



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Valencia*



ANEJO 9: CÁLCULOS

Proyecto de Obra Civil para Aprovechamiento Hidroeléctrico en el río Cabriel en el T.M. CASAS IBAÑEZ (ALBACETE) DESARROLLO CANAL DE DERIVACIÓN

Grado en Ingeniería de Obras Públicas

Curso académico 2013-2014

Fecha presentación Julio 2014

Alumno:

Parte desarrollada:

Yevhen Zobal

Desarrollo Canal de derivación



ÍNDICE

8. ANEJO DE CÁLCULOS.

8.2. CÁLCULOS DEL CANAL.



8. ANEJO DE CÁLCULOS.

8.2. CÁLCULOS DEL CANAL.

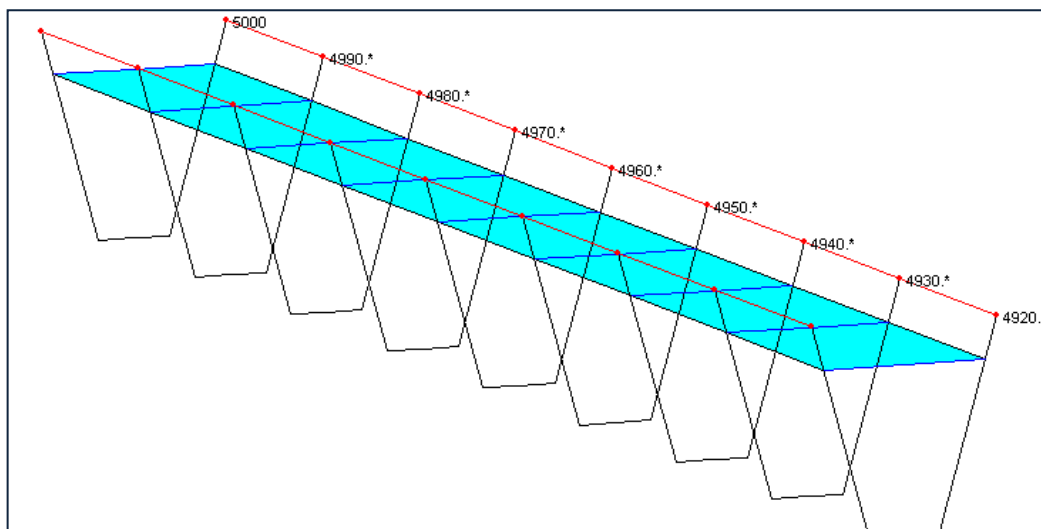
8.2.1 Canal

Con la fórmula de Manning se ha hallado el calado normal y con la ayuda del programa HEC – RAS 4.0.1 se ha hallado el **perfil longitudinal** del canal y comportamiento el agua (curvas de remanso, etc.)

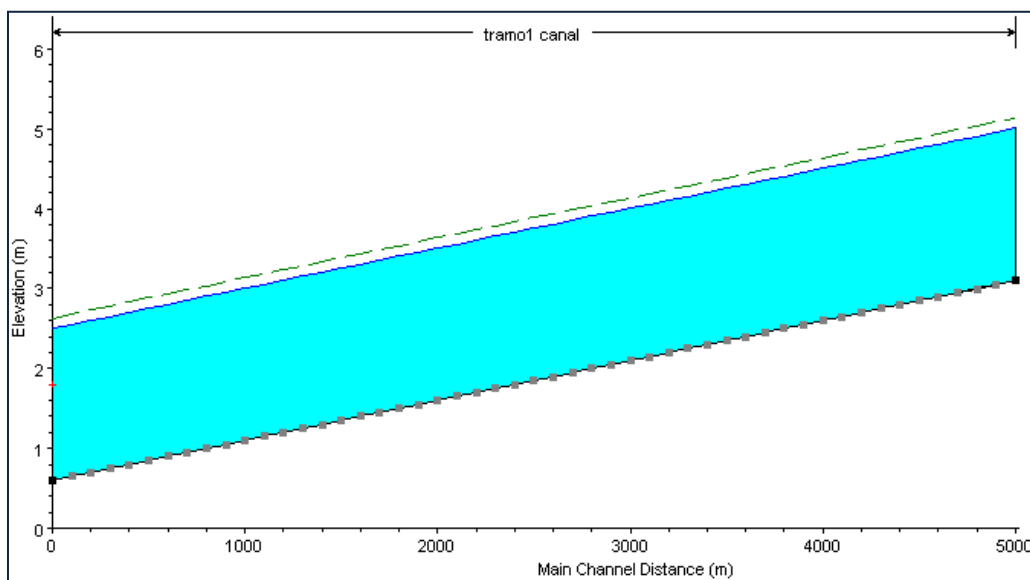
El orden de magnitud de resguardo para zonas rurales aconsejado es de 75 cm. Frente al calado que tenemos el resguardo es demasiado elevado ya que aumenta mucho el cose del hormigón, con lo cual es necesario hacer una aproximación (disminuir el calado), sería del orden de 1/6 del calado ($R=0,34$ m). Para estar al lado de la seguridad el resguardo que se ha escogido finalmente es de **0,5 m**.

I pendiente	0.0005	m/m
n rugosidad	0.015	
y calado	1.91	m
Sm sección	9.38	m ²
Pm	8.40	m
Rh	1.12	m
v	1.60	m/s
H Neto	28.5	m

Se puede observar también el comportamiento de un tramo del canal (ya que en toda su longitud no se aprecia) en 3D que se ha logrado mediante HEC-RAS.



A continuación se representa el **perfil de la lámina de agua**.





OBRA CIVIL DE UN APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO



En esta hoja podemos observar **la tabla de resultados** obtenidos del cálculo hidráulico del propio canal.

Como **resumen** obtenemos una sección transversal de canal con los siguientes datos:

River Sta	Profile	Q Total (m3/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 (m2)	Top Width (m)	Froude # Ch
5000	PF 1	15.00	3.10	5.01		5.14	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
4900.*	PF 1	15.00	3.05	4.96		5.09	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
4800.*	PF 1	15.00	3.00	4.91		5.04	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
4700.*	PF 1	15.00	2.95	4.86		4.99	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
4600.*	PF 1	15.00	2.90	4.81		4.94	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
4500.*	PF 1	15.00	2.85	4.76		4.89	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
4400.*	PF 1	15.00	2.80	4.71		4.84	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
4300.*	PF 1	15.00	2.75	4.66		4.79	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
4200.*	PF 1	15.00	2.70	4.61		4.74	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
4100.*	PF 1	15.00	2.65	4.56		4.69	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
4000.*	PF 1	15.00	2.60	4.51		4.64	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
3900.*	PF 1	15.00	2.55	4.46		4.59	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
3800.*	PF 1	15.00	2.50	4.41		4.54	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
3700.*	PF 1	15.00	2.45	4.36		4.49	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
3600.*	PF 1	15.00	2.40	4.31		4.44	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
3500.*	PF 1	15.00	2.35	4.26		4.39	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
3400.*	PF 1	15.00	2.30	4.21		4.34	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
3300.*	PF 1	15.00	2.25	4.16		4.29	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
3200.*	PF 1	15.00	2.20	4.11		4.24	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
3100.*	PF 1	15.00	2.15	4.06		4.19	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
3000.*	PF 1	15.00	2.10	4.01		4.14	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
2900.*	PF 1	15.00	2.05	3.96		4.09	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
2800.*	PF 1	15.00	2.00	3.91		4.04	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
2700.*	PF 1	15.00	1.95	3.86		3.99	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
2600.*	PF 1	15.00	1.90	3.81		3.94	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
2500.*	PF 1	15.00	1.85	3.76		3.89	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
2400.*	PF 1	15.00	1.80	3.71		3.84	0.000501	1.60	9.35	6.81	0.44
2300.*	PF 1	15.00	1.75	3.66		3.79	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
2200.*	PF 1	15.00	1.70	3.61		3.74	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
2100.*	PF 1	15.00	1.65	3.56		3.69	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44
2000.*	PF 1	15.00	1.60	3.51		3.64	0.000501	1.60	9.36	6.81	0.44
1900.*	PF 1	15.00	1.55	3.46		3.59	0.000501	1.60	9.35	6.81	0.44
1800.*	PF 1	15.00	1.50	3.41		3.54	0.000501	1.60	9.35	6.81	0.44
1700.*	PF 1	15.00	1.45	3.36		3.49	0.000501	1.60	9.35	6.81	0.44
1600.*	PF 1	15.00	1.40	3.31		3.44	0.000501	1.60	9.35	6.81	0.44
1500.*	PF 1	15.00	1.35	3.26		3.39	0.000501	1.60	9.35	6.81	0.44
1400.*	PF 1	15.00	1.30	3.21		3.34	0.000501	1.60	9.35	6.81	0.44
1300.*	PF 1	15.00	1.25	3.16		3.29	0.000501	1.60	9.35	6.81	0.44
1200.*	PF 1	15.00	1.20	3.11		3.24	0.000502	1.60	9.35	6.81	0.44
1100.*	PF 1	15.00	1.15	3.06		3.19	0.000502	1.60	9.35	6.81	0.44
999.999*	PF 1	15.00	1.10	3.01		3.14	0.000502	1.61	9.34	6.81	0.44
900.000*	PF 1	15.00	1.05	2.95		3.09	0.000502	1.61	9.34	6.81	0.44
800.000*	PF 1	15.00	1.00	2.90		3.04	0.000503	1.61	9.34	6.81	0.44
699.999*	PF 1	15.00	0.95	2.85		2.99	0.000503	1.61	9.34	6.81	0.44
600.*	PF 1	15.00	0.90	2.80		2.94	0.000503	1.61	9.33	6.81	0.44
500.000*	PF 1	15.00	0.85	2.75		2.88	0.000504	1.61	9.33	6.81	0.44
399.999*	PF 1	15.00	0.80	2.70		2.83	0.000504	1.61	9.33	6.81	0.44
300.*	PF 1	15.00	0.75	2.65		2.78	0.000505	1.61	9.32	6.80	0.44
200.000*	PF 1	15.00	0.70	2.60		2.73	0.000506	1.61	9.32	6.80	0.44
99.9999*	PF 1	15.00	0.65	2.55		2.68	0.000507	1.61	9.31	6.80	0.44
0	PF 1	15.00	0.60	2.50	1.79	2.63	0.000507	1.61	9.31	6.80	0.44



OBRA CIVIL DE UN APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO



-Sección transversal **general**

Ancho inferior	3	m
Ancho superior	7.8	m
Talud cajeros 1H: \underline{x} V	1	
Pendiente de la ladera	56	%
Angulo de inclinación de la ladera	25	°
Calado normal	1.9	m
Resguardo	0.5	m
Material de Revestimiento	HA	
Espesor de Revestimiento	0.2	m
Espesor de geotextil	0.003	m
Pendiente geométrica	0.0005	m/m

-Sección transversal a **cielo abierto**

Ancho camino de servicio	6	m
Espesor de la capa	0.2	m
Material del camino	Zahorra Artificial	
Talud Desmonte \underline{x} H: 1V	1	
Talud Terraplén \underline{x} H: 1V	1.5	
Peralte	2	%

-Sección transversal en **túnel**

Ancho camino de servicio MAYOR	1.5	m
Ancho espacio lateral MENOR	0.5	m
RADIO Total (excavación)	5.4	m
Espesor Hormigón proyectado	0.15	m
Espesor Hormigón HM-25	0.35	m
Radio Efectivo = Total - Espesores	4.9	m
Pernos (7 por sección) Longitud	10	m

A continuación aparecen los valores de los **volúmenes de excavación por metro lineal**:

Volumen Terraplén	27	m ³
Volumen Desmonte	66	m ³
Volumen Camino de servicio (zahorra)	2.5	m ³
Volumen del túnel	62	m ³



8.2.2. Cuneta de pie de talud

Para el período de retorno de 25 años la escorrentía por metro longitudinal de la ladera es de 5 dm³/s/ml. Con lo cual realizando los cálculos se tiene:

E por metro lineal	5 l/m/s	0.005 m ³ /m/s
E acumulada al final del tramo	24965 l/s	25 m ³ /s

*Donde E es Escorrentía.

La cuneta tiene forma rectangular con el ancho de 1 m y profundidad de 0,5 m, es decir la capacidad máxima es de 0,5 m³. La velocidad del agua en la cuneta se ha hallado con la fórmula de Manning y es de 1,02 m/s. El objetivo es ver cada cuanto se ha de realizar un drenaje transversal, y con los datos obtenidos se puede obtener la cantidad de los sumideros en toda la longitud del canal $25 / 0,5 = 50$ unidades. Si la longitud del canal es de 4993 metros, se ha decidido ubicar cada $L=4993/50 =$ aprox. **100 metros** el sumidero para drenar transversalmente el canal, con el objetivo de **impedir acceso del agua de Escorrentía de la ladera al canal**.

Además se incluye una **geomalla** para cubrir la ladera (5 metros de alto y en toda la longitud del canal), con lo que se evitaría acceso de sólidos que arrastra la escorrentía a la cuneta, reduciendo así, la posibilidad de su colmatación.

8.1.3. Dren subterráneo

El dren subterráneo es necesario para disminuir las subpresiones (procedentes de las pérdidas del propio canal).

El valor de las pérdidas es de 25-50 l/m²/día con lo que si realizamos un cálculo completo, tenemos:

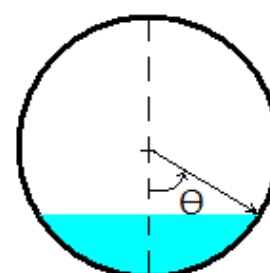
Longitud del canal	4,993 m	
Perímetro mojado	8.40 m	
Pérdidas	50 l/m ² /día	
Pérdidas en todo el ancho	420 l/m/día	0.0049 l/m/s
Pérdidas en toda la longitud	0.024 m ³ /s	24.3 l/s

A lo largo del canal obtenemos el caudal acumulado de las pérdidas: **24,3 l/s**

Ya que el dato no es muy elevado, el objetivo será realizar una tubería que pueda transportar todo este caudal sin tener que hacer unos drenajes transversales a propósito.

Q caudal	24.3 l/s
n rugosidad	0.01
Θ ángulo mojado	66 °
D diámetro tubería	0.4 m
V velocidad	0.75 m/s
Sección Mojada	0.031 m ²

Es necesario colocar una tubería de **0,4 m** de diámetro para transportar todo el caudal de pérdidas y quedarse por el lado de la seguridad, por si aparecen otras filtraciones.





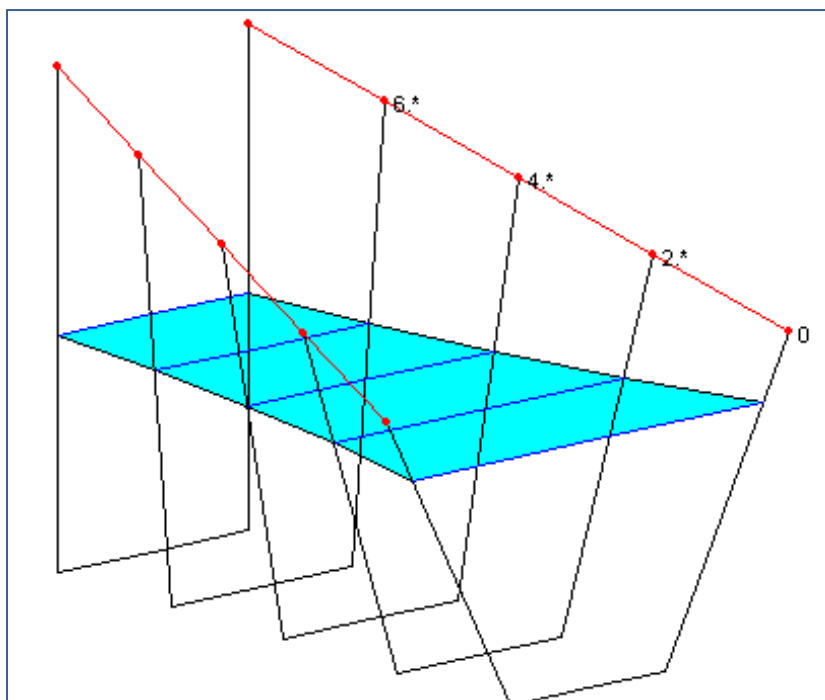
8.1.4. Canal de transición

8.2.4.1 Obra de toma

La obra de toma continúa con un canal de sección rectangular. Dado que nuestro canal es de sección trapezoidal, se ha visto necesario realizar una transición de canal. Ésta transición tendrá 10 metros de longitud. Los datos de cada una de las secciones (rectangular y trapezoidal) se muestran a continuación, y junto con ellos se representa (calculada en HEC-RAS) la dicha transición en 3D.

Sección Rectangular	
Ancho	3.7 m
Alto	3.9 m

Sección Trapezoidal	
Ancho superior	7.8 m
Ancho inferior	3 m
Alto	2.4 m
Talud	1H:1V



Los resultados correspondientes al cálculo se muestran a continuación

River Sta	Profile	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
8	PF 1	15.00	0.00	1.83		2.08	0.001240	2.22	6.76	3.70	0.52
6.*	PF 1	15.00	0.00	1.84		2.07	0.001053	2.12	7.06	4.15	0.52
4.*	PF 1	15.00	0.00	1.86		2.06	0.000857	1.99	7.54	4.77	0.50
2.*	PF 1	15.00	0.00	1.88		2.05	0.000668	1.81	8.27	5.62	0.48
0	PF 1	15.00	0.00	1.90	1.18	2.03	0.000500	1.60	9.36	6.81	0.44

Los cambios que se puede apreciar en la transición para un mismo caudal es el aumento de la sección (**6,76 → 9,36 m²**), lo que implica una cierta reducción de velocidad del agua (**2,2 → 1,6 m/s**), y con lo cual un aumento del calado (**1,83 → 1,9 m**). A partir de esa sección el canal continúa en su sección trapezoidal definida anteriormente, fluyendo en régimen uniforme con la aproximación al calado normal 1,9 m.



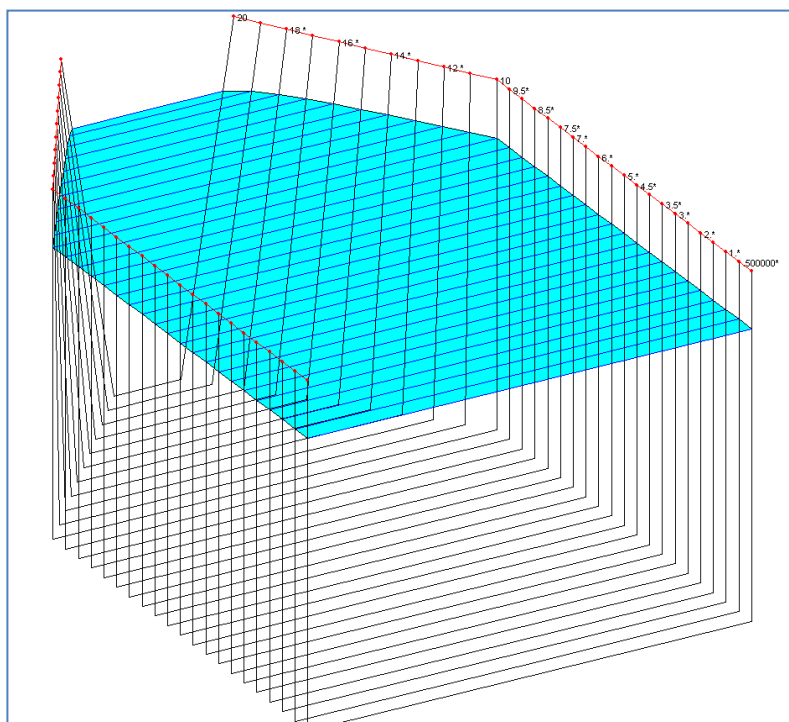
OBRA CIVIL DE UN APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO



Al final del canal, antes de entrar en la cámara de carga se ha planteado otro cambio de sección para una mayor facilidad de manejo del caudal. También se ha utilizado el HEC-RAS para representar y calcular dicha variación:

Sección Trapezoidal	
Ancho superior	7.8 m
Ancho inferior	3 m
Alto	2.4 m
Talud	1H:1V

Sección Rectangular	
Acho	7 m
Alto	2.4 m



A continuación se proporcionan resultados obtenidos del cálculo de la transición de la sección

Reach	River Sta	Profile	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
1	20	PF 1	15.00	0.10	2.00		2.14	0.000503	1.61	9.34	6.81	0.44
1	19.*	PF 1	15.00	0.10	2.05		2.12	0.000235	1.19	12.55	8.20	0.31
1	18.*	PF 1	15.00	0.10	2.06		2.11	0.000136	0.96	15.66	9.54	0.24
1	17.*	PF 1	15.00	0.10	2.07		2.11	0.000088	0.80	18.74	10.87	0.19
1	16.*	PF 1	15.00	0.10	2.08		2.10	0.000062	0.69	21.79	12.18	0.16
1	15.*	PF 1	15.00	0.10	2.08		2.10	0.000045	0.60	24.83	13.49	0.14
1	14.*	PF 1	15.00	0.09	2.09		2.10	0.000035	0.54	27.87	14.79	0.13
1	13.*	PF 1	15.00	0.09	2.09		2.10	0.000028	0.49	30.90	16.10	0.11
1	12.*	PF 1	15.00	0.09	2.09		2.10	0.000023	0.44	33.94	17.40	0.10
1	11.*	PF 1	15.00	0.09	2.09		2.10	0.000019	0.41	36.97	18.70	0.09
1	10	PF 1	15.00	0.09	2.09		2.10	0.000016	0.37	40.01	20.00	0.08
1	9.5*	PF 1	15.00	0.09	2.09		2.10	0.000016	0.37	40.01	20.00	0.08
1	9.*	PF 1	15.00	0.09	2.09		2.10	0.000016	0.37	40.01	20.00	0.08
1	8.5*	PF 1	15.00	0.09	2.09		2.10	0.000016	0.37	40.02	20.00	0.08
1	8.*	PF 1	15.00	0.09	2.09		2.10	0.000016	0.37	40.02	20.00	0.08
1	7.5*	PF 1	15.00	0.09	2.09		2.10	0.000016	0.37	40.02	20.00	0.08
1	7.*	PF 1	15.00	0.09	2.09		2.10	0.000016	0.37	40.02	20.00	0.08
1	6.5*	PF 1	15.00	0.09	2.09		2.10	0.000016	0.37	40.04	20.00	0.08
1	6.*	PF 1	15.00	0.09	2.09		2.10	0.000016	0.37	40.04	20.00	0.08
1	5.5*	PF 1	15.00	0.09	2.09		2.10	0.000016	0.37	40.04	20.00	0.08
1	5.*	PF 1	15.00	0.09	2.09		2.10	0.000016	0.37	40.04	20.00	0.08
1	4.5*	PF 1	15.00	0.09	2.09		2.10	0.000016	0.37	40.07	20.00	0.08
1	4.*	PF 1	15.00	0.09	2.09		2.10	0.000016	0.37	40.06	20.00	0.08
1	3.5*	PF 1	15.00	0.09	2.09		2.10	0.000016	0.37	40.06	20.00	0.08
1	3.*	PF 1	15.00	0.09	2.09		2.10	0.000016	0.37	40.06	20.00	0.08
1	2.5*	PF 1	15.00	0.09	2.09		2.10	0.000016	0.37	40.08	20.00	0.08
1	2.*	PF 1	15.00	0.09	2.09		2.10	0.000016	0.37	40.08	20.00	0.08
1	1.5*	PF 1	15.00	0.09	2.09		2.10	0.000016	0.37	40.08	20.00	0.08
1	1.*	PF 1	15.00	0.09	2.09		2.10	0.000016	0.37	40.08	20.00	0.08
1	.500000*	PF 1	15.00	0.09	2.09		2.10	0.000016	0.37	40.10	20.00	0.08
1	0	PF 1	15.00	0.09	2.09	0.47	2.10	0.000016	0.37	40.10	20.00	0.08



Se ha calculado la cámara de carga de manera que haya un aumento de sección con el fin de reducir la velocidad lo máximo posible. Según los datos obtenidos con el programa, se puede decir que se produce una reducción de velocidad ($1,6 \rightarrow 0,37$ m/s) y un aumento lógico de la sección mojada ($9,35 \rightarrow 40,10$ m²). Además se produce un aumento del calado de ($1,90 \rightarrow 1,99$ m)

*(W.S. Elevation es la altura de energía del agua incluida la cota de la solera, que en los cálculos se ha tomado con 0,1 m. Es decir, el calado $y = \text{W.S. Elevation} - 0,1 = 2,00 - 1 = 1,9$ m).