

ANEJO Nº 9. DRENAJE

ÍNDICE

1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1	5.6. BAJANTES	8
1.1. OBJETO	1	5.7. VADOS	8
2. <u>CRITERIOS Y CONDICIONANTES DE DISEÑO</u>.....	1	5.8. TUBOS SALVACUNETAS	8
3. <u>PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS</u>	2	5.9. BALSAS DE DECANTACION.....	8
3.1. CÁLCULO DE CAUDALES	2	5.9.1. <u>Balsa de decantación en instalaciones auxiliares</u>	8
3.2. DRENAJE LONGITUDINAL	2	6. <u>DRENAJE LONGITUDINAL DEL TUNEL</u>.....	11
3.2.1. <u>Drenaje de la plataforma y márgenes</u>.....	2	6.1. Balsa de decantacion en tunel.....	11
3.2.2. <u>Drenaje profundo</u>	2	6.2. IMPERMEABILIZACIÓN Y DRENAJE.....	11
3.3. DRENAJE TRANSVERSAL	3	7. <u>DRENAJE LONGITUDINAL DE VIADUCTOS</u>	12
3.4. DEFINICIÓN DE OBRAS DE DRENAJE EN LOS PLANOS.....	3	8. <u>NORMATIVA</u>	12
4. <u>DIMENSIONAMIENTO DEL DRENAJE TRANSVERSAL</u> ...	3	9. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>.....	12
4.1. CAUCES PRINCIPALES	3		
4.2. CAUCES SECUNDARIOS	3		
4.2.1. <u>Predimensionamiento</u>.....	3		
4.2.2. <u>Cálculos hidráulicos</u>	3		
4.3. CUADRO RESUMEN DEL PRE DIMENSIONAMIENTO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL.....	5		
5. <u>DRENAJE LONGITUDINAL</u>.....	6		
5.1. CUNETAS DE DESMONTE	6		
5.2. COLECTORES	6		
5.2.1. <u>Obra transversal de Drenaje Longitudinal</u>.....	6		
5.3. DESAGÜE DE ARQUETAS.....	6		
5.4. BORDILLOS DE CORONACIÓN DE TERRAPLENES	7		
5.5. CUNETAS DE GUARDA Y DE PIE DE TERRAPLÉN	7		

1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETO

El presente Anejo se dimensiona las obras necesarias para el drenaje longitudinal y transversal del proyecto de construcción de acondicionamiento de la carretera N-260 en el eje pirenaico, en los pk 449.600 al 463.600 tramo Túnel de Balupor-Fiscal.

Para el diseño y dimensionamiento del drenaje, se han seguido las normas establecidas por la Instrucción 5.2.I.C. Drenaje Superficial.

2. CRITERIOS Y CONDICIONANTES DE DISEÑO

El agua es, en ocasiones, la causa de destrucción, directa o indirecta, de las obras lineales (ferrocarriles, carreteras o canales). El objetivo del drenaje es proveer de un sistema de protección que evite que el agua de escorrentía produzca efectos negativos en la infraestructura, garantizando su seguridad.

La presencia de una carretera interrumpe la red de drenaje natural del terreno (vaguadas, cauces, arroyos, ríos). El objetivo principal del drenaje transversal es restituir la continuidad de esa red, permitiendo su paso bajo la calzada en condiciones suficientes de seguridad para unos períodos de retorno de diseño determinados.

Debido a los elevados valores ambientales de la zona se ha tratado de que el trazado aproveche la calzada existente siempre que ha sido posible, a fin de minimizar las afecciones y cumplir con los criterios de eficiencia. Por ello se ha tratado también de aprovechar las obras de drenaje transversal existentes, prolongándolas bajo las zonas de ampliación de calzada, siempre que ha sido posible, y recurriendo a nuevas obras de drenaje sólo en zonas de nuevo trazado.

Debido al alto riesgo de heladas en la zona de estudio, se evitará siempre el estancamiento de aguas en la plataforma, corrigiendo si es preciso las irregularidades que las causen, o disponiendo los oportunos caces, cunetas, sumideros y colectores que recojan las aguas y las evacuen lejos de la plataforma. También se aprovechan las obras de drenaje transversal para desaguar el drenaje de la calzada y sus márgenes, a través de los elementos del drenaje longitudinal. Éstos conducen el agua hasta lugares donde puede seguir su curso natural.

Esta relación entre los elementos del drenaje transversal y del longitudinal puede hacer necesario disponer obras transversales exclusivamente para el desagüe de cunetas.

Hay que tener en cuenta también el efecto barrera que provoca una obra lineal para el paso de fauna. Éste ha de realizarse bajo los viaductos y bajo los marcos acondicionados para ello con pasos inferiores, por lo que puede ser necesario disponer obras de drenaje transversal cuyas dimensiones vienen definidas por la necesidad de habilitarlas como pasos de fauna.

Las obras de drenaje transversal se dividen en dos grupos, según la tipología de obra a considerar:

- **Tubos y marcos:** formados por obras de pequeña luz (< 10 m), de hormigón armado, con solera, situados en pequeños cauces o arroyos de caudal medio. Su sección resulta determinante para el desagüe del cauce.
- **Puentes:** obras de paso de grandes dimensiones (>10 m de luz), relacionadas con cauces y caudales más importantes y permanentes. Estas secciones, si no están debidamente proyectadas, pueden presentar problemas de sobreelevaciones de la lámina de agua, erosiones..., con daños potenciales a personas y propiedades o incluso a la propia obra.

Para el dimensionamiento de las obras de drenaje se han seguido las recomendaciones recogidas en la Instrucción 5.2-IC Drenaje Superficial, de la Dirección General de Carreteras, las consideraciones realizadas por la Confederación Hidrográfica del Ebro y las indicaciones del Pliego de Prescripciones Técnicas del Proyecto.

Según la norma 5.2-IC, el período de retorno a considerar en las obras de drenaje transversal es de 100 años, sin embargo, siguiendo las consideraciones de la Confederación Hidrográfica del Ebro, se ha adoptado como periodo de retorno para el cálculo el correspondiente a una avenida de 500 años.

Se adoptan por tanto para el dimensionamiento de las obras de drenaje los siguientes criterios:

- **Drenaje transversal:** 500 años de periodo de retorno para obras de drenaje y estructuras.
- **Drenaje longitudinal:** 25 años de periodo de retorno por tratarse de vías con una IMD cercana a 2000.

La comprobación hidráulica de la sección de los tubos y marcos se ha realizado considerando su funcionamiento en lámina libre y en régimen uniforme. Para ello se ha aplicado la fórmula de Manning con un $n = 0,015$, correspondiente al hormigón.

El sistema de drenaje longitudinal deberá proyectarse como una red o conjunto de redes que recoja la escorrentía superficial procedente de la calzada y de las márgenes que viertan hacia ella, y la conduzca hasta un punto de desagüe.

El sistema de drenaje longitudinal se divide en los siguientes elementos:

- **Cunetas de pie de desmonte:** estas cunetas recogen la escorrentía procedente de los taludes de desmonte y la que cae sobre la propia calzada.
- **Cunetas de pie de terraplén:** se disponen siempre que exista una superficie del terreno natural que vierta sobre el pie de los terraplenes y pueda provocar su erosión. También se colocan en zonas próximas a desagües de cunetas de desmonte que pueden producir, de la misma forma, efectos negativos al pie de los terraplenes.
- **Cunetas de guarda en desmonte:** tienen como misión proteger el talud en zonas donde es previsible una aportación de caudal que puede producir daños.
- **Cunetas de mediana:** se disponen en la mediana de las vías de calzadas separadas para la recogida de las aguas pluviales que caen sobre las mismas.
- **Colectores:** se sitúan, principalmente, bajo las cunetas de pie de desmonte y de mediana, en aquellos puntos en que se supera la capacidad hidráulica de éstas.

A continuación se incluyen las indicaciones y recomendaciones referentes al drenaje que se han tenido en cuenta en este proyecto.

3. PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS

En el Pliego de Prescripciones Técnicas del Proyecto se incluyen una serie de puntos a considerar el diseño del drenaje:

3.1. CÁLCULO DE CAUDALES

Los periodos de retorno utilizados para el dimensionamiento de los elementos de drenaje serán, salvo incrementos fijados por la Confederación Hidrográfica del Ebro, los siguientes:

TIPO DE ELEMENTO DE DRENAJE	PERIODO DE RETORNO MÍNIMO (AÑOS)
Elementos de drenaje superficial de la plataforma y márgenes	25
Pasos inferiores con dificultad para desaguar por gravedad	50

Obras de drenaje transversal	100
------------------------------	-----

Para la comprobación de las condiciones de desagüe de una obra de drenaje transversal donde haya posibilidad de daños catastróficos, o para la comprobación de la erosión fluvial en apoyos de puentes, con cimentación difícil o de coste elevado, el periodo de retorno a adoptar será de 500 años.

3.2. DRENAJE LONGITUDINAL

3.2.1. Drenaje de la plataforma y márgenes

Se procurará diseñar una red o conjunto de redes que permita evacuar la escorrentía superficial de la plataforma de la carretera y de las márgenes que viertan hacia ella, mediante un sistema de cunetas con desagüe en régimen libre. Para el diseño de la red se tendrán en cuenta los criterios que respecto a tipología de elementos y características de los mismos se definen en la Instrucción 5.2-IC para cada zona de la sección tipo del vial que se proyecta.

En general, se proyectarán salidas de las cunetas y caces con una distancia máxima de 500 m. Las salidas se resolverán mediante arquetas de hormigón con arenoso, desagües por medio de bajantes, o bien a través de obras transversales para drenaje longitudinal (O.T.D.L) habilitadas al efecto. También será admisible el vertido a una obra de drenaje transversal mediante la arqueta correspondiente.

Se proyectarán tramos de cuneta revestida en aquellas zonas en las que las circunstancias topográficas (fuertes pendientes, amplia superficie de talud en desmonte...) lo aconsejen, así como en los tramos en que, por las características del terreno, sea necesario evitar los daños en los taludes por escorrentía superficial.

La sección tipo, así como los restantes detalles de los elementos que integren el sistema de drenaje longitudinal, se definirán con toda exactitud en los planos del Proyecto.

3.2.2. Drenaje profundo

Se proyectarán elementos de drenaje longitudinal para interceptación de las corrientes subálveas en las zonas de desmonte ejecutado en laderas de pendiente acusada y, en general, en cualquier otra zona de la plataforma o de sus alrededores en la que se prevea que la escorrentía subterránea pueda afectar a las capas que constituyen la base o subbase del firme nuevo o a la explanada.

Asimismo, puede ser necesario diseñar un drenaje profundo en los casos que no sea suficiente el drenaje longitudinal y el transversal no esté a la cota conveniente. Para ello se seguirán las recomendaciones de la Instrucción 5.1-IC.

3.3. DRENAJE TRANSVERSAL

El dimensionamiento hidráulico de los elementos de drenaje transversal se realizará siguiendo los métodos indicados en la publicación: “Obras pequeñas de paso: Dimensionamiento hidráulico”, editada por la Dirección General de Carreteras y la Instrucción 5.2 IC.

En el dimensionamiento de las obras y elección de su tipología se tendrán en cuenta criterios económicos, evitando en lo posible obras multicelulares.

En todos los casos se procurará, dentro de lo posible, dimensionar cada obra de fábrica de manera que la sección de control del flujo esté a la entrada de la misma, con el fin de evitar la posibilidad de que se produzcan daños materiales a las propiedades colindantes.

Se deberán comprobar los resguardos existentes respecto a la calzada y los resguardos libres dentro de la obra con el fin de evaluar los riesgos de obstrucción.

A la salida de las obras de drenaje transversal se deberán comprobar las condiciones de erosión que puedan plantear las velocidades del agua, disponiéndose, en su caso, los elementos disipadores necesarios.

3.4. DEFINICIÓN DE OBRAS DE DRENAJE EN LOS PLANOS

Los planos del proyecto deberán incluir los datos precisos para definir con toda exactitud la ubicación, orientación, dimensiones y pendiente hidráulica de todos y cada uno de los elementos.

4. DIMENSIONAMIENTO DEL DRENAJE TRANSVERSAL

El drenaje transversal de la traza proyectada se refiere a todos aquellos cauces y cuencas que intersectan la misma y, debido a su importancia, son desaguados por medio de tubos, marcos o estructuras. Dicho conjunto de cauces se divide en dos grupos, principales y secundarios, según la importancia relativa de los mismos.

Los cruces con las cuencas de Barrancos interceptados por la traza se salvan mediante viaductos.

Según la norma 5.2-IC, el período de retorno a considerar en las obras de drenaje transversal es de 100 años, sin embargo, siguiendo las consideraciones de la Confederación Hidrográfica del Ebro, se ha adoptado como periodo de retorno para el cálculo el correspondiente a una avenida de 500 años.

4.1. CAUCES PRINCIPALES

En ningún momento se cruza el río Ara, por lo que solo se consideran cauces principales a los barrancos interceptados por la traza.

4.2. CAUCES SECUNDARIOS

4.2.1. Predimensionamiento

En el anejo de climatología se han calculado los caudales de avenida para diferentes periodos de retorno, en cada una de las cuencas vertientes que intersectan la traza. La instrucción 5.2 IC exige para el dimensionamiento de las pequeñas obras de drenaje transversal un periodo de retorno de 100 años, pero se aconseja calcular éstas para 500 años. Con estos datos se obtendrán los parámetros precisos para el dimensionamiento de las obras de drenaje necesarias para la evacuación de los caudales calculados.

Debe procurarse, dentro de lo posible, dimensionar cada obra de fábrica, de manera que se evite la posibilidad de que se produzcan daños materiales a las propiedades colindantes. En caso contrario habría que estudiar el buen comportamiento del drenaje aguas abajo, para comprobar la no afección de propiedades.

Para ello se ha estimado conveniente imponer la condición de sección inicial crítica (sección crítica en la entrada de la obra de fábrica), para tener el control del caudal desaguado aguas arriba, procurando una pendiente supracrítica. De esta forma se garantiza el régimen rápido en el desagüe, y el control de los niveles de la lámina de agua aguas arriba.

Según la Instrucción 5.2.I.C. “Drenaje superficial” la mínima dimensión de una pequeña obra de drenaje transversal no deberá ser inferior a un valor función de su longitud, de forma que se garantice una velocidad mínima esperable adecuada. En nuestro caso, y a la vista de las ubicaciones de las distintas obras de drenaje, van a tener una longitud superior a 15 m en el tronco, lo cual nos conduce a un diámetro mínimo del tubo de 1,80 m

Para asegurar el perfecto funcionamiento hidráulico de la sección en lámina libre, se ha estimado un llenado máximo de la sección del 60% del calado, con lo que se garantiza en todo momento la estabilidad en el funcionamiento del tubo.

4.2.2. Cálculos hidráulicos

La ubicación de la sección de control de cada obra de drenaje, como se

prescribe en la 5.2-I.C., será a la entrada de las mismas. Es en este punto donde tendrá lugar el régimen crítico que nos servirá como criterio para el diseño de las obras de drenaje fijando el resguardo mínimo en el caso de los marcos y el grado de llenado en el caso de los tubos.

En el siguiente apartado se adjunta un cuadro resumen con el predimensionamiento de las obras de drenaje transversal:

4.3. CUADRO RESUMEN DEL PRE DIMENSIONAMIENTO DE LAS OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL

Cuenca	P.K (ODT)	Q ₅₀₀ (m ³ /s)	ODT propuesta	Abanico de pendientes			
			Sección (ancho x alto)	Pendiente mínima (%) (F=1)	C. Hidráulica (m ³ /s)	Pendiente máxima (%)	C. Hidráulica (m ³ /s)
C2	0+173	11,642	3x2	0,460	13,132	1,300	22,125
C3	2+440	91,681	Estructura P 2,4				
C4	2+838	41,708	Estructura P 2,8	0,340	43,505	0,680	61,950
C5	3+900	354,678	Viaducto Bco. de las Guargas				
C6	4+510	1,163	Cunetón Trapecial	0,510	4,745	1,970	9,406
C7	4+700	15,868	2,5x2,5	0,590	18,127	1,190	25,813
C8	5+070	5,850	Prolongación ODE de 0,50x1,50 m	-	-	-	-
C9	5+300	1,138	Φ1800	0,510	4,745	1,970	9,406
C10	5+550	1,565	Φ1800	0,510	4,745	1,970	9,406
C11	5+720	56,728	Estructura P 5.7	0,500	57,134	0,640	64,900
C12A	5+960	3,677	Prolongación ODE de 0,70x1,00 m	-	-	-	-
C12B	6+360	10,072	3X2	0,500	10,943	1,970	22,125
C12C	6+760	8,713	Prolongación ODE de 0,70x1,00 m	-	-	-	-
C12D	7+120	3,939	Prolongación ODE de 0,70x1,00 m	-	-	-	-
C13	7+540	31,825	P.F 7x3	0,370	36,254	0,750	51,625
C14	7+720	6,920	2x2	0,610	8,754	1,710	14,750
C15	8+180	24,007	P.F 7x3	0,460	25,378	0,930	36,138
C16A	8+270	5,372	Prolongación ODE de 0,70x1,00 m	-	-	-	-
C16B	8+580	5,770	2x2	0,610	8,754	1,710	14,750
C16C	8+760	5,530	2x2	0,610	8,754	1,710	14,750
C17	9+550	143,251	Viaducto Bco. de Santiago				
C18A	9+860	3,373	Prolongación ODE de 0,70x1,00 m	-	-	-	-
C18B	10+420	3,919	Φ1800	0,510	4,745	1,970	9,406
C18C	10+640	4,091	Φ1800	0,510	4,745	1,970	9,406
C19	10+740	24,573	P.F 7x3	0,460	25,378	0,930	36,138
C20A	11+150	8,782	2x2	0,610	8,754	1,710	14,750
C20B	11+530	8,248	Prolongación ODE de 0,70x1,00 m	-	-	-	-
C21	12+060	30,364	3x3	0,570	31,712	0,900	39,825
C22B	12+820	2,580	Prolongación ODE Φ1800 m	0,510	4,745	1,970	9,406

5. DRENAJE LONGITUDINAL

El drenaje longitudinal de la autovía está constituido por cunetas con desagüe en régimen libre. La distancia máxima de desagüe de éstas se limita a 500 m, para evitar el desborde de las mismas para el periodo de retorno estudiado.

La evacuación de las mismas se resuelve vertiendo directamente al terreno, mediante arqueta de hormigón con arenoso, donde sea posible, o bien por medio de obras transversales de drenaje longitudinal. En el caso en que no sea posible ninguna de las tres opciones anteriores, se proyectará un colector debajo de la cuneta hasta llegar a un punto de posible vertido de las aguas pluviales.

La cuneta será revestida en todos los casos para evitar posibles filtraciones de agua. Las únicas cunetas sin revestir son las proyectadas en algunos caminos. La forma de las cunetas se define en los apartados correspondientes quedando éstas completamente definidas en los planos de detalle de drenaje.

El drenaje longitudinal se proyecta para un periodo de retorno de 25 años, como indica la Norma de Drenaje Superficial 5.2-IC., por tratarse de carreteras con IMD mayor de 2000.

5.1. CUNETAS DE DESMONTE

Se dispondrá de diferentes secciones de cuneta de desmonte en función de las diferentes necesidades de desagüe, así como los diferentes condicionantes del terreno.

Las cunetas serán revestidas con hormigón de 0,10 m de espesor.

5.2. COLECTORES

El drenaje longitudinal, como se ha justificado en puntos anteriores, se realiza mediante cunetas. Para dichas cunetas se limita la longitud máxima sin desagüe (aún no estando agotada su capacidad hidráulica) a 500 m. En tramos de desmonte o en la mediana, en los que no es posible el desagüe de las cunetas, se proyectan colectores en los que desagüen éstas. Los colectores se proyectan en zanjas apoyados en una cama de hormigón en masa. En este punto se justificará que los colectores proyectados tienen capacidad suficiente para el drenaje de los tramos de cunetas que le corresponden. Los desagües de los colectores se producen siempre en una arqueta con arenoso antes de verterlo al terraplén, o se desaguan en una obra de drenaje transversal.

Los colectores se proyectan con un diámetro mínimo de 0,4 m para facilitar su limpieza y mantenimiento, con un grado de llenado máximo del 75 % y una pendiente mínima de 0,5 %.

Para el cálculo se utilizará la fórmula de Manning, ya que los desagües se producirán en lámina libre, y la ecuación de continuidad:

$$i = \frac{n^2 \cdot v^2}{R_H^{\frac{4}{3}}}$$

$$Q = v \cdot S$$

$$R_H = S / P_m$$

Se tomará un coeficiente de Manning de 0,015 correspondiente al hormigón utilizado para los colectores.

5.2.1. Obra transversal de Drenaje Longitudinal

Los colectores proyectados serán tubos ϕ 600 de hormigón en masa. En régimen uniforme y aplicando las fórmulas descritas en apartados anteriores y sabiendo que se ha diseñado un colector ϕ 600 con una pendiente constante del 0,5 % y un grado máximo de llenado del 75%, resultan los siguientes parámetros:

5.3. DESAGÜE DE ARQUETAS

Se dispondrá de arquetas de desagüe en las cunetas cuando éstas se hayan agotado hidráulicamente o cuando su longitud exceda de los 500 m, también en aquellas cunetas de desmonte que no puedan verter directamente al terraplén. Se diseña su drenaje mediante tubos de hormigón de diámetro mínimo 400 mm y con una pendiente mínima del 0,5 %.

A continuación se adjuntan unos cuadros de capacidades de dichos tubos en función de las pendientes consideradas, sabiendo que se admite un llenado de hasta el 75 % del calado total.

TUBO ϕ 600 mm			
Pendiente (%)	Calado (m)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
0.50	0.45	1.508	0.343
1.00	0.45	2.133	0.485
1.50	0.45	2.613	0.594
2.00	0.45	3.017	0.686
2.50	0.45	3.373	0.767
3.00	0.45	3.695	0.840
3.50	0.45	3.991	0.908

TUBO ϕ 600 mm			
Pendiente (%)	Calado (m)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
4.00	0.45	4.267	0.971
4.50	0.45	4.525	1.029
5.00	0.45	4.770	1.085

Para la obtención de estos valores se han utilizado las fórmulas de Manning con $n = 0,015$. Estas fórmulas ya se han descrito con detalle en el anterior apartado.

5.4. BORDILLOS DE CORONACIÓN DE TERRAPLENES

En la coronación de terraplenes, y para evitar que se produzcan erosiones en éstos, se diseñan bordillos en las bermas. Este se dispone de forma que al menos quede a 10 cm por delante de la barrera de seguridad (si es necesario disponer de ésta).

Se diseñan estos bordillos en la coronación de los terraplenes cuya altura sea superior a 2 m, según recomienda la Instrucción de Drenaje Superficial 5.2.IC.

Dichos bordillos se desaguan mediante bajantes prefabricadas de hormigón, dispuestas en general cada 50 m, teniendo en cuenta el agua que circula por la plataforma y la pendiente longitudinal de la traza. Se dispone también una bajante en el punto donde finaliza el bordillo y en los puntos bajos de los terraplenes. La disposición del bordillo se puede consultar en los planos de planta de drenaje.

Es difícil determinar qué cantidad de caudal vertido por la calzada desagua por una bajante determinada, por ello se han seguido estrictamente las recomendaciones de la Norma a este respecto. De este modo el caudal máximo a desaguar por un segmento de la autovía de 50 m de plataforma se puede estimar en 0,024 m³/s (aplicando la fórmula de caudal a desaguar para una plataforma incluyendo la berma).

La forma del bordillo queda definida en los planos correspondientes, resultando un triángulo de 0,85 m de base y 0,05 m de altura. El desagüe se considera sin tocar el arcén, aplicando la fórmula de Manning y la de continuidad, expuestas en apartados anteriores, con $n = 0,015$, se obtiene la siguiente tabla de capacidades:

BORDILLO DE PIE DE TERRAPLÉN				
CALADO (m)	SECCIÓN (m ²)	PENDIENTE (tanto por uno)	v (m/s)	Q (m ³ /s)
0,05	0,0213	0,005	0,397	0,008
0,05	0,0213	0,006	0,435	0,009
0,05	0,0213	0,007	0,470	0,010

BORDILLO DE PIE DE TERRAPLÉN				
CALADO (m)	SECCIÓN (m ²)	PENDIENTE (tanto por uno)	v (m/s)	Q (m ³ /s)
0,05	0,0213	0,008	0,502	0,011
0,05	0,0213	0,009	0,532	0,011
0,05	0,0213	0,010	0,561	0,012
0,05	0,0213	0,020	0,794	0,017
0,05	0,0213	0,030	0,972	0,021
0,05	0,0213	0,040	1,122	0,024
0,05	0,0213	0,050	1,255	0,027

5.5. CUNETAS DE GUARDA Y DE PIE DE TERRAPLÉN

La cuneta de pie de terraplén se diseña en aquellos pies de terraplén en los que inciden caudales, para evitar el socavamiento de los mismos. Por ello se dimensionan excavadas en tierra, con las dimensiones mínimas exigidas por la 5.2.IC. y a 1 metro del pie del terraplén.

Se han considerado cunetas de guarda en coronación de desmontes en los tramos donde se ha previsto la incidencia de un caudal de alguna consideración. Se definen revestidas de hormigón en masa, y dispuestas a 1 m del desmonte. Se ha previsto una bajante que encauza los caudales desde la cuneta de guarda hacia las cunetas de plataforma.

Las dimensiones adoptadas para la cuneta de guarda o de pie de terraplén son las siguientes: 1,00 m de ancho en la base, 1,80 m de ancho en coronación y 0,50 m de profundidad. Talud 1:1 en el lado del terreno y 3:5 en el lado más cercano al firme.

A continuación se adjunta un cuadro de capacidades para las cunetas de guarda revestidas y las cunetas de pie de terraplén revestidas, en función de distintas pendientes consideradas.

Para la obtención de los valores se han utilizado las fórmulas de Manning, con $n = 0,015$ para cunetas revestidas, y la ecuación de continuidad, expuestas con anterioridad.

CUNETA DE GUARDA Y DE PIE DE TERRAPLÉN				
CALADO (m.)	SECCIÓN (m ²)	PENDIENTE (tanto por uno)	v (m/s)	Q (m ³ /s)
0,5	0,70	0,005	2,139	1,497
0,5	0,70	0,006	2,343	1,640
0,5	0,70	0,007	2,531	1,772
0,5	0,70	0,008	2,706	1,894
0,5	0,70	0,009	2,870	2,009
0,5	0,70	0,010	3,025	2,118
0,5	0,70	0,020	4,278	2,995
0,5	0,70	0,030	5,240	3,668
0,5	0,70	0,040	6,050	4,235

5.6. BAJANTES

En la zona en la que el desmonte está protegido por una cuneta de guarda, en los puntos bajos se han dispuesto bajantes que conducirán el agua hasta la cuneta de pie de desmonte.

Se prevé también diseñar bajantes de hormigón a la salida de tubos transversales de drenaje longitudinal en terraplenes. La sección de la bajante será función del diámetro del tubo (en este proyecto hay tubos Φ600).

En zonas de terraplenes importantes, se proyecta un bordillo de hormigón que recoge el agua para verterla hasta el pie del terraplén mediante bajantes de bordillo colocadas cada 50 m.

5.7. VADOS

Para el cruce de vaguadas en caminos, se diseñan “vados” consistentes en una ligera depresión de la línea teórica del trazado del camino, de tal forma que cuando se produzca una avenida no se produzca ninguna sobreelevación.

Debido a las fuertes pendientes que presenta el terreno en nuestra zona de estudio, el agua que discurre por las vaguadas puede llegar a alcanzar altas velocidades capaces de erosionar y arrastrar elementos de grandes dimensiones, por lo que el vado deberá ser pesado para dificultar su arrastre, y estar lo suficientemente metido en el terreno como para evitar que el agua infiltrada bajo la losa pueda hacerlo flotar. Por todo lo anterior el vado proyectado consiste en una losa de hormigón de 0,50 m de espesor y 20 m de longitud, tal y como se

refleja en los planos de detalle de drenaje.

5.8. TUBOS SALVACUNETAS

El paso de caudal entre cunetas en caminos o intersecciones, se realiza mediante tubos salvacunetas de hormigón en masa y 600 mm de diámetro.

5.9. BALSAS DE DECANTACION

5.9.1. Balsa de decantación en instalaciones auxiliares

Instalación de cunetas perimetrales

En todas las zonas de instalaciones definidas se instalarán zanjas perimetrales que recojan las aguas de escorrentía generadas en las mismas y las conduzcan a las balsas de decantación para su tratamiento. En cuanto a la sección, se establece una sección similar a la diseñada para el drenaje del terreno junto a la plataforma a pie de terraplén o cabecera de desmonte, es decir, de sección trapecial, con taludes 1H:2V, anchura de base 0,5 m y profundidad 0,30 m revestidas de hormigón.

Balsas de decantación

Durante las obras será necesario someter a decantación, durante la ejecución de las obras, las aguas procedentes de las zonas de instalaciones de obra.

La capacidad de las balsas de decantación será tal que permita retener un determinado porcentaje de los sólidos en suspensión y, simultáneamente, un volumen suficiente para su almacenamiento durante cierto período de tiempo.

Para ello se considerará un caudal de cálculo (Q) igual al generado por la máxima intensidad de un aguacero de duración igual al tiempo de concentración de la cuenca drenada, aunque dimensionando el volumen de la balsa para que contenga en su totalidad la escorrentía generada por el aguacero de 24 horas de duración (R), ambos para un período de retorno 2 años.

El otro dato de entrada en el método es el tamaño medio de las partículas que se pretende decantar en la balsa hasta alcanzar la concentración de sólidos permitida para el vertido del efluente a un cauce exterior. En la práctica, se suele adoptar como valor de partida $D=0,05$ mm, es decir, conseguir decantar la fracción granulométrica de las arenas.

La velocidad de sedimentación de estas partículas será, de acuerdo con la Ley de Stokes, la siguiente:

$$V_s = \frac{g}{18 \cdot \mu} (S - 1) D^2$$

donde,

V_s : velocidad de caída de la partícula, en cm/s.

g : aceleración de la gravedad. $g = 981 \text{ cm/s}^2$.

μ : viscosidad cinemática del fluido; $\mu=0,01308 \text{ cm}^2/\text{s}$ para una temperatura del agua de 10°C de media anual.

S : peso específico de la partícula. $S = 2,0$ (para el tipo de materiales a decantar)

D : diámetro de la partícula, supuestamente esférica. $D = 0,005 \text{ cm}$

Una vez determinada dicha velocidad, el área de la balsa se calcula como:

$$A = \frac{Q}{V_s}$$

y la profundidad de la balsa sería:

$$H = \frac{R}{A}$$

Habitualmente suelen obtenerse valores de H muy elevados, y por motivos constructivos se disminuyen, con lo cual, dado que R es constante, se recalcula el valor del área “ A ”, obteniendo, para un mismo tiempo de retención, un grado de decantación más elevado, ya que el recorrido medio de las partículas es menor; en definitiva, se consigue decantar partículas más finas que las inicialmente previstas.

La determinación del caudal de cálculo, que a su vez permite dimensionar las cunetas de captación y desagüe, así como los aliviaderos de la balsa, se realiza siguiendo la Instrucción 52-IC (Drenaje superficial), de la Dir. Gral. de Carreteras, que basa el cálculo del caudal punta de escorrentía en la fórmula racional:

$$Q = C \cdot A \cdot I / K$$

siendo:

Q : Caudal punta

I : Máxima intensidad media de precipitación en el intervalo de duración igual al tiempo de concentración (mm/h)

A : Superficie de la cuenca drenada

C : Coeficiente de escorrentía. Se toma 0,7 correspondiente a zonas impermeabilizadas y revestidas y relativamente horizontales

K : Coeficiente adimensional en función de las unidades en que se expresen Q y A , y que incluye un aumento del 20% en Q para tener en cuenta el efecto de las puntas de precipitación. Para Q en l/s y A en m^2 , $K=3000$.

Para la determinación de I la formulación se basa en las curvas intensidad-duración propuestas en la norma citada corresponde a la siguiente expresión:

$$I(d) = \left(\frac{P_d}{24} \right) \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{28^{0,1} - d^{0,1}}{28^{0,1} - 1}}$$

siendo:

I (mm/h): Intensidad media correspondiente al intervalo de duración deseado.

I_d (mm/h): Intensidad media diaria de precipitación, correspondiente al período de retorno elegido, igual a $P_d/24$

P_d (mm): Precipitación máxima diaria (24 horas), en este caso 66 para dicho período de retorno de 2 años.

I_1/I_d : Cociente entre la intensidad horaria y diaria. Su valor se obtiene a partir del mapa de isóneas incluido en la referida Norma, en este caso 9.8.

t (h): Duración del intervalo al que se refiere I , que se iguala al tiempo de concentración.

Dicho intervalo se estima mediante:

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L}{J^{0.25}} \right)^{0.76}$$

siendo:

L : longitud del cauce principal (km)

J : pendiente media del cauce (m/m) Se ha tomado 0.04 %

Para la estimación del coeficiente de escorrentía se ha utilizado la fórmula:

$$C = \frac{[(Pd / Po) - 1] * [(Pd / Po) + 23]}{[(Pd / Po) + 11]^2}$$

donde:

Po: Umbral de escorrentía (mm), obtenido en base a las tablas y correcciones expuestas en la IC-5.2, en este caso tomaremos 12 como media para todas las instalaciones auxiliares.

Pd: Precipitación máxima diaria (24 horas), en este caso 66 para dicho período de retorno de 2 años.

Mantenimiento de los sistemas de depuración

Se realizarán analíticas trimestrales del agua vertida por las balsas de decantación. Estas analíticas se realizarán para determinar los parámetros y los valores límite de referencia establecidos en el Anexo al Título IV del *Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminares, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas*, en concreto los valores establecidos para cauces que no van a sufrir tratamiento posterior.

PARÁMETRO	VALORES LÍMITE
pH	Comprendido entre 5,5 y 9,5
Sólidos en Suspensión (mg/l)	80
Materias Sedimentables (ml/l)	0,5
Sólidos gruesos	Ausentes
BBO ₅ (mg/l)	40
DQO (mg/l)	160
Temperatura (°C)	3°C
Color	1/20
Aluminio(mg/l)	0,5
Arsénico (mg/l)	0,5
Bario (mg/l)	20
Boro (mg/l)	2
Cadmio (mg/l)	0,2
Cromo III (mg/l)	2
Cromo VI (mg/l)	0,2
Hierro (mg/l)	2
Manganeso (mg/l)	2

PARÁMETRO	VALORES LÍMITE
Níquel (mg/l)	2
Mercurio (mg/l)	0,05
Plomo (mg/l)	0,2
Selenio (mg/l)	0,03
Estaño (mg/l)	10
Cobre (mg/l)	0,2
Cinc (mg/l)	3
Tóxicos metálicos (mg/l)	3
Cianuros (mg/l)	0,5
Cloruros (mg/l)	2000
Sulfuros (mg/l)	1
Sulfitos (mg/l)	1
Sulfatos (mg/l)	2000
Fluoruros (mg/l)	6
Fósforo Total (mg/l)	10
Fósforo Total (mg/l)	0,5
Amoníaco (mg/l)	15
Nitrógeno nítrico (mg/l)	10
Aceites y grasas (mg/l)	20
Fenoles (mg/l)	0,5
Aldehídos (mg/l)	1
Detergentes (mg/l)	2
Pesticidas (mg/l)	0,05

Fuente: Real Decreto 849/1986.

Si las aguas analizadas no cumplieran las características dictadas por el mencionado reglamento o por sus posteriores modificaciones y actualizaciones, se procederá a la aplicación de tratamientos adicionales de coagulación, floculación o filtración hasta que se cumpla la normativa vigente.

En cuanto a la gestión de los lodos recuperados, estos serán acopiados en zonas impermeabilizadas de las instalaciones para evitar contaminaciones por infiltración o percolación al terreno.

Una empresa homologada y especializada se encargará de la retirada de los mismos, para su traslado a vertederos autorizados. Si el destino final de estos lodos fuese el abonado de terrenos de cultivo o forestales, el gestor de dichos lodos cumplirá las condiciones establecidas en *Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la Utilización de los Lodos de Depuración en el Sector Agrario*.

6. DRENAJE LONGITUDINAL DEL TUNEL

6.1. Balsa de Decantación en Túnel

Estas balsas se dispondrán durante la fase de ejecución de las obras para decantar la fracción de las arenas de las aguas procedentes de la excavación de los túneles, y posteriormente se mantendrá durante la explotación de la carretera para decantar los sólidos en suspensión procedentes del drenaje longitudinal del túnel.

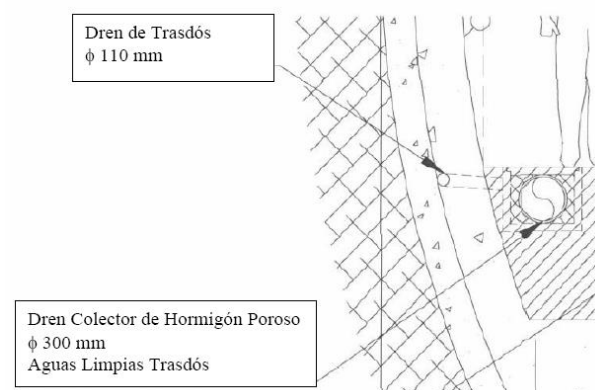
Se dispondrá una balsa de decantación en la boquilla de entrada al túnel situada en el pk 0+150, para albergar las aguas residuales o de drenaje del propio túnel, bien por gravedad o bien por bombeo. De esta forma, se evitará que dichas aguas de drenaje se viertan directamente a los cauces o al terreno sin ningún tipo de control previo de su calidad.

Igualmente se dispondrá una balsa de decantación en la boquilla de salida del túnel de Jánovas situada hacia el pk 1+950, para albergar las aguas residuales o de drenaje del propio túnel, bien por gravedad o bien por bombeo. De esta forma, se evitará que dichas aguas de drenaje se viertan directamente a los cauces o al terreno sin ningún tipo de control previo de su calidad.

La capacidad de la balsa de decantación será tal que permita retener un determinado porcentaje de los sólidos en suspensión y, simultáneamente, un volumen suficiente para su almacenamiento durante cierto periodo de tiempo.

6.2. IMPERMEABILIZACIÓN Y DRENAJE

Se ha previsto un sistema de drenaje separativo de modo tal que las aguas limpias de infiltración se capten en el trasdós del revestimiento y se viertan en el sistema de drenaje del trazado, y las aguas sucias de escorrentía y vertidos, se captarán en la plataforma, e irán a parar a un depósito de recogida de vertidos. En los gráficos adjuntos se representan ambos sistemas de captación y drenaje.



La impermeabilización consiste en revestir el túnel con una lámina de impermeabilización de PVC de 1,5 mm de espesor y una lámina de geotextil de 500 gr/m², situadas entre el sostenimiento y el revestimiento. Ambas láminas cubren completamente la bóveda, de hastial a hastial del túnel. Las aguas procedentes del terreno entran en contacto con el geotextil, quedando este empapado y captándose el agua en un tubo dren de PVC de 110 mm de diámetro colocado al pie de los hastiales entre el sostenimiento, que capta el agua de filtración del trasdós y el revestimiento. El agua de estos drenes conectará cada 50 m con arquetas de hormigón en masa mediante tubos de PVC de 110mm de diámetro, situadas en cada acera del túnel, las cuales conectan con un colector de hormigón de 300 mm de diámetro situado bajo ambas aceras, encargado de recoger las aguas de infiltración procedentes del trasdós. Dicho colector se mantiene independiente en toda la longitud del túnel, sin conectarlo en momento alguno con el colector central de recogida de aguas de vertido. El colector desagua a la salida del túnel en las cunetas de plataforma de la línea, mediante sendas arquetas de conexión.

El sistema de drenaje de las aguas limpias de infiltración tendrá las siguientes características:

- Los colectores y canalizaciones de la red se calcularán para los caudales definidos en el estudio hidrogeológico del proyecto.
- Velocidad mínima para el 70% del caudal máximo: 0,5 m/s.
- Diámetro de los colectores: 300 mm.
- Se dispondrán arquetas para limpieza de los colectores, con separación máxima de 50 m.

El sistema de drenaje de aguas sucias ubicado en la plataforma evacuará y drenará todos los líquidos que se derramen en la misma (aguas de infiltración, aguas de limpieza del túnel, agua de extinción de incendios, vertidos de camiones cisterna, etc.), evitando su acumulación y canalizándolos al exterior del túnel hacia un depósito de recogida.

La red de recogida de aguas sucias de escorrentía y vertidos cumplirá los requisitos siguientes:

- Velocidad mínima para el 70% del caudal máximo: 0,5 m/s.
- Diámetro del tubo dren de aguas sucias de 300 mm y del colector de 600 mm.
- Dispondrá de sumideros separados una distancia máxima de 50 m, que se conectarán, directamente o a intervalos, con el colector principal.

El agua de este sistema se canalizará a dos depósitos estancos situados en las bocas de túnel en el exterior de éste. En cada depósito se sacarán los caudales de vertidos de forma periódica manualmente mediante camiones que dispongan de sistemas de bombeos. Los vertidos peligrosos, tóxicos o contaminantes, se extraerán únicamente por personal especializado (bomberos, etc.), utilizando bombas adecuadas al tipo de fluido (corrosivo, inflamable, denso, etc.).

Para elegir la capacidad volumétrica de estas instalaciones se ha estimado el siguiente volumen total resultado de la suma del contenido de un vagón cisterna (80m³) más el agua derramada en una actuación de los bomberos durante 1 hora (120m³). Esto supone un total de 200 m³, que es el valor adoptado en este Proyecto.

El trazado del túnel no presenta puntos bajos, por lo que no será necesario disponer de puntos de bombeo.

7. DRENAJE LONGITUDINAL DE VIADUCTOS

Debido a la longitud de los viaductos deberemos impedir que un posible vertido de alguna sustancia contaminante del tráfico que atraviesa los viaductos sobre el río llegue a los cauces cercanos, por lo que deberemos disponer un sistema de evacuación de las aguas hacia los estribos, donde se instalarán balsas para la recogida de dicho vertido, devolviendo el agua decantada aguas abajo para que siga su curso natural.

El drenaje del puente se realizara mediante sumideros que terminarán conectando con una tubería de PVC colgada mediante abrazaderas metálicas, la cual acabará desagando en los estribos en sendas balsas de decantación.

Dicha tubería de PVC se dispondrá con una pendiente lo más parecida a la de la rasante, debiendo respetar como mínimo la pendiente crítica.

Siguiendo las recomendaciones de la Instrucción 5.2.IC. de Drenaje Superficial, los sumideros se dispondrán cada 20 metros a lo largo del tablero en las zonas donde se recogerán las aguas.

Atendiendo a los caudales obtenidos en el anejo N° 5 “Climatología e Hidrología”, dimensionaremos la tubería capaz de desaguar dichos caudales.

Deberemos realizar las comprobaciones para el caso más desfavorable en el que coincida la avenida de 25 años de periodo de retorno con un vertido en la calzada.

8. NORMATIVA

El presente anejo de Drenaje se ha realizado de acuerdo con la siguiente normativa:

- Instrucción 5.2.IC. Drenaje Superficial, aprobada por orden Ministerial de 10 de marzo de 2016.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Pliego de Prescripciones Técnicas.
- Control de la Erosión Fluvial en Puentes. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Septiembre 1988.