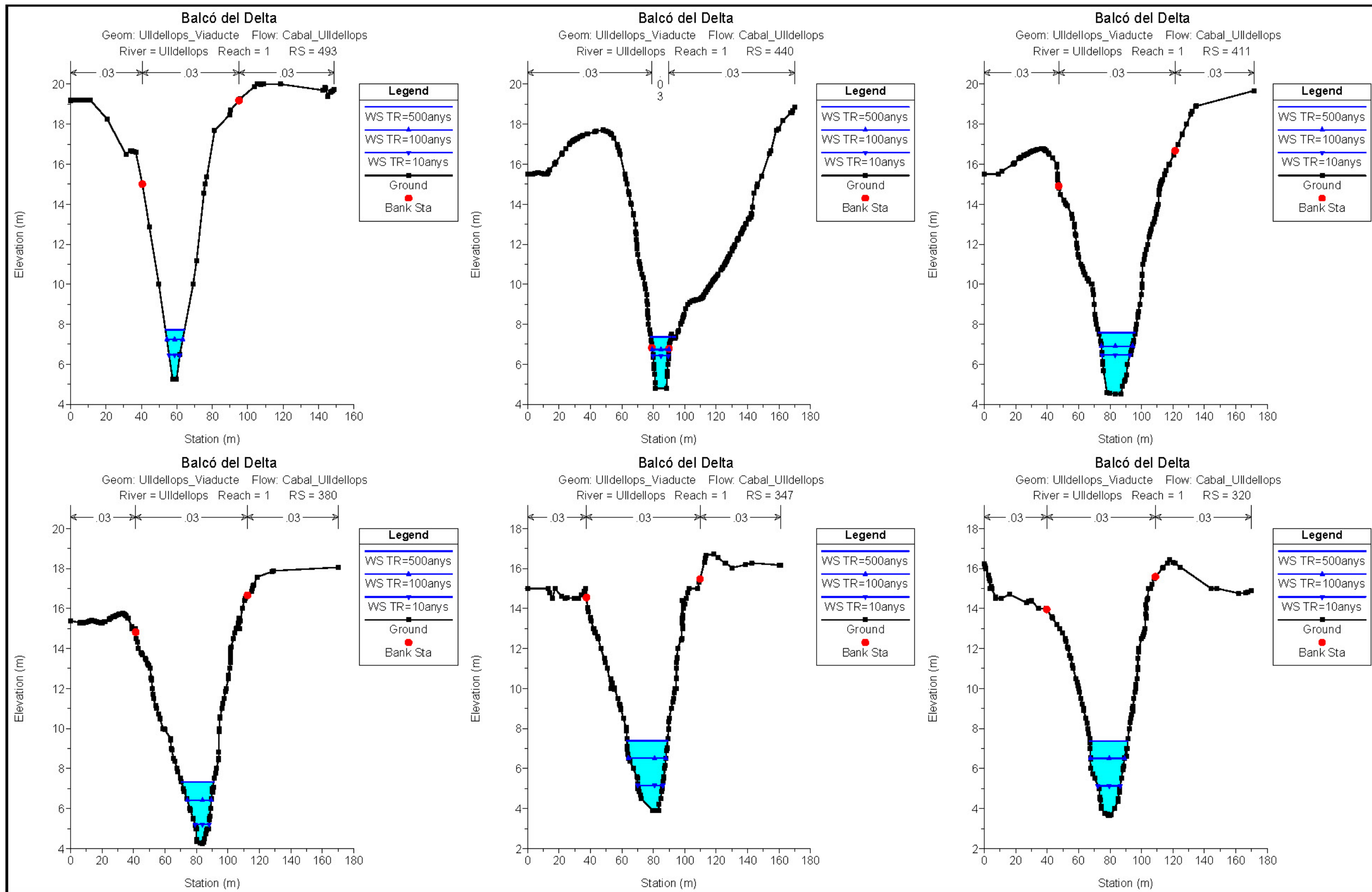


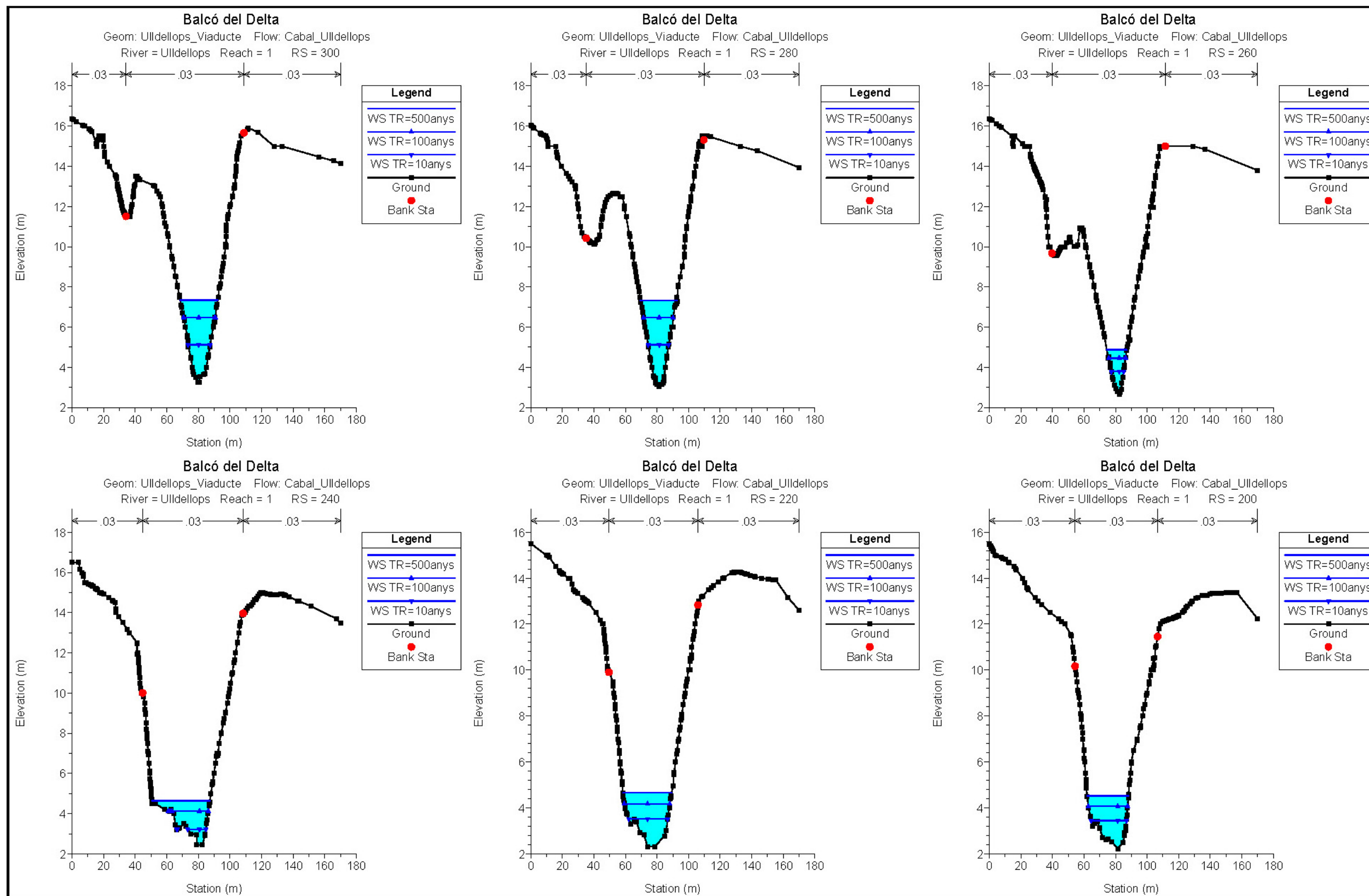


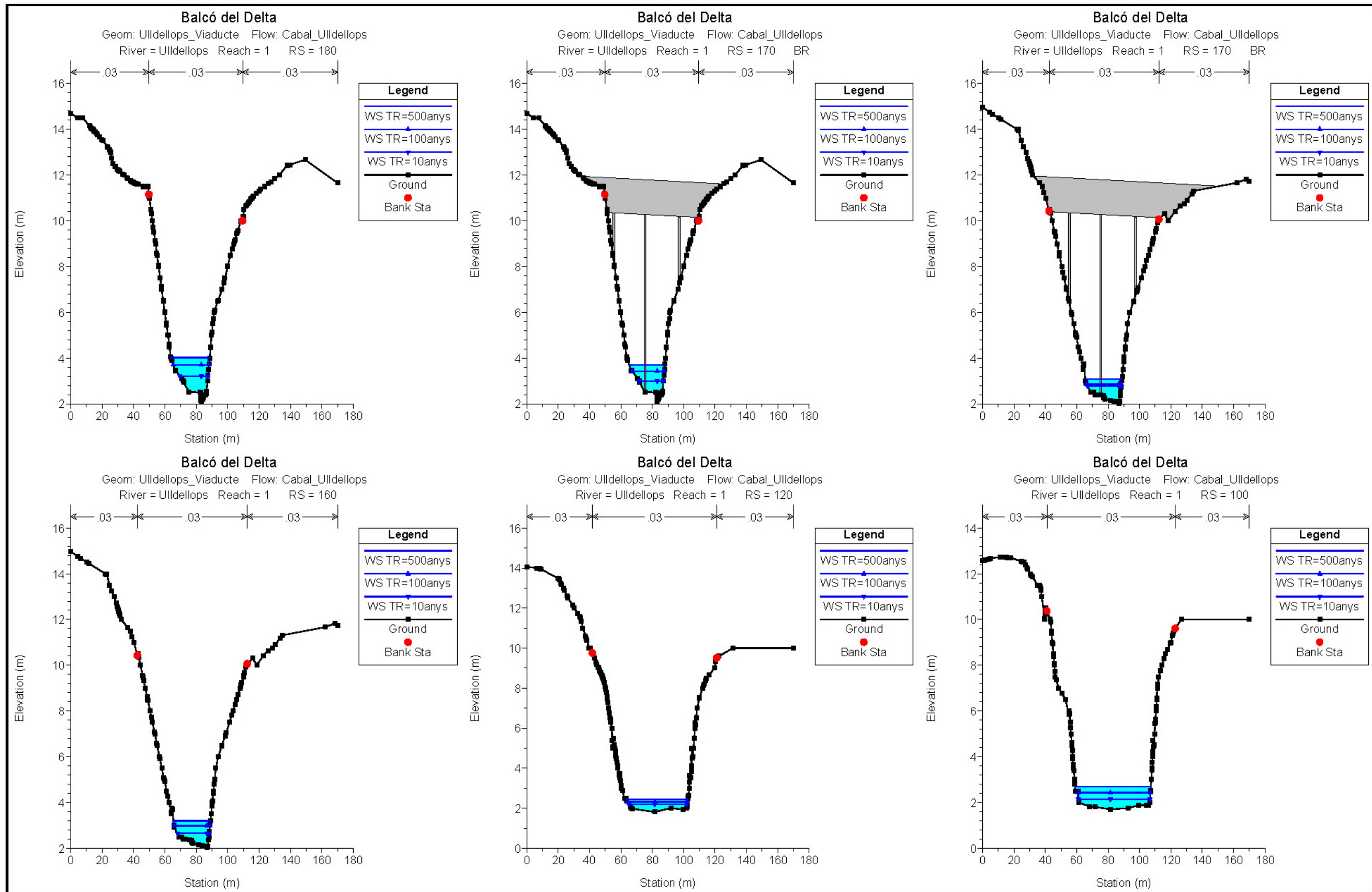


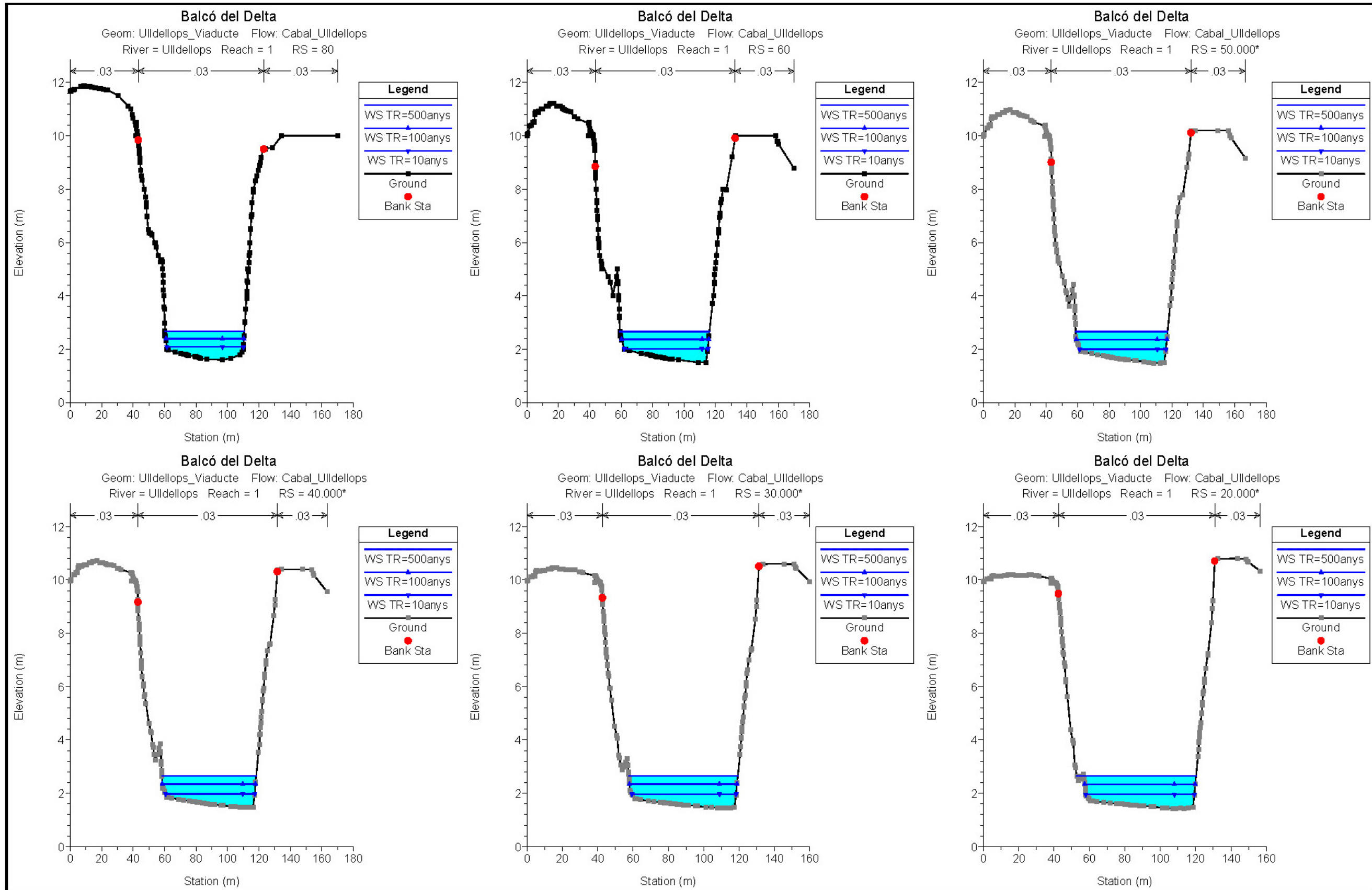


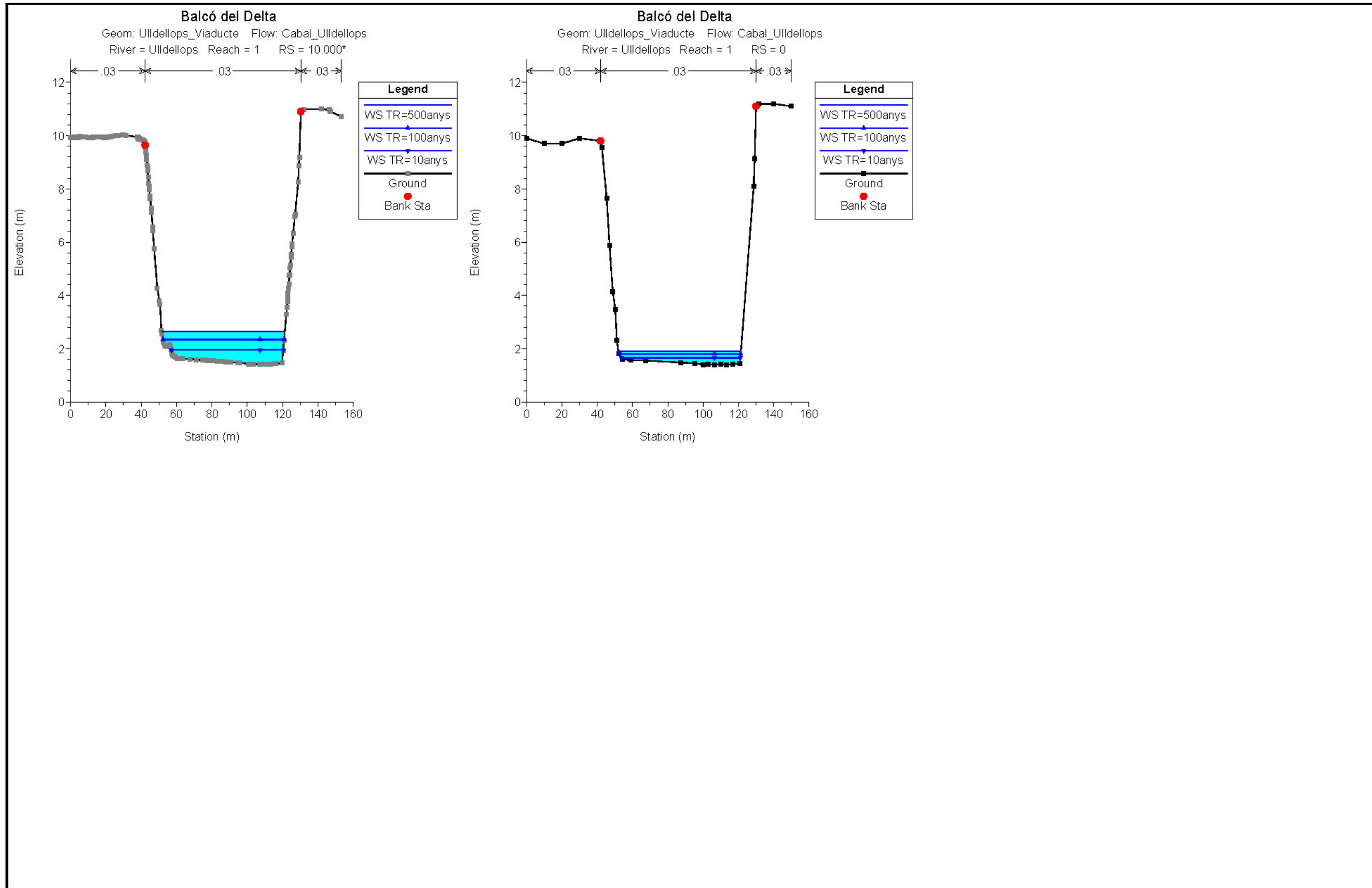
APÈNDIX 2 SECCIONS HEC-RAS (en situació amb el viaducte)





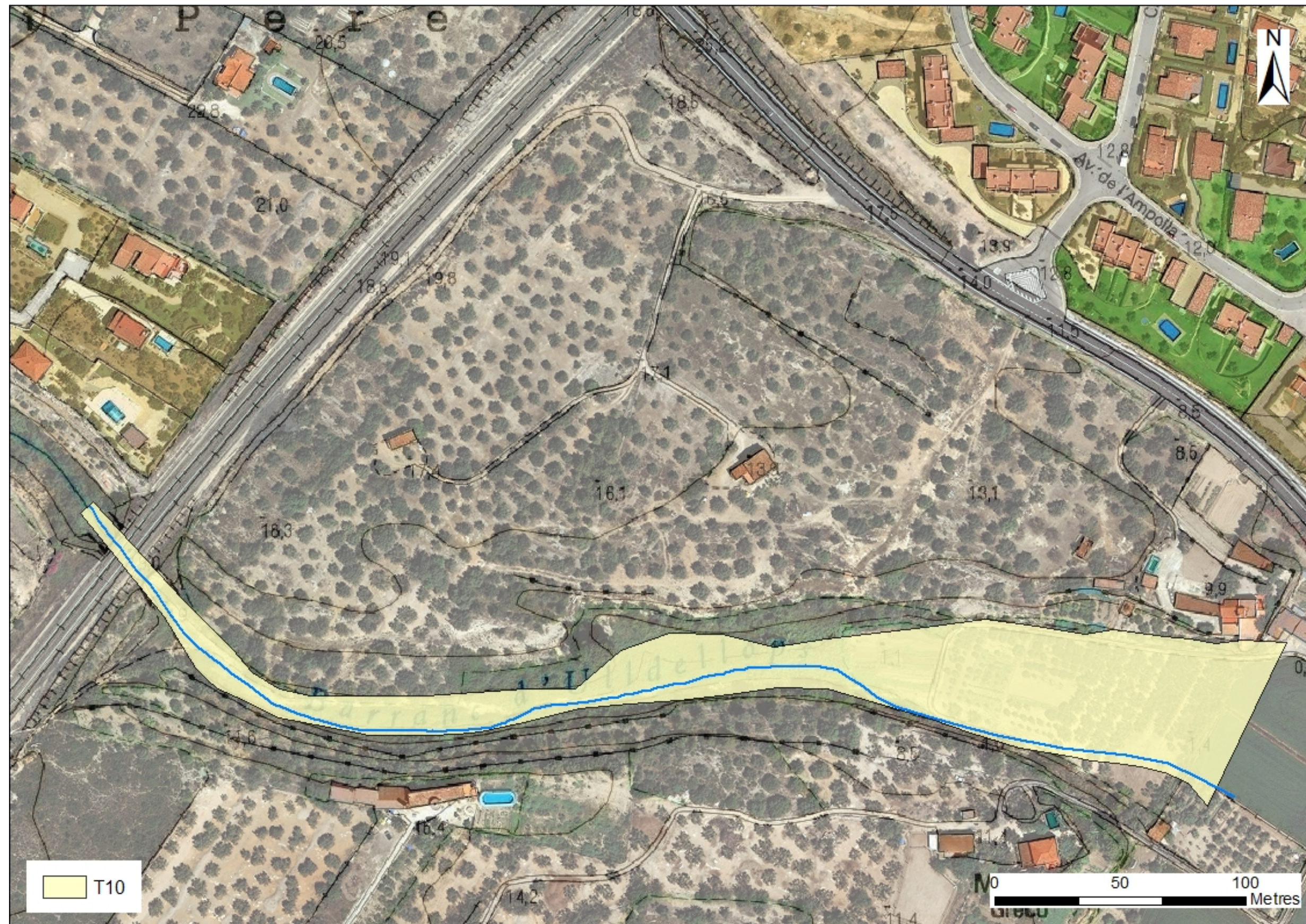






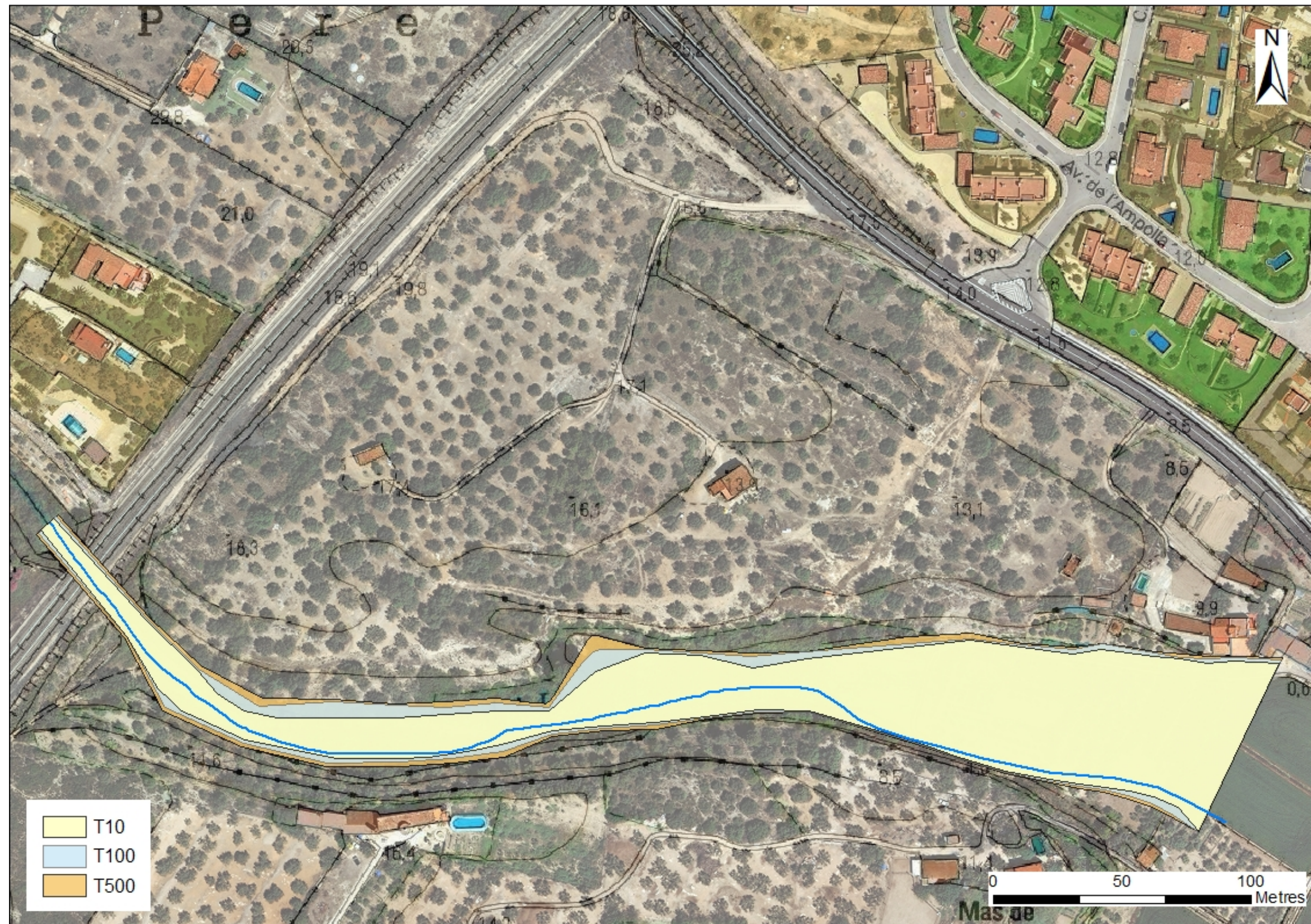
APÈNDIX 3 PLANES D'INUNDABILITAT (en situació actual)











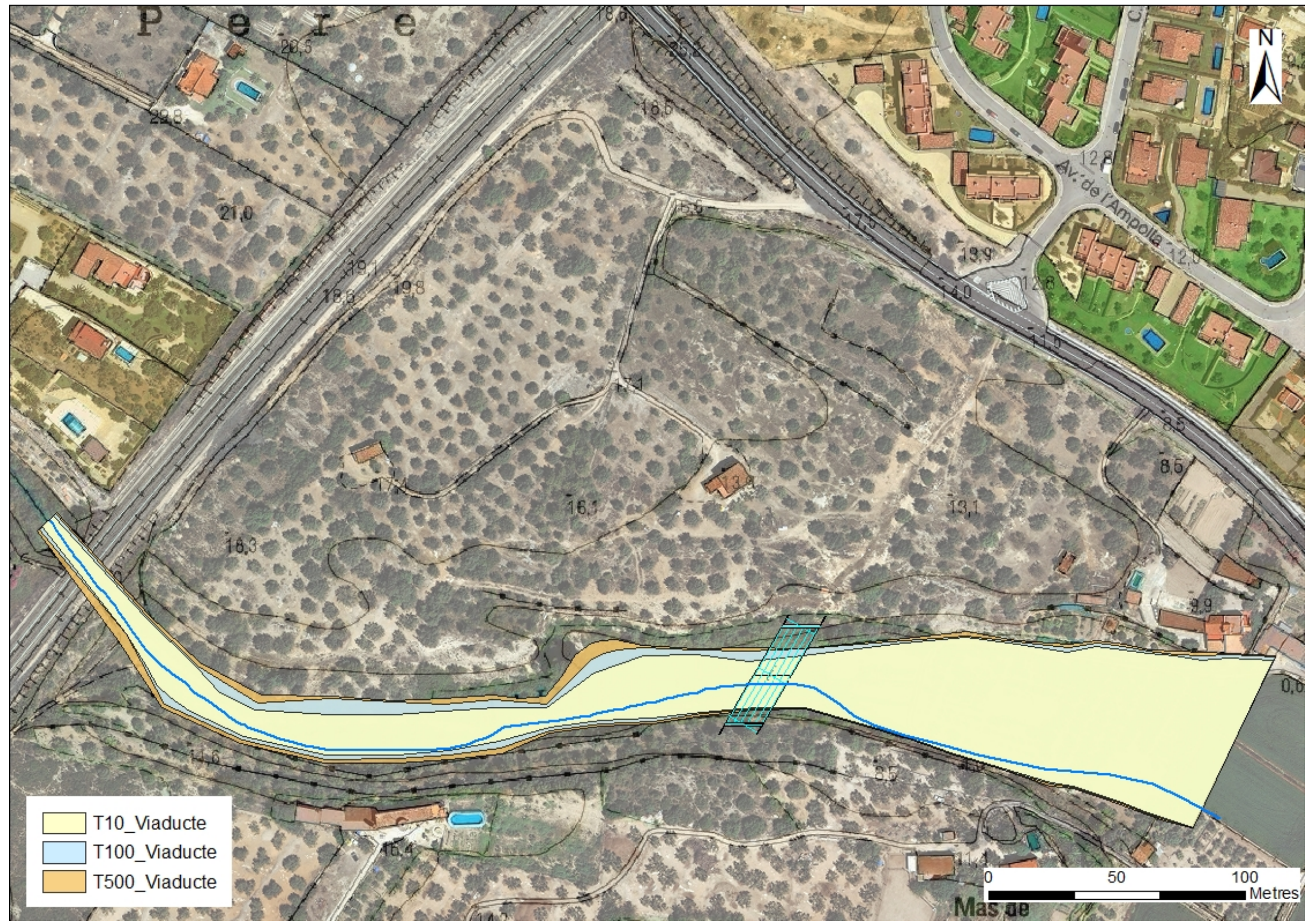
APÈNDIX 4 PLANES D'INUNDABILITAT (amb el viaducte)









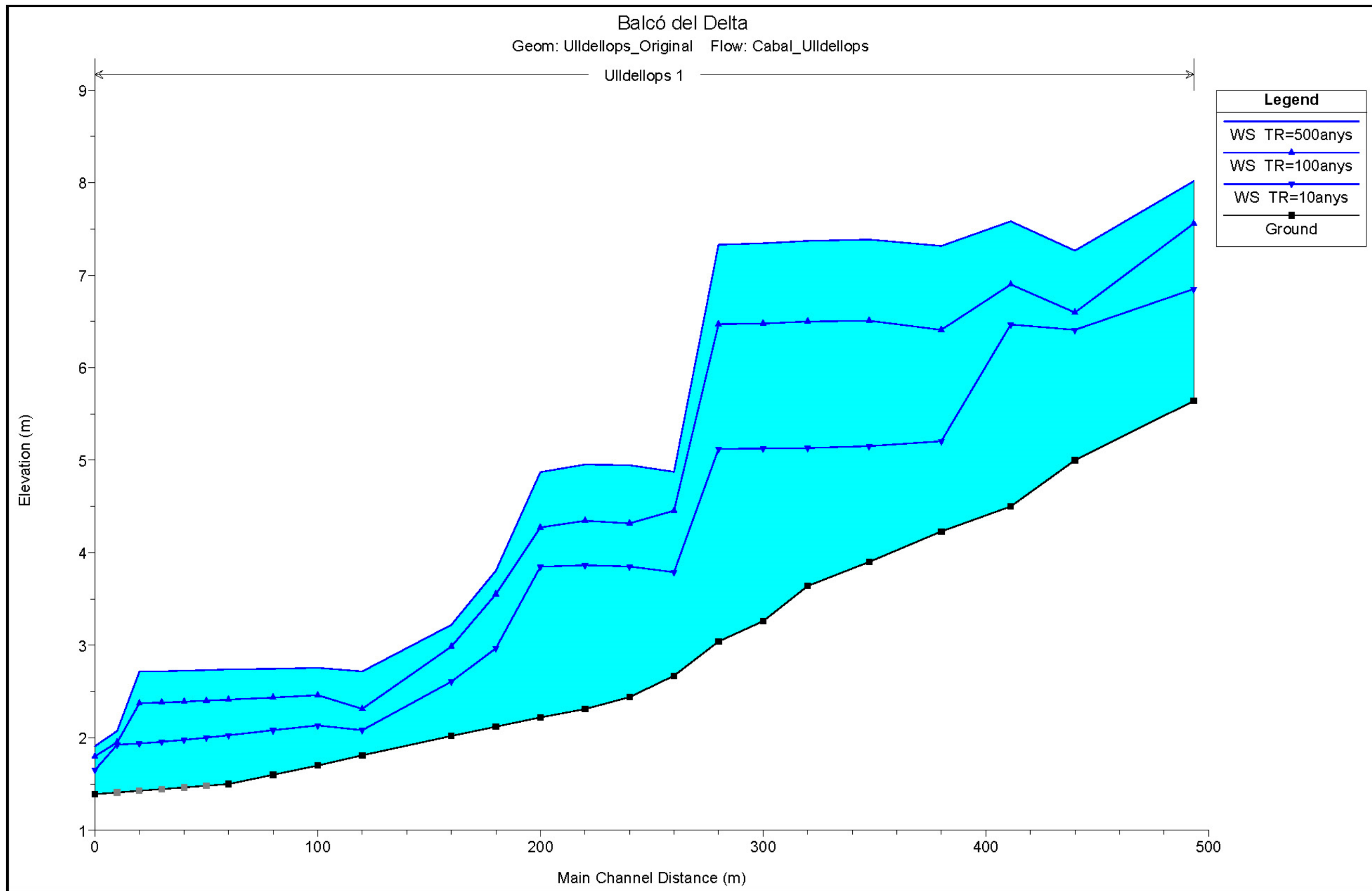


T10\_Viaducte  
T100\_Viaducte  
T500\_Viaducte

0 50 100 Metres



APÈNDIX 5 PERFIL LONGITUDINAL (en situació actual)



APÈNDIX 6 PERFIL LONGITUDINAL (amb el viaducte)

