

ANEJO N° 09. ESTUDIOS DE DRENAJE

TÍTULO DEL TRABAJO: **PROYECTO CONSTRUCTIVO DE INTEGRACIÓN DEL
FERROCARRIL EN SANT FELIU DE LLOBREGAT.
ALTERNATIVA EN SUPERFICIE.
ESTUDIOS DE DRENAJE**

TÍTULO DEL DOCUMENTO: **ANEJO Nº 09. ESTUDIOS DE DRENAJE**

	Nombre	Firma	Fecha
Realizado por:	ENRIC MONZÓ FULGADO		JUNIO 2014

Índice	
1. INTRODUCCIÓN	4
2. DESCRIPCIÓN	4
2.1 Drenaje transversal	5
2.1.1 Marcos prefabricados	5
2.1.2 Marcos	5
2.1.3 Otras obras de drenaje transversal	5
2.2 Drenaje longitudinal	5
2.2.1 Cuneta de pie de desmonte	6
2.2.2 Cuneta de guarda	6
2.2.3 Bajante de desmonte	6
2.2.4 Cuneta de pie de terraplén	6
2.2.5 Cuneta de coronación de terraplén	6
2.2.6 Bajante de terraplén	6
3. UBICACIÓN	7
3.1 Drenaje transversal	7
3.2 Drenaje longitudinal	7
3.2.1 Cuneta de pie de desmonte	7
3.2.1.1 Cuneta margen derecho	7
3.2.1.2 Cuneta margen izquierdo	7
3.2.2 Cuneta de guarda	8
3.2.2.1 Cuneta margen derecho	8
3.2.3 Bajante desmonte	8
3.2.4 Cuneta pie de terraplén	9
3.2.4.1 Cuneta margen derecho	9
3.2.4.2 Cuneta margen izquierdo	9
3.2.5 Cuneta de coronación de terraplén	10
3.2.5.1 Cuneta margen derecho	10
3.2.5.2 Cuneta margen izquierdo	10
3.2.6 Bajante de terraplén	11
4. CÁLCULOS HIDRÁULICOS	12
4.1 Datos de partida	12
4.2 Drenaje longitudinal	12
4.2.1 Cuneta de pie de desmonte	13
4.2.1.1 Margen derecho	13
4.2.1.2 Margen izquierdo	14
4.2.2 Cuneta de guarda	15
4.2.3 Bajante de desmonte	16
4.2.4 Cuneta de pie de terraplén	17
4.2.4.1 Margen derecho	17
4.2.4.2 Margen izquierdo	18
4.2.5 Cuneta de coronación de terraplén	19
4.2.6 Bajante de terraplén	20
4.2.7 Tablas de funcionamiento de cunetas	21
4.2.7.1 Cuneta de pie de desmonte	21
4.2.7.2 Cuneta de guarda	22
4.2.7.3 Cuneta de pie de terraplén	23
4.2.7.4 Cuneta de coronación de terraplén	25
4.3 Drenaje transversal	26
4.3.1 Cálculo de caudales	26
4.3.1.1 O.D.T 1 (Marco doble)	27
4.3.1.2 O.D.T 2 (Riera de la Païssa)	27
4.3.1.3 O.D.T 3	28
4.3.1.4 O.D.T 4 (Riera de la salut)	28
4.3.1.5 O.D.T 5 (La Primera Riereta)	29
4.3.1.6 O.D.T 6 (Torrent del Terme)	29
4.3.1.7 O.D.T (Marco doble)	30
4.3.1.8 O.D.T 8 Colector (Riera d'en Bonet)	30
4.3.2 Condiciones de control de entrada	31
5. CONCLUSIÓN	32

1. INTRODUCCIÓN

Con la finalidad de evacuar los caudales pertinentes obtenidos en el anejo X Hidrología realizado por mi compañero Ramón Córdoba, es necesario la elaboración de un anejo donde se estudie el diseño y posterior funcionamiento de los elementos de la red de drenaje de la obra. Buscando la consonancia de todos los elementos incorporados, de tal manera que la construcción de la obra suponga el menor cambio para el curso del agua en la zona.

La primera fase de trabajo, mientras se llevaba a cabo el desarrollo del estudio hidrológico, era conocer los recursos de drenaje de la zona en cuestión. Para ello se recopiló información de diferentes fuentes como la página oficial del ayuntamiento de Sant Feliu de Llobregat. Con esta información se determinó la existencia de diferentes acequias que atravesaban el tramo de ferrocarril a implantar.

De todas las acequias existentes, por sus condiciones de capacidad y uso, se consideran como válidas para su uso en nuestra red de drenaje las siguientes:

- Riera de la Païssa
- Riera de la Salu
- La Primera Riereta
- Torrent del Terme
- Riera d'en Bonet

Una vez terminado el apartado hidrológico, se observa que las cuencas van dirección noreste a suroeste, con lo que intersectan a la plataforma cuasi perpendicularmente. Conocidas las cuencas que interfieren en la zona y sus respectivos caudales, se determina las intersecciones de dichas cuencas con la plataforma.

La prioridad era dar continuidad directa mediante obra de drenaje transversal a aquellas cuencas más caudalosas, como era de esperar algunas coincidían con las acequias ya existentes, sin embargo, parece necesario la creación de nuevas acequias para aquellas intersecciones con grandes caudales sin existencia de obra de drenaje. De no crearse estas nuevas acequias nos introduciríamos en un riesgo de inundación a la parte suroeste de la obra.

En total se consideran la creación de 3 nuevas acequias con diferentes dimensiones, el diseño y proyecto de estas, se considera como una hipótesis de este TFG, en el cual nosotros únicamente tratamos de realizar las pertinentes obras de drenaje transversal para estas previstas nuevas acequias. Este hecho plantea la problemática de datos desconocidos como la ubicación exacta y cota, dichos datos se toman como hipótesis para continuar con el trabajo.

Por otro lado, la utilización de las acequias ya existentes requiere un estudio hidrológico, comprobando que estas tienen la capacidad hidráulica requerida. Dicho estudio se encuentra en el apartado 4.3.1 de este anejo.

Todo el sistema de drenaje transversal planteado, conecta con el colector principal que transcurre paralelo a la autovía B-23 conectando finalmente con el río Llobregat. Dicho colector a efectos de este trabajo final de grado, se toma la hipótesis de que tiene la capacidad suficiente para tomar los caudales pertinentes aquí estudiados. No obstante se debería realizar un estudio en el que se comprobase dicha capacidad atendiendo a los diferentes caudales, con sus recorridos y tiempos de concentración.

Una vez finalizada la estructura del drenaje transversal, el siguiente paso consiste en conducir aquellas cuencas, que por su tamaño o ubicación no se les da continuidad directa, hasta la obra de drenaje transversal más cercana. Para ello se diseña el conjunto de obras de drenaje longitudinal que además de cumplir la función anteriormente mencionada, se encarga de evacuar los caudales producidos en plataforma y márgenes.

Teniendo en cuenta además obras de drenaje longitudinal encargadas en preservar los diferentes taludes, tal y como se explicara en este anejo, dependiendo de las condiciones y del tipo de talud.

Es importante remarcar que el estudio de drenaje de una obra de estas características, conlleva la recopilación de una cantidad de datos, un análisis de la zona y una iteración progresiva en la búsqueda de un resultado que busque objetivos de simplicidad seguridad y economía.

2. DESCRIPCIÓN

Para la elaboración de este anejo se ha seguido la instrucción de carreteras 5.2 IC de drenaje superficial, debido a la similitud del tipo de obra lineal que es una carretera y un ferrocarril, así como como algunas de las recomendaciones de la normativa de Adif, en concreto la NRV 2.1.1.0 (Drenajes y saneamientos).

Siguiendo las recomendaciones de la instrucción de carreteras 5.2 IC lo primero a determinar el periodo de retorno, a través del cual tendremos caudales de partida para posteriormente dar el diseño adecuado.

El periodo de retorno a considerar son los siguientes:

- 100 años : Drenaje Transversal
- 50 años : Drenaje longitudinal de plataforma y márgenes

Dicha elección se realiza con el siguiente criterio, dado que la instrucción determina los periodos de retorno en función de la IMD, usamos los máximos valores proporcionados por la instrucción para quedar del lado de la seguridad.

Durante todo el anejo se considera margen izquierdo y derecho siempre en el sentido creciente de los puntos kilométricos, es decir, margen derecho situado al noreste y margen izquierdo al suroeste.

Para llevar a cabo la red de drenaje es necesario realizar una serie de obras que a continuación se detallan.

2.1 Drenaje transversal

Mediante el uso de obras de drenaje transversal damos continuidad del caudal permitiendo el paso del mismo del lado derecho de la plataforma al lado izquierdo, ya que como se observa en el anejo hidrológico este es el curso natural de las cuencas.

El diseño de estos elementos se ha realizado en base a los siguientes criterios:

- Proporcionar salida directa a las cuencas más importantes.
- Aprovechar los elementos de drenaje ya existentes tales como acequias.
- Evitar el aporte de grandes caudales a las parcelas colindantes.
- Dimensiones aptas para los cálculos hidráulicos de la instrucción 5.2 IC.
- Dimensión admisible en función de terraplén y plataforma.

2.1.1 Marcos prefabricados

Se utiliza este tipo de obra cuando los caudales a evacuar toman cierta importancia, tomando esta decisión frente a otros tipos de obra de drenaje transversal como pueden ser caños, que son usados con caudales menores.

Se utilizan marcos prefabricados en aquellas zonas que se requiere por falta de obras de drenaje para evacuar el agua proveniente de las cuencas. Se disponen 3 tipos diferentes de 2, 2.5 y 3 metros de altura, todos ellos con una anchura de 3 metros (ambas luces libres).

2.1.2 Marcos

Se justifica la distinción frente a marcos prefabricados, ya que en este caso debido a las luces de estos marcos se requiere una fabricación in situ.

En aquellas zonas donde se aprovechan acequias existentes se dispone de marcos que se adaptan a la sección y pendiente de cada acequia, se les proporciona la altura adecuada con resguardo para evitar riesgo de inundación de la plataforma.

Estos marcos son de las siguientes dimensiones, especificando ancho y altura en luces libres:

- Marco de 5 x 2,5 metros en Riera de la Païssa
- Marco de 7 x 2,5 metros en Riera de la Salut
- Marco de 8 x 3 metros en La Primera Riereta
- Marco de 6 x 2,5 metros en Torrent del Terme

2.1.3 Otras obras de drenaje transversal

En la zona final del tramo abarcado, se realiza una conexión como obra de drenaje transversal, en la hipótesis de la existencia de un colector enterrado en la calle Llobregat que se prolonga hasta la acequia “Riera d’en Bonet”, que a su vez conecta con el canal colector” que transcurre paralelamente a la autovía B-23 hasta su conexión con el río Llobregat.

Con la construcción de un pozo como elemento de conexión entre los elementos de drenaje longitudinal y el colector. Esta la solución adoptada para evacuar las pertinentes cuencas que se producen en esta zona industrial del tramo.

2.2 Drenaje longitudinal

Mediante el uso de obras de drenaje longitudinal conducimos los caudales pertinentes hasta la obra de drenaje transversal más cercana. Ha de tenerse en cuenta que en el margen derecho se encauzan caudales de cuencas de menor tamaño que son desplazados por cunetas, este hecho produce que las cunetas del margen derecho requieran unas dimensiones mayores, ya que el margen izquierdo se diseña para recoger el agua de lluvia en plataforma y márgenes. Debido que las cuencas al lado izquierdo de la plataforma siguen sin curso sin afectar a la plataforma.

El diseño de estos elementos se ha realizado en base a los siguientes criterios:

- Dimensiones para evacuar el caudal pertinente de cada tramo.
- Sentido del drenaje para evacuar por gravedad.
- Adaptación a la pendiente del terreno y la plataforma.
- Secciones que cumplan la normativa NRV 2.1.1.0
- Mantener las velocidades por debajo de 6 m/s por motivos de erosión en el elemento respectivamente.
- Correlación entre tipos de cunetas, para facilitar la puesta en obra.
- Preferencia de secciones rectangulares reduciendo superficie de expropiación.

2.2.1 Cuneta de pie de desmonte

Este tipo de cuneta se recoge el caudal que llega al talud además de conducir los caudales provenientes de las cunetas de pie de terraplén, a las cuales conectan, así como el caudal de las cunetas de guarda que conectan mediante bajantes. Conduce por gravedad el caudal hasta la obra de drenaje transversal más cercana o bien hasta la próxima cuneta de pie de terraplén. Siguen la pendiente de la plataforma que varía entre el 0.377% y 0.307%.

Se sitúan al borde de la plataforma con una separación de 1 metro hasta la capa de balasto, y 0.5 metro hasta el pie del desmonte. Disponemos de dos tipos según margen derecho o izquierdo.

El margen derecho consta de una cuneta revestida, de sección rectangular de 1.6 metros de profundidad y 2 metros de anchura (ambas luces libres). Espesor de las paredes de 15 centímetros. Con estas dimensiones evacuan el caudal de las cuencas plataforma y márgenes pertinentes.

El margen izquierdo consta de una cuneta revestida de 0.8 metros de profundidad y 0.8 metros de anchura (ambas luces libres). Espesor de las paredes de 10 centímetros. Con estas dimensiones evacuan el caudal de plataforma y márgenes pertinente.

2.2.2 Cuneta de guarda

Este tipo de cuneta recoge los caudales procedentes de las cuencas en pequeñas cantidades, sirve para preservar las condiciones del talud evitando que pasen por este, grandes cantidades de agua. Conectan con las cunetas de desmonte mediante bajantes y su pendiente viene definida por el terreno. Este tipo de cuneta se monta únicamente en el margen derecho, ya que al lado izquierdo las cuencas naturales siguen su curso alejándose de la plataforma.

Se sitúan en el borde superior del talud de desmonte. De hormigón revestido prefabricado con una sección rectangular con 40 centímetros de profundidad y 60 centímetros de anchura (ambas luces libres). Espesor de las paredes de 10 centímetros.

2.2.3 Bajante de desmonte

Con estos elementos conectamos el caudal de las cunetas de guarda con las cunetas de desmonte. Su capacidad debe ser igual a la de la cuneta de guarda.

Ubicadas en los tramos de desmonte, donde se dispone de cuneta de guarda en tramos cada 50 metros en función de los puntos kilómetros. De hormigón revestido prefabricado con una sección rectangular de 40 centímetros de ancho y 40 de profundidad (ambas luces libres). Espesor de las paredes de 10 centímetros.

Las piezas de este tipo de cuneta se colocan de forma escalonada reduciendo así su pendiente media de tramo.

2.2.4 Cuneta de pie de terraplén

Esta cuneta es la más usada en el tramo, al igual que la cuneta de pie de desmonte se encarga de encauzar el agua, proveniente de la plataforma, talud y márgenes, mediante gravedad hasta la obra de drenaje transversal más cercana. En este caso la pendiente viene adaptada a las condiciones del terreno.

Se sitúan en la parte inferior del terraplén y se consideran dos tipos por margen izquierdo o derecho.

En el margen derecho se dispone de cuneta revestida de sección rectangular, con 1.6 metros de profundidad y 2 metros de anchura (ambas luces libres). Espesor de las paredes de 15 centímetros. Con estas dimensiones evacuan el caudal de las cuencas plataforma y márgenes pertinentes.

En el margen izquierdo se dispone de cuneta revestida de 0.8 metros de profundidad y 0.8 metros de anchura (ambas luces libres). Espesor de las paredes de 10 centímetros. Con estas dimensiones evacuan el caudal de plataforma y márgenes pertinente.

Como se puede observar se trata del mismo tipo de cuneta que se usa en pie de desmonte. De esta manera garantizamos un fácil enlace en las transiciones de terraplén a desmonte y viceversa, además de reducir tipos de cuneta para mayor sencillez de la puesta en obra.

2.2.5 Cuneta de coronación de terraplén

Siguiendo la recomendación de la instrucción de carreteras 5.2 IC de colocar caces en la coronación de terraplenes cuando la altura de talud supere cierta distancia, hemos optado por la colocación de cunetas en los tramos en que la altura de talud en terraplén supera los 4 metros. La finalidad es la de preservar el talud evitando posibles erosiones por el curso del agua.

Están diseñadas para evacuar el agua de lluvia que se pueda generar en la plataforma y conectan con la cuneta de pie de terraplén a través de bajantes.

Se sitúan a una distancia de 1 metro desde la capa de balasto y al borde superior del terraplén, con la misma pendiente de la plataforma que oscila entre 0.377% y 0.307%.

Son cunetas de hormigón revestido prefabricado de sección rectangular con 25 centímetros de profundidad y 20 centímetros de anchura (ambas luces libres). Estas son las dimensiones mínimas permitidas por la NRV 2.1.1.0. Espesor de las paredes de 5 centímetros.

2.2.6 Bajante de terraplén

Para evacuar el caudal de las cunetas de coronación de terraplén se dispone de bajantes en los tramos que exista dicha cuneta. Se sitúan en separación de 30 metros tal y como recomienda la instrucción de carretera 5.2 IC en su apartado 3.3.2.

Manteniendo la pendiente del talud, este elemento de hormigón prefabricado es de sección triangular con profundidad de 18 centímetros y taludes simétricos de 5V:2H. Espesor de las paredes de 2 centímetros.

3. UBICACIÓN

Aquí se detalla la situación según puntos kilómetros de las diferentes obras de drenaje, diferenciando así por tramos y tipos de drenaje.

3.1 Drenaje transversal

Las diferentes obras de drenaje transversal se sitúan en los puntos donde intersectan las cuencas más importantes (2, 4, 8, 13 y 14) y los elementos de drenaje ya existentes.

Obra	P.K	Tipo	Cuencas
O.D.T 1 (Marco doble)	1+022	Marco	15 y 16
O.D.T 2 (Riera de la Païssa)	1+829	Marco	13 y 14
O.D.T 3	2+288	Marco	10,11 y 12
O.D.T 4 (Riera de la Salut)	2+898	Marco	9
O.D.T 5 (La Primera Riereta)	3+194	Marco	8
O.D.T 6 (Torrent del Terme)	3+611	Marco	5,6 y 7
O.D.T 7 (Marco doble)	4+271	Marco	3 y 4
O.D.T 8 (Riera d'en Bonet)	5+503	Colector	1 y 2

Tabla 1

Se observa la construcción de marcos dobles en las obras de drenaje 1 y 7 para lograr alcanzar la sección necesaria para evacuar el caudal. Las obras de drenaje 2, 3, 5 y 6 corresponden a las acequias ya existentes nombradas en el cuadro, cabe puntualizar que la acequia “La Primera Riereta” requiere de una ampliación de su sección como se detalla en punto 4.3.1.5 de este anejo.

La obra de drenaje 8 es la conexión del colector mediante un pozo. Dicho colector es una hipótesis adoptada en el TFG en base a la existencia de la Riera d'en Bonet al finalizar la calle Llobregat.

3.2 Drenaje longitudinal

Se detallan los diferentes tramos de drenaje longitudinal en función de su punto kilométrico para cada uno de los tipos de este drenaje.

3.2.1 Cuneta de pie de desmonte

3.2.1.1 Cuneta margen derecho

Tramo	P.K Inicio	P.K Fin
1	0+000	0+385
2	0+398	0+451
3	0+811	0+912
4	2+882	2+894
5	5+205	5+499
6	5+520	5+871
7	5+927	6+026

Tabla 2

3.2.1.2 Cuneta margen izquierdo

Tramo	P.K Inicio	P.K Fin
1	0+008	0+332
2	0+830	0+932
3	2+880	2+894
4	5+274	5+497
5	5+520	5+688
6	5+758	5+770
7	5+968	6+026

Tabla 3

3.2.2 Cuneta de guarda

3.2.2.1 Cuneta margen derecho

Tramo	P.K Inicio	P.K Fin
1	0+000	0+385
2	0+398	0+451
3	2+882	2+894
4	5+205	5+499
5	5+520	5+871
6	5+927	6+026

Tabla 4

Como se explicó anteriormente no es necesario el uso de este tipo de cuneta en el margen izquierdo, ya que en dicho margen las cuencas prosiguen su curso alejándose de la plataforma.

3.2.3 Bajante desmonte

Se especifica los puntos kilométricos de los cuales arranca este tipo de bajante conectando la cuneta de pie de desmonte con la cuneta de guarda.

Tramo	P.K
1	0+050
2	0+100
3	0+150
4	0+200
5	0+250
6	0+300
7	0+350
8	5+255
9	5+305
10	5+355
11	5+405
12	5+455
13	5+505
14	5+555
15	5+605
16	5+655
17	5+705
18	5+755
19	5+805
20	5+855
21	5+977

Tabla 5

3.2.4 Cuneta pie de terraplén

Se detallan a continuación los tramos de cuneta de terraplén en función de los puntos kilométricos, ha de tenerse en cuenta sus interrupciones debidas a una posible transición a desmonte o bien por conexión con una obra de drenaje transversal.

3.2.4.1 Cuneta margen derecho

Tramo	P.K Inicio	P.K Fin
1	0+385	0+398
2	0+451	0+811
3	0+912	1+019
4	1+025	1+827
5	1+832	2+287
6	2+290	2+882
7	2+894	3+191
8	3+198	3+608
9	3+614	4+268
10	4+274	5+205
11	5+499	5+502
12	5+505	5+520
13	5+871	5+927

Tabla 6

3.2.4.2 Cuneta margen izquierdo

Tramo	P.K Inicio	P.K Fin
1	0+000	0+008
2	0+332	0+830
3	0+932	1+019
4	1+025	1+827
5	1+832	2+287
6	2+290	2+880
7	2+894	3+191
8	3+198	3+608
9	3+614	4+268
10	4+274	5+274
11	5+497	5+502
12	5+505	5+520
13	5+668	5+758
14	5+770	5+968

Tabla 7

3.2.5 Cuneta de coronación de terraplén

Estos son los tramos en los que el talud de terraplén supera los 4 metros de altura y por lo tanto se coloca este tipo de cuneta para preservar el talud.

3.2.5.1 Cuneta margen derecho

Tramo	P.K Inicio	P.K Fin
1	0+528	0+788
2	0+968	2+648
3	4+928	4+988

Tabla 8

3.2.5.2 Cuneta margen izquierdo

Tramo	P.K Inicio	P.K Fin
1	0+528	0+808
2	0+968	1+788
3	1+928	2+668
4	4+028	4+108

Tabla 9

3.2.6 Bajante de terraplén

Su ubicación viene determinada por los tramos de cuneta de coronación de terraplén, debiéndose colocar cada 30 metros tal y como recomienda la instrucción de carreteras 5.2 IC. A continuación se detallan los puntos kilómetros a partir de los cuales arranca la bajante de terraplén.

Marge Izquierdo		Margen Derecho	
Tramo	P.K	Tramo	P.K
1	0+558	1	0+558
2	0+588	2	0+588
3	0+618	3	0+618
4	0+648	4	0+648
5	0+678	5	0+678
6	0+708	6	0+708
7	0+738	7	0+738
8	0+768	8	0+768
9	0+798	9	0+998
10	0+998	10	1+028
11	1+028	11	1+058
12	1+058	12	1+088
13	1+088	13	1+118
14	1+118	14	1+148
15	1+148	15	1+178
16	1+178	16	1+208
17	1+208	17	1+238
18	1+238	18	1+268
19	1+268	19	1+298
20	1+298	20	1+328
21	1+328	21	1+358
22	1+358	22	1+388
23	1+388	23	1+418
24	1+418	24	1+448
25	1+448	25	1+478
26	1+478	26	1+508
27	1+508	27	1+538
28	1+538	28	1+568
29	1+568	29	1+598
30	1+598	30	1+628
31	1+628	31	1+658
32	1+658	32	1+688
33	1+688	33	1+718
34	1+718	34	1+748
35	1+748	35	1+778

Marge Izquierdo		Margen Derecho	
Tramo		Tramo	P.K
36	1+778	36	1+808
37	1+958	37	1+838
38	1+988	38	1+868
39	2+018	39	1+898
40	2+048	40	1+928
41	2+078	41	1+958
42	2+108	42	1+988
43	2+138	43	2+018
44	2+168	44	2+048
45	2+198	45	2+078
46	2+228	46	2+108
47	2+258	47	2+138
48	2+288	48	2+168
49	2+318	49	2+198
50	2+348	50	2+228
51	2+378	51	2+258
52	2+408	52	2+288
53	2+438	53	2+318
54	2+468	54	2+348
55	2+498	55	2+378
56	2+528	56	2+408
57	2+558	57	2+438
58	2+588	58	2+468
59	2+618	59	2+498
60	2+648	60	2+528
61	4+058	61	2+558
62	4+088	62	2+588
		63	2+618
		64	4+958

Tabla 10

4. CÁLCULOS HIDRÁULICOS

En este apartado se justifica el correcto funcionamiento de la red de drenaje diseñada, para ello seguimos las comprobaciones pertinentes de la instrucción de carreteras 5.2 IC de drenaje superficial.

4.1 Datos de partida

Como datos de partida tomamos los caudales facilitados en el anejo 06 hidrológico para un periodo de retorno de 100 años, teniendo en cuenta los puntos de intersección con la plataforma.

El siguiente dato necesario es conocer el posible caudal que se puede generar en la propia plataforma y sus márgenes. Para ello realizamos un cálculo sencillo usando los datos hidrológicos con periodo de retorno de 50 años. Con una estimación de área total de plataforma y márgenes de desmonte y terraplén de 0,1744 km², se obtiene un caudal total de 11,672m³/s. Dicho caudal será utilizado a la hora de realizar los cálculos, generando un valor de caudal por metro lineal, consecuencia de dividir el caudal anteriormente obtenido entre la longitud total de tramo (6028,5m).

Con el nuevo valor de 0,001936 m³/s/m realizamos la estimación del posible caudal por lluvia en plataforma y márgenes según la longitud de los tramos.

4.2 Drenaje longitudinal

El proceso de cálculo para este tipo de drenaje consiste en comprobar inicialmente las pendientes y caudales a soportar por cada uno de los tramos, de esta manera observar cual es el tramo crítico y en función a este presentar el diseño, posteriormente se comprueba el correcto funcionamiento según los cálculos teóricos.

Al final de este punto se presentan las tablas correspondientes al funcionamiento de todos los tramos para cada tipo de cuneta con las dimensiones escogidas.

Mediante los cálculos buscamos superar en cada tramo el caudal de diseño, evitando siempre velocidades superiores a 6 m/s por motivos de erosión. Es aconsejable mantener velocidades superiores a 1 m/s para evitar sedimentación, pero tal y como indica la instrucción 5.2 IC en su apartado 3.6.3 esta velocidad podrá admitirse en inferior en cunetas cuando la pendiente sea inferior al 1%.

Al final de este apartado se proporciona una serie de tablas donde se puede observar el funcionamiento de todos los tramos para cada tipo de cuneta con las dimensiones finalmente escogidas.

Se hace uso de la instrucción de carretera 5.2 IC en la que se recomienda el uso de la fórmula de Manning-Strickler:

$$Q = V \cdot S = S \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \cdot K$$

Siendo:

- Q = El caudal desaguado en m³/s
- V = La velocidad media de la corriente en m/s
- S = El área de su sección en m²
- R = El radio hidráulico que es igual a S/p
 - P = perímetro mojado en m
- J = La pendiente longitudinal del elemento
- K = Coeficiente de rugosidad, dado por la tabla 4.1 de la instrucción.

Teniendo en cuenta que las variables S, R y P dependen del calado mojado de la sección, convierten el trabajo de búsqueda de un diseño adecuado en un proceso iterativo hasta dar con un resultado aceptable.

El factor K considerado es de 70 tal y como indica la tabla 4.1 de la instrucción el valor asignado a revestimiento bituminoso oscila entre 65 y 75.

Para todas estas tablas tipo de comprobaciones hidráulicas, tanto la anchura como la altura vienen dadas como luces libres. Todas las unidades de medida se expresan en metros.

4.2.1 Cuneta de pie de desmonte

Debido a las diferencias anteriormente comentadas en la descripción, se realizan cálculos separados por margen derecho e izquierdo.

4.2.1.1 Margen derecho

La pendiente considerada en este caso es la misma de la plataforma, ya que este sigue la misma pendiente.

El caudal de cuencas corresponde al caudal que recoge el tramo por la existencia de una cuenca que intersecta con el tramo o bien, por acumulación del tramo anterior.

El caudal pm corresponde al aportado por la plataforma y márgenes, considerando como márgenes los taludes, como en el caso anterior corresponde por caudal del propio tramo y acumulación con el anterior si lo hubiese.

El caudal del diseño se considera una suma entre el caudal de cuencas y el caudal de plataforma y márgenes.

Tramo	P.K Inicio	P.K Fin	Pendiente (%)	Q cuencas (m³/s)	Q pm (m³/s)	Q diseño (m³/s)
1	0+000	0+385	0,377%	0,000	0,373	0,373
2	0+398	0+451	0,377%	0,000	0,437	0,437
3	0+811	0+912	0,377%	5,206	0,883	6,089
4	2+882	2+894	0,377%	0,000	0,017	0,017
5	5+205	5+499	0,307%	7,337	0,285	7,622
6	5+520	5+871	0,307%	6,409	0,395	6,804
7	5+927	6+026	0,307%	0,000	0,095	0,095

Tabla 11

El tramo más crítico es el 5 debido al caudal que requiere para su correcto funcionamiento, así que los criterios de diseño en cuanto a capacidad serán estudiados en primer lugar para este tramo.

Sección	Rectangular
Altura	1,6
Anchura	2
Calado	1,41
J	0,307%
S	2,82
P	4,82
R	0,58506224
K	70
Q diseño	7,62
Q (m³/s)	7,65
V (m/s)	2,71

Tabla 12

Con en este tipo de dimensiones cumple con el caudal, manteniendo la velocidad dentro de los márgenes. La decisión de la altura final de la cuneta se obtiene con el criterio de dar un incremento de resguardo del 10% cuando se observa un comportamiento en pendiente lento, y del 50% cuando se observa en pendiente fuerte.

Los diferentes valores en cuanto a régimen, calado crítico y otra información consta en las tablas del apartado 4.2.7.

4.2.1.2 Margen izquierdo

El proceso de búsqueda de un diseño concreto es el mismo, a continuación mostramos los datos base a los cuales nos adaptaremos.

Tramo	P.K Inicio	P.K Fin	Pendiente (%)	Q cuencas (m³/s)	Q pm (m³/s)	Q diseño (m³/s)
1	0+008	0+332	0,377%	0,000	0,314	0,314
2	0+830	0+932	0,377%	0,000	0,895	0,895
3	2+880	2+894	0,377%	0,000	0,015	0,015
4	5+274	5+497	0,377%	0,000	0,216	0,216
5	5+520	5+688	0,307%	0,000	0,164	0,164
6	5+758	5+770	0,307%	0,000	0,012	0,012
7	5+968	6+026	0,307%	0,000	0,056	0,056

Tabla 13

Tal y como se observa en la tabla 13 en el margen izquierdo no contemplamos la existencia de cuencas que viertan a la cuneta. Este motiva condiciona un menor tamaño para las cunetas de este lado con respecto al margen derecho.

El tramo crítico corresponde al tramo 2, debido a su caudal de diseño, será con este con el que realizamos los cálculos.

Sección	Rectangular
Altura	0,8
Anchura	0,8
Calado	0,66
J	0,377%
S	0,528
P	2,12
R	0,2490566
K	70
Q diseño	0,90
Q (m³/s)	0,90
V (m/s)	1,70

Tabla 14

Por similitud de condiciones en este tramos con la cuneta de pie de terraplén del margen izquierdo, se opta por usar el mismo diseño que el de esta última, ya que las zonas de desmonte son mucho menores y de esta manera simplificamos la puesta en obra y conexión de tramos.

4.2.2 Cuneta de guarda

Para este tipo de cuneta, se ha optado por realizar una estimación del caudal que esta pueda recoger, ya que solo se encuentra en el margen derecho se tiene en cuenta que la existencias de cuencas, pero se observa que no recibe una captación directa de estas. No es relevante la longitud de los tramos ya que dichas cunetas disponen de bajantes a las que trasladaran su caudal hasta la cuneta de pie de desmonte. Optamos pues por un caudal de diseño de 0,5 m³/s en el punto más desfavorable considerado el tramo 4, por la cercanía de la cuneta con intersección de cuenca. Para el resto se considera un caudal de 0,2 m³/s.

No obstante, se recuerda que el caudal sobrepase la estimación realizada, dicho caudal sobrante será interceptado por la cuneta de pie de desmonte, con lo que no se estima riesgo de inundación en la plataforma.

Tramo	P.K Inicio	P.K Fin	Pendiente (%)	Q diseño (m³/s)
1	0+000	0+385	5,900%	0,200
2	0+398	0+451	0,300%	0,200
3	2+882	2+894	0,300%	0,200
4	5+205	5+499	4,000%	0,200
5	5+520	5+871	2,700%	0,500
6	5+927	6+026	1,700%	0,200

Tabla 15

El diseño en cuanto a capacidad nos lo marca los tramos 2 y 3, a pesar de tener un menor caudal su pendiente requiere unas mayores dimensiones, además es necesario ver el comportamiento del tramo 1 por su elevada pendiente y el tramo 5 por su caudal. Tras iteraciones en las dimensiones con el tramo 2 se obtiene el siguiente diseño.

Sección	Rectangular
Altura	0,4
Anchura	0,6
Calado	0,31
J	0,300%
S	0,186
P	1,22
R	0,15245902
K	70
Q diseño	0,20
Q (m³/s)	0,20
V (m/s)	1,09

Tabla 16

Con esta sección de 0,35 de altura libre sobrepasamos en 10% el máximo calado esperado según el estudio realizado.

4.2.3 Bajante de desmonte

Debido a que esta cuneta recoge el caudal proveniente de la cuneta de guarda el caudal estimado que esta debe tener capacidad de conducir será el mismo. El problema que presenta este tipo de bajante es la pendiente, ya que este talud es 1:1, para solucionarlo hemos optado por colocar la unidades de bajante de forma escalonada, reduciendo así significativamente la pendiente media.

Sección	Rectangular
Altura	0,4
Anchura	0,4
Calado	0,21
J	15,000%
S	0,084
P	0,82
R	0,10243902
K	70
Q diseño	0,50
Q (m³/s)	0,50
V (m/s)	5,94

Tabla 17

Tras reducir la pendiente colocando la bajante escalonadamente tenemos una velocidad elevado cercana al límite propuesto por la instrucción 5.2 IC. Se ha de tener en cuenta que la cuneta de pie de desmonte debe de tener un revestimiento lo suficientemente resistente para la conexión con estas bajantes.

4.2.4 Cuneta de pie de terraplén

Una vez se requiere una distinción entre margen derecho e izquierdo.

4.2.4.1 Margen derecho

Tomando como datos de partida los caudales de cuencas interceptada en cada tramo, el correspondiente al de lluvia de plataforma y márgenes en función de la longitud del tramo y el posible caudal adoptado por la anterior cuneta de pie de desmonte.

Tramo	P.K Inicio	P.K Fin	Pendiente (%)	Q cuencas (m³/s)	Q pm (m³/s)	Q diseño (m³/s)
1	0+385	0+398	0,20%	0,000	0,385	0,385
2	0+451	0+811	1,50%	5,206	0,785	5,991
3	0+912	1+019	3,00%	5,206	0,990	6,196
4	1+025	1+827	0,50%	8,986	0,782	9,768
5	1+832	2+287	0,85%	7,830	0,445	8,275
6	2+290	2+882	0,75%	5,926	0,575	6,501
7	2+894	3+191	0,30%	0,000	0,283	0,283
8	3+198	3+608	0,20%	5,483	0,406	5,889
9	3+614	4+268	0,50%	5,578	0,639	6,217
10	4+274	5+205	0,50%	7,337	1,194	8,531
11	5+499	5+502	2,00%	7,337	0,004	7,341
12	5+505	5+520	2,00%	6,409	0,411	6,820
13	5+871	5+927	3,70%	0,000	0,055	0,055

Tabla 18

El tramo que condiciona las dimensiones de la cuneta en este caso es el 8, debido a la baja pendiente y su caudal. El tramo numero 4 posee el mayor caudal de diseño, pero con su pendiente requiere menor dimensión que el 8.

Realizando las comprobaciones con el tramo 8 obtenemos la tabla 19.

Sección	Rectangular
Altura	1,6
Anchura	2
Calado	1,36
J	0,200%
S	2,72
P	4,72
R	0,57627119
K	70
Q diseño	5,89
Q (m³/s)	5,90
V (m/s)	2,17

Tabla 19

Debido a que las necesidades de diseño de cuneta son similares a las de la cuneta de pie de desmonte, optamos por usar el mismo tipo de cuneta, que como podemos comprobar cumple las condiciones requeridas.

De este modo simplificamos la puesta en obra, unificando un único tipo de cuneta en pie de talud y la fácil conexión de las zonas de transición de taludes.

4.2.4.2 Margen izquierdo

Para este margen los caudales son determinados por la lluvia de plataforma y márgenes en función de su longitud tal y como se explica en el apartado 3.1 de este anejo. Se tienen en cuenta las posibles acumulaciones de caudal por conexión con cuneta de pie de desmonte.

Tramo	P.K Inicio	P.K Fin	Pendiente (%)	Q cuencas (m³/s)	Q pm (m³/s)	Q diseño (m³/s)
1	0+000	0+008	2,90%	0,000	0,385	0,385
2	0+332	0+830	0,50%	0,000	0,785	0,785
3	0+932	1+019	5,20%	0,000	0,990	0,990
4	1+025	1+827	0,80%	0,000	0,782	0,782
5	1+832	2+287	0,85%	0,000	0,445	0,445
6	2+290	2+880	0,20%	0,000	0,575	0,575
7	2+894	3+191	0,20%	0,000	0,285	0,285
8	3+198	3+608	0,20%	0,000	0,406	0,406
9	3+614	4+268	0,40%	0,000	0,639	0,639
10	4+274	5+274	0,40%	0,000	0,971	0,971
11	5+497	5+502	5,00%	0,000	0,006	0,006
12	5+505	5+520	3,70%	0,000	0,015	0,015
13	5+668	5+758	0,60%	0,000	0,068	0,068
14	5+770	5+968	1,80%	0,000	0,191	0,191

Tabla 20

En este caso el tramo 10 se presenta como el más crítico por combinación entre el caudal de diseño y la baja pendiente. Tomando este como referencia se procede a realizar los cálculos de comprobación.

Sección	Rectangular
Altura	0,8
Anchura	0,8
Calado	0,69
J	0,400%
S	0,552
P	2,18
R	0,25321101
K	70
Q diseño	0,97
Q (m³/s)	0,98
V (m/s)	1,77

Tabla 21

Una vez más, por la semejanza de las condiciones, utilizamos el mismo tipo de cuneta que en el caso de cuenta de pie de desmonte para el mismo margen en cuestión.

De tal manera concluimos un tipo de cuneta para margen izquierdo tanto en pie de desmonte como terraplén, y otro tipo de cuneta para el margen derecho en los casos de cuneta de pie de desmonte y terraplén.

4.2.5 Cuneta de coronación de terraplén

Con esta cuneta los cálculos a ambos márgenes se igualan, ya que los caudales no varían tanto de un margen a otro, en este caso ambos márgenes recogen el caudal de lluvia que se pueda generar en la superficie de la plataforma.

Debido a que este tipo de cuneta dispone de bajantes cada 30 metros por recomendación de la instrucción de carreteras 5.2 IC el caudal a considerar es relativamente pequeño. Tras una estimación en base al área de la plataforma y longitudes de este tipo de cuneta se estima el máximo caudal con un valor de 0,0285 m³/s.

En caso de que el caudal sobrepase el estimado, este fluirá hasta la cuneta de pie de terraplén sin suponer un riesgo de inundación para la plataforma.

Margen	Tramo	P.K Inicio	P.K Fin	Pendiente (%)	Q diseño (m³/s)
Izquierdo	1	0+528	0+808	0,38%	0,285
Izquierdo	2	0+968	1+788	0,38%	0,285
Izquierdo	3	1+928	2+668	0,38%	0,285
Izquierdo	4	4+028	4+108	0,31%	0,285
Derecho	1	0+528	0+788	0,38%	0,285
Derecho	2	0+968	2+648	0,38%	0,285
Derecho	3	4+928	4+988	0,31%	0,285

Tabla 22

Las más desfavorables son aquellas con menor pendiente, condicionado por la pendiente de la plataforma, los tramos 4 izquierdo y 3 derechos. Se realiza los cálculos para esta pendiente.

Sección	Rectangular
Altura	0,25
Anchura	0,2
Calado	0,22
J	0,307%
S	0,044
P	0,64
R	0,06875
K	70
Q diseño	0,03
Q (m³/s)	0,03
V (m/s)	0,65

Tabla 23

Para el diseño de esta cuneta hemos optado por las dimensiones mínimas que permite la N.R.V 2.1.1.0, que como podemos observar sirven para dar servicio al caudal estimado.

4.2.6 Bajante de terraplén

El dimensionado de este tipo de bajantes se realiza con el uso de caudal de diseño igual al utilizado para cuneta de coronación de terraplén, ya que estas bajantes se encargan de conducir este caudal hasta la cuneta de pie de terraplén. Dicho caudal es 0,0285 m³/s.

En este caso no planteamos la observación de los diferentes tramos, ya que se consideran todos iguales con la pendiente propia del talud de terraplén 2V:3H.

En este diseño hemos optado por una sección de tipo triangular, donde por cuestiones de sección algunos de cálculos varían tal y como se explican a continuación:

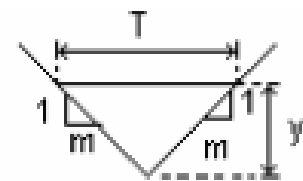


Ilustración 1

- Calculo del área mojada:
 - $S = m \cdot y^2$
- Calculo del perímetro mojado
 - $P = 2 \cdot y \cdot \sqrt{1 + m^2}$

Procediendo directamente con el diseño para los datos de partida mencionado obtenemos la tabla 24

Sección	Triangular
Altura	0,19
T	0,1
m	0,4
Calado (y)	0,125
J	66,67%
S	0,00625
P	0,26925824
R	0,023211917
K	70
Q diseño	0,0285
Q (m³/s)	0,03
V (m/s)	4,65

Tabla 24

A causa de la pronunciada pendiente, la velocidad aumenta pero no sobrepasamos el límite de los 6 m/s a partir de los cuales se puede considerar problemas de erosión en superficies de hormigón revestido.

Debido a estos factores la altura libre para la bajante dispone de más de un 50% del calado estimado, para evitar riesgos de desbordamiento del agua en dichas bajantes.

4.2.7 Tablas de funcionamiento de cunetas

4.2.7.1 Cuneta de pie de desmonte

Margen derecho									
Tramo	Ancho (m)	Calado Mojado (m)	Pendiente (%)	Calado Critico (m)	Nº Froude	Régimen	V (m/s)	Q diseño (m³/s)	Q (m³/s)
1	2,00	0,17	0,38%	0,16	0,71	Lento	1,19	0,37	0,40
2	2,00	0,18	0,38%	0,17	0,70	Lento	1,23	0,44	0,44
3	2,00	1,10	0,38%	0,99	0,26	Lento	2,79	6,09	6,14
4	2,00	0,03	0,38%	0,02	1,38	Rápido	0,41	0,02	0,02
5	2,00	1,41	0,31%	1,14	0,20	Lento	2,71	7,62	7,65
6	2,00	1,29	0,31%	1,06	0,21	Lento	2,65	6,80	6,83
7	2,00	0,08	0,31%	0,07	0,87	Lento	0,68	0,10	0,11

Tabla 25

Margen izquierdo									
Tramo	Ancho (m)	Calado Mojado (m)	Pendiente (%)	Calado Critico (m)	Nº Froude	Régimen	V (m/s)	Q diseño (m³/s)	Q (m³/s)
1	0,80	0,30	0,38%	0,25	0,45	Lento	1,33	0,31	0,32
2	0,80	0,66	0,38%	0,50	0,26	Lento	1,70	0,90	0,90
3	0,80	0,04	0,38%	0,03	1,20	Rápido	0,47	0,02	0,02
4	0,80	0,23	0,38%	0,20	0,53	Lento	1,19	0,22	0,22
5	0,80	0,21	0,31%	0,17	0,50	Lento	1,03	0,16	0,17
6	0,80	0,04	0,31%	0,03	1,09	Rápido	0,43	0,01	0,01
7	0,80	0,10	0,31%	0,08	0,73	Lento	0,72	0,06	0,06

Tabla 26

El diseño dispone de la capacidad necesaria para abordar los caudales de todos los tramos, el inconveniente es la escasa velocidad de alguno de los tramos, que tal y como indica la instrucción de carreteras 5.2 en su apartado 3.6.3 justificado por pendientes inferiores al 1%.

4.2.7.2 Cuneta de guarda

Margen derecho									
Tramo	Ancho (m)	Calado Mojado (m)	Pendiente (%)	Calado Critico (m)	Nº Froude	Régimen	V (m/s)	Q diseño (m³/s)	Q (m³/s)
1	0,60	0,11	5,90%	0,23	2,94	Rápido	3,17	0,20	0,21
2	0,60	0,31	0,30%	0,23	0,36	Lento	1,09	0,20	0,20
3	0,60	0,31	0,30%	0,23	0,36	Lento	1,09	0,20	0,20
4	0,60	0,10	4,00%	0,24	3,67	Rápido	3,59	0,20	0,22
5	0,60	0,27	2,70%	0,42	1,18	Rápido	3,13	0,50	0,51
6	0,60	0,17	1,70%	0,23	1,25	Rápido	2,08	0,20	0,21

Tabla 27

4.2.7.3 Cuneta de pie de terraplén

Margen derecho									
Tramo	Ancho (m)	Calado Mojado (m)	Pendiente (%)	Calado Critico (m)	Nº Froude	Régimen	V (m/s)	Q diseño (m³/s)	Q (m³/s)
1	2,00	0,21	0,20%	0,16	0,47	Lento	0,97	0,39	0,41
2	2,00	0,68	1,50%	1,01	0,70	Lento	4,69	5,99	6,38
3	2,00	0,53	3,00%	1,01	1,15	Rápido	5,98	6,20	6,34
4	2,00	1,42	0,50%	1,35	0,25	Lento	3,47	9,77	9,85
5	2,00	1,02	0,85%	1,21	0,41	Lento	4,09	8,28	8,35
6	2,00	0,89	0,75%	1,03	0,42	Lento	3,67	6,50	6,53
7	2,00	0,15	0,30%	0,13	0,67	Lento	0,99	0,28	0,30
8	2,00	1,36	0,20%	0,96	0,16	Lento	2,17	5,89	5,90
9	2,00	1,00	0,50%	1,00	0,32	Lento	3,12	6,22	6,24
10	2,00	1,27	0,50%	1,23	0,27	Lento	3,36	8,53	8,54
11	2,00	0,68	2,00%	1,11	0,81	Lento	5,42	7,34	7,37
12	2,00	0,65	2,00%	1,07	0,84	Lento	5,32	6,82	6,92
13	2,00	0,03	3,70%	0,05	4,34	Rápido	1,27	0,05	0,08

Tabla 28

Margen izquierdo									
Tramo	Ancho (m)	Calado Mojado (m)	Pendiente (%)	Calado Critico (m)	Nº Froude	Régimen	V (m/s)	Q diseño (m³/s)	Q (m³/s)
1	0,80	0,17	2,90%	0,29	1,73	Rápido	2,89	0,39	0,39
2	0,80	0,54	0,50%	0,47	0,35	Lento	1,86	0,79	0,80
3	0,80	0,27	5,20%	0,55	1,79	Rápido	4,73	0,99	1,02
4	0,80	0,45	0,80%	0,47	0,50	Lento	2,22	0,78	0,80
5	0,80	0,29	0,85%	0,32	0,69	Lento	1,97	0,45	0,46
6	0,80	0,60	0,20%	0,38	0,21	Lento	1,21	0,58	0,58
7	0,80	0,35	0,20%	0,24	0,30	Lento	1,02	0,28	0,29
8	0,80	0,46	0,20%	0,30	0,25	Lento	1,12	0,41	0,41
9	0,80	0,50	0,40%	0,41	0,33	Lento	1,62	0,64	0,65
10	0,80	0,69	0,40%	0,53	0,26	Lento	1,77	0,97	0,98
11	0,80	0,02	5,00%	0,04	5,70	Rápido	1,12	0,01	0,02
12	0,80	0,02	3,70%	0,03	4,90	Rápido	0,96	0,01	0,02
13	0,80	0,09	0,60%	0,09	1,08	Rápido	0,95	0,07	0,07
14	0,80	0,13	1,80%	0,19	1,57	Rápido	2,00	0,19	0,21

Tabla 29

4.2.7.4 Cuneta de coronación de terraplén

Margen derecho									
Tramo	Ancho (m)	Calado Mojado (m)	Pendiente (%)	Calado Critico (m)	Nº Froude	Régimen	V (m/s)	Q diseño (m³/s)	Q (m³/s)
1	0,20	0,21	0,38%	0,13	0,35	Lento	0,71	0,03	0,03
2	0,20	0,21	0,38%	0,13	0,35	Lento	0,71	0,03	0,03
3	0,20	0,22	0,31%	0,13	0,30	Lento	0,65	0,03	0,03

Tabla 30

Izquierdo									
Tramo	Ancho (m)	Calado Mojado (m)	Pendiente (%)	Calado Critico (m)	Nº Froude	Régimen	V (m/s)	Q diseño (m³/s)	Q (m³/s)
1	0,20	0,21	0,38%	0,13	0,35	Lento	0,71	0,03	0,03
2	0,20	0,21	0,38%	0,13	0,35	Lento	0,71	0,03	0,03
3	0,20	0,21	0,38%	0,13	0,35	Lento	0,71	0,03	0,03
4	0,20	0,22	0,31%	0,13	0,30	Lento	0,65	0,03	0,03

Tabla 31

4.3 Drenaje transversal

Las comprobaciones hidráulicas para el drenaje transversal son de dos tipos, por un lado la comprobación de caudales y velocidades de una forma muy similar a la usada en el drenaje longitudinal, y por otro lado, la comprobación del control de entrada, que viene a determinar que el elemento en cuestión cumple las condiciones adecuadas en cuanto a sobre-elevación de la lámina de agua.

No se aprecian problemas de espacio en los taludes, ya que al tratarse de acequias las cotas están por debajo del terreno, y teniendo en cuenta que en las zonas con obra de drenaje transversal la plataforma se encuentra en terraplén, nos proporciona un gran margen de altura para los marcos.

4.3.1 Cálculo de caudales

Mediante el seguimiento de las indicaciones propuestas en la instrucción 5.2 I.C, con lo cálculos pertinentes comprobamos que dispones de un caudal calculado mayor al de diseño, y que las velocidades para este tipo de obra no superen el valor de 6 m/s por motivos de erosión ni bajen de 1 m/s por aterramientos y sedimentación

Para el drenaje transversal realizamos los cálculos mediante la fórmula de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot S \cdot R^{2/3} \cdot J^{\frac{1}{2}}$$

Siendo las variables ya conocidas usadas en la fórmula de Manning- Strickler, a excepción de la aparición de la variable n, muy similar a la variable K.

n = Coeficiente de rugosidad

Para las obras de drenaje transversal, de hormigón armado prefabricado se ha optado por el uso de un valor para n igual a 0,014.

Como en el caso anterior, se procede a realizar un estudio de las condiciones para cada uno de los elementos de drenaje transversal, en función de las cuencas que debe asumir y de la cantidad de pluviales de plataforma y márgenes. En la tabla 32 se muestra como caudal de diseño el caudal correspondiente a la suma total que le corresponde.

Obra	P.K	Tipo	Pendiente (%)	cuencas	Q diseño
O.D.T 1	1+020,5	Marco	-	15 y 16	39,07
O.D.T 1*	1+023,5	Marco	-	15 y 16	39,07
O.D.T 2 (Riera de la Païssa)	1+829	Marco	0,20%	13 y 14	26,66
O.D.T 3	2+288	Marco	-	10,11 y 12	15,85
O.D.T 4 (Riera de la salut)	2+898	Marco	0,20%	9	6,93
O.D.T 5 (La Primera Riereta)	3+194	Marco	0,20%	8	62,50
O.D.T 6 (Torrent del terme)	3+611	Marco	0,20%	5,6 y 7	17,26
O.D.T 7	4+269,5	Marco	-	3 y 4	22,36
O.D.T 7*	4+272,5	Marco	-	3 y 4	22,36
O.D.T 8 (Riera d'en Bonet)	5+503	colector	1,40%	1 y 2	23,9

Tabla 32

En la tabla 32 se muestran las diferentes obras de drenaje transversal, mostrando aquellas con “*” para especificar que se trata de un doble marco. Esto se ha decidido para alcanzar las medidas necesarias utilizando marcos prefabricados.

Para estas obras duplicadas por tratarse de marco doble, el caudal de diseño se reparte a partes iguales.

Se indican las pendientes correspondientes a aquellas obras de drenaje transversal ya existentes, es decir nuestra obra consiste en dar continuidad a dichas obras con una conexión al drenaje longitudinal de la plataforma.

De tal modo, que las comprobaciones serán de dimensionamiento para los nuevos marcos, y de verificación de capacidad de las acequias existentes, para la evacuación de los caudales señalados en la tabla 32.

Cabe mencionar que las acequias existentes, que en este TFG se toman como parte del diseño de la red drenaje, están construidas con secciones rectangulares de hormigón, por este motivo nuestros marcos en estos puntos se adaptan perfectamente a la acequia.

4.3.1.1 O.D.T 1 (Marco doble)

La idea consiste en utilizar dos marcos rectangulares que se adaptaran a la sección del previsto nuevo encauzamiento. Para dicho cálculo empleamos un único marco con caudal de diseño igual al 50% del total, ambos marcos tendrán las mismas características.

Mediante proceso de iteración con las medidas y calado llegamos al siguiente resultado capaz de albergar el caudal de diseño.

Sección	Rectangular
Altura	3
Anchura	3
Calado	2,2
J	0,800%
S	6,6
P	7,4
R	0,89189189
n	0,014
Q diseño	39,07
Q (m³/s)	39,07
V (m/s)	5,92

Tabla 33

Se puede observar una velocidad elevada, sin llegar a nuestro límite establecido de 6 m/s para evitar erosión, pero debe recordarse que estas velocidades elevadas se producen en el caso más desfavorable para periodo de retorno de 100 años, es decir, estas no van a ser las condiciones habituales.

4.3.1.2 O.D.T 2 (Riera de la Païssa)

Aquí los cálculos se basan en comprobar si dicha acequia, ya existente, tiene la capacidad de albergar el caudal de diseño estimado. Para este tipo de casos la pendiente es la misma de la acequia, ya que el marco busca adaptarse completamente a la acequia sin suponer un obstáculo de ningún tipo.

Sección	Rectangular
Altura	2,5
Anchura	5
Calado	1,7
J	0,200%
S	8,5
P	8,4
R	1,01190476
n	0,014
Q diseño	26,66
Q (m³/s)	27,37
V (m/s)	3,22

Tabla 34

La acequia cumple con los requisitos del diseño si tenemos en cuenta que la acequia cuenta con un calado a lo largo de su recorrido de 2m, lo que le deja un resguardo superior a 30 centímetros.

4.3.1.3 O.D.T 3

Partimos de nuevo con un marco en el cual podemos definir una pendiente acorde a nuestras necesidades, de modo iterativo hasta alcanzar el caudal deseado.

Sección	Rectangular
Altura	2
Anchura	3
Calado	1,1
J	1,000%
S	3,3
P	5,2
R	0,63461538
n	0,014
Q diseño	15,85
Q (m³/s)	17,41
V (m/s)	5,27

Tabla 35

4.3.1.4 O.D.T 4 (Riera de la salut)

Esta obra de drenaje transversal es la que menos margen de altura no nos proporciona, debido a que parte del tramo se encuentra cercana a un tramo de desmonte. No obstante, la acequia dispone de un calado de 2,5 metros de altura, con lo cual no presenta un problema en el diseño de marco para cumplir el caudal de diseño.

Sección	Rectangular
Altura	2,5
Anchura	7
Calado	0,6
J	0,200%
S	4,2
P	8,2
R	0,51219512
n	0,014
Q diseño	6,93
Q (m³/s)	8,59
V (m/s)	2,04

Tabla 36

Una observación que se hace de esta obra, es que el caudal de diseño es muy bajo, ya que solo acoge una pequeña cuenca que es la 9, sin embargo, las dimensiones de la acequia existente tienen capacidad para adoptar caudales mayores. Por este motivo el calado considerado es muy bajo, lo que asegura aún más el resguardo con la plataforma.

4.3.1.5 O.D.T 5 (La Primera Riereta)

Esta obra de drenaje transversal dispone de una anchura de 3 metros y un calado de 2 metros, lo cual es insuficiente para captar el caudal de diseño establecido. Se considera la hipótesis de una ampliación de dicha acequia pasando de una anchura de 3 a 8 metros y un calado de 2 a 2,5 metros. Dicha ampliación no se diseña en este TFG pero sí que se especifica que se hará a partir de su margen norte, con el fin de no perjudicar al camino existente en su margen sur.

Teniendo en cuenta las nuevas dimensiones los cálculos quedan tal y como indica la tabla 37.

Sección	Rectangular
Altura	3
Anchura	8
Calado	2,1
J	0,200%
S	16,8
P	12,2
R	1,37704918
n	0,014
Q diseño	62,50
Q (m³/s)	66,42
V (m/s)	3,95

Tabla 37

Con estas condiciones la acequia ya es capaz de proporcionar una red de drenaje apta a las condiciones y seguimos manteniendo un resguardo correcto.

4.3.1.6 O.D.T 6 (Torrent del Terme)

Sección	Rectangular
Altura	2,5
Anchura	6
Calado	1,1
J	0,200%
S	6,6
P	8,2
R	0,80487805
n	0,014
Q diseño	17,26
Q (m³/s)	18,24
V (m/s)	2,76

Tabla 38

Una vez más nos encontramos con una acequia capaz de abarcar más caudal que el necesario, pero cumple perfectamente con las condiciones de velocidad adoptadas.

4.3.1.7 O.D.T (Marco doble)

Situación similar a la O.D.T 1, donde el caudal de diseño hace necesario la implantación de un doble marco para cumplir las dimensiones necesarias para evacuar el caudal de diseño.

Para los cálculos se considera únicamente uno de los marcos con un caudal de diseño igual al 50% del total. Ambos marcos serán de las mismas dimensiones y pendiente.

Sección	Rectangular
Altura	2,5
Anchura	3
Calado	1,4
J	1,000%
S	4,2
P	5,8
R	0,72413793
n	0,014
Q diseño	22,36
Q (m³/s)	24,19
V (m/s)	5,76

Tabla 39

Para ambas obras de drenaje de doble marco, ha de tenerse en cuenta que la pendiente planteada viene determinada para cumplir las condiciones pertinentes de control de entrada. Esto no significa que la pendiente de la acequia de futura construcción tenga está pendiente, con lo cual será necesario de una zona de transición con su correspondiente estudio que no se estima en este TFG.

4.3.1.8 O.D.T 8 Colector (Riera d'en Bonet)

Este colector parte de la hipótesis de su existencia conectando con la acequia Riera d'en Bonet, no obstante no tenemos los datos suficientes ni para asegurar su existencia ni su dimensionamiento.

De tal modo tanto las dimensiones como su pendiente se han adoptado en base a nuestras necesidades, como hipótesis de que estas fuesen las reales.

En esta ocasión nos encontramos con una sección de tipo circular, con lo cual en el siguiente grafico explicamos cuales son los parámetros para este tipo de sección.

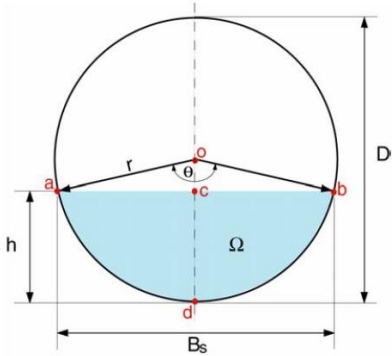


Ilustración 2

- Siendo:
- D = Diámetro Interno de la conducción.
 - θ = ángulo que forman las aristas adonde llega el líquido con el centro de la sección circular, es decir el ángulo formado por los puntos aob.
 - Ω = Área Mojada del escurrimiento, es decir el área encerrada al recorrer los puntos según el camino acbda.

Como cálculo del área mojada se emplea la fórmula:

$$\Omega = \frac{D^2}{8} \cdot \left(\frac{\pi}{180} \cdot \theta^0 - \text{SEN } \theta \right)$$

El cálculo del radio hidráulico sigue la misma fórmula ya expresada en este anejo, siendo igual al cociente entre el área mojada y el perímetro mojado. Para el cálculo del perímetro mojado la fórmula utilizada es:

$$P = \frac{\pi \cdot D \cdot \theta^0}{360}$$

Para ambas fórmulas las unidades son:

- D = Expresado en metros
- θ = Expresado en grados

El resto de los cálculos sigue la misma metodología anterior.

Mediante el uso de estas fórmulas los resultados obtenidos para esta obra de drenaje se muestran en la tabla 40.

Sección	Circular
Diámetro	3
Ø	214
J	0,590%
Ω	4,830972191
P	5,602506899
R	0,862287593
n	0,014
Q diseño	23,90
Q (m³/s)	24,01
V (m/s)	4,97

Tabla 40

4.3.2 Condiciones de control de entrada

Tal y como indica la normativa 5.2 IC se realiza el proceso de cálculo para asegurar la existencia de un control de entrada en las obras de drenaje transversal, en el caso de la no existencia de control de entrada debe comprobarse el control de salida. Dicho proceso consiste en la comprobación de la sobre elevación de la lámina de agua.

Esta comprobación no será necesaria para aquellas obras de drenaje transversal ya existentes, ya que en ellas solo se basa en dar continuidad a la obra existente. Se realiza esta comprobación para las obras O.D.T 1, 3 y 7.

Para comprobar la existencia de un control de entrada la instrucción utilizamos la figura 5.10 de la instrucción, con la cual determinamos la altura de agua a la entrada (He). Para el uso de dicha figura se emplean los siguientes datos:

- Aletas a menos de 30° con el eje del conducto.
- Caudal específico = $\frac{Q}{\sqrt{g \cdot B \cdot H^{3/2}}}$
 - Q = Caudal desaguado
 - B = Anchura del conducto
 - H = Altura del conducto a la entrada (desde la solera)
 - g = Aceleración de la gravedad (9,81)

La instrucción permite dar como valido la altura de entrada sin necesidad de comprobar la altura a la salida del conducto siempre que se cumpla los siguientes puntos:

- El conducto es recto, y su sección y pendiente son constantes.
- La diferencia del nivel del agua en el cauce a la salida del conducto con la cota de la solera en ésta es inferior, tanto a la altura del conducto como al calado crítico (Yc) en él.
- La relación entre la longitud L y la pendiente J del conducto es inferior a la indicada en las Figura 5.13. de la instrucción. Si la pendiente fuera interior al 0,2 por 100 se podrán realizar los cálculos con este último valor, si bien el nivel del agua obtenido a la entrada deberá incrementarse en (0,002-J)·L..
- El nivel del agua a la entrada del conducto, resultante de los cálculos, no rebasa el señalado en la Figura 5-15 de la instrucción.

Dichos requisitos están expuestos en la tabla 41, donde podemos comprobar que todos se cumplen para cada una de las obras de drenaje transversal.

En dicha tabla se establecen como ciertos los valores los obtenidos a través de las figuras de la instrucción anteriormente citada, dando por correctos dichos valores según indica la instrucción.

Obra	P.K	Ancho	Altura	Calado	Pendiente	Longitud	Q	Q esp.	Yc	Calado<Yc	L/J	L/J (máx.)	L/J < L/J (máx.)	He/H	He	He máx.	He < He máx.
1	1+021,5	3,00	3,00	2,20	0,80%	22,2	39,07	0,80	2,59	APTO	27,75	1300	APTO	1,6	4,8	9	APTO
1*	1+023,5	3,00	3,00	2,20	0,80%	22,2	39,07	0,80	2,59	APTO	27,75	1300	APTO	1,6	4,8	9	APTO
3	2+288	3,00	2,00	1,10	1,00%	16,5	17,41	0,65	1,51	APTO	16,5	910	APTO	1,2	2,4	6	APTO
7	4+269,5	3,00	2,50	1,40	1,00%	20,5	24,19	0,65	1,88	APTO	20,5	950	APTO	1,2	3	7,5	APTO
7*	4+272,5	3,00	2,50	1,40	1,00%	20,5	24,19	0,65	1,88	APTO	20,5	950	APTO	1,2	3	7,5	APTO

* : Obra duplicada (Marco doble) 1

Tabla 41

Dicho criterio ha determinado el diseño, tomando ya como aceptadas este tipo de dimensiones, buscando una homogenización de los tramos para reducir los tipos de cuneta.

En la tabla se puede ver que los marcos cumplen las condiciones indicadas y que la altura a la entrada no supera al máximo que establece la instrucción 5.2 IC, por lo tanto damos los marcos como aptos.

El origen de las acequias previstas para futura construcción conectara con estos marcos prefabricados, siendo este punto de origen una estructura provista con los materiales necesarios para aguantar las condiciones hidráulicas que en ella se den. Dichas condiciones, así como las estructuras no son descritas en este trabajo final de grado, por falta de tiempo para abarcarlo.

5. CONCLUSIÓN

Abordar el problema del drenaje en la zona planteada resulta complicado, por la existencia de zonas industriales y urbanas. Siendo otro impedimento la falta de datos como posibles puntos de drenaje enterrados aptos para incorporarlos en nuestra red diseñada.

El diseño de las obras de drenaje transversal se ha realizado buscando el aprovechamiento de las obras ya existentes, e incorporando nuevas en aquellas zonas donde el estudio hidrológico marcaba con avenidas más pronunciadas.

La obra de drenaje longitudinal es la parte más aparentemente sobre dimensionada, teniendo en cuenta los tramos ya existentes de la línea férrea, incluso comparando los datos con anejos de proyectos de similares características.

Este sobre dimensionamiento de las obras longitudinales viene justificado por el criterio de querer conducir alguno de los caudales proveniente de cuencas, que bien por situarse la intersección en zonas poligonal o urbana donde la construcción de una obra transversal creemos no es segura, debido a que no podemos garantizar la conducción segura hasta un cauce controlado.