ANEJO DE HIDROLOGÍA Y DRENAJE.

ÍNDICE.

2.- INTRODUCCIÓN.....2

4.- DIRECTRICES PARA EL CÁLCULOS DEL DRENAJE LONGITUDINAL. 3

5.- CÁLCULOS DE LA INTENSIDAD DE LLUVIA.....4

6.- CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS TERRENOS.....5

7.- DRENAJE LONGITUDINAL. CUNETAS.....6

7.1.- DRENAJE DE LA PLATAFORMA Y MÁRGENES.....6

7.2.- CÁLCULO DE CAUDALES.....6

7.3.- DIMENSIONAMIENTO DE LA CUNETA DE 1,50 M.....8

7.4.- DIMENSIONAMIENTO DE LA CUNETA DE 1,00 M.....9

1.-

2.- INTRODUCCIÓN.

El objeto del presente anejo es la comprobación de la capacidad de desagüe de la obras de drenaje proyectadas a partir de la determinación de las cuencas de aportación y sus máximos caudales de avenidas, conforme a la Instrucción 5.2.IC Drenaje superficial y a la especificaciones de la Agencia Andaluza del Agua.

Al definir el presente proyecto actuaciones sobre carreteras ya existentes, tan sólo se debe comprobar la capacidad hidráulica del drenaje longitudinal propuesto, como prolongación del propio de la carretera en cada una de las paradas. Destacar que en las paradas ubicadas en los tramos urbanos más consolidados, las carreteras existentes carecen de infraestructura de drenaje superficial, no obstante, se definen para dichas paradas una cuneta para evitar charcos y agua estancada en época de lluvias.

3.-

4.- DIRECTRICES PARA EL CÁLCULOS DEL DRENAJE LONGITUDINAL.

En primer lugar, se debe realizar un estudio hidrológico para determinar la tormenta de proyecto que dependerá de la situación geográfica del ámbito de proyecto, de los datos pluviométricos y climatológicos de la zona, así como de las características geomorfológicas del suelo que drena hacia la obra de drenaje.

Una vez determinada la tormenta de proyecto, para la transformación lluvia-caudal se seguirán las directrices de la Instrucción 5.2-IC "Drenaje superficial", y de la Instrucción 5.1-IC "Drenaje", parcialmente derogada por la anterior.

Se ha empleado un coeficiente de rugosidad n = 0,016 (resultando un coeficiente K = 1/n = 62,50). Este coeficiente se extrae de la tabla 4.2.3 de la Instrucción 5.1-IC "Drenaje" donde se recoge el coeficiente de rugosidad "n" a utilizar en la Fórmula de Manning. Se ha tomando un valor alto correspondiente a cunetas revestidas de hormigón para tener en cuenta el envejecimiento, pequeñas irregularidades, suciedad, etc.

La pendiente de la obra de drenaje se ha obtenido del perfil longitudinal definido con la cartografía.

Se ha tenido en cuenta que la velocidad del agua en el interior de la obra de drenaje no supere 6,00 m/s, para evitar problemas de erosión, ni sea inferior a 0,50 m/s, para facilitar el movimiento y evitar problemas de sedimentación.

Tabla 1: *La tabla siguiente se corresponde con la Tabla 4.2.3 de la Instrucción 5.1-IC "Drenaje" donde se recoge el Coeficiente de Rugosidad "n" a utilizar en la Fórmula de Manning.*

	Coeficiente de Manning
Cunetas y canales sin revestir	
En tierra ordinaria, superficie uniforme y lisa	0,020-0,025
En tierra ordinaria, superficie irregular	0,025-0,035
En tierra con ligera vegetación	0,035-0,045
En tierra con vegetación espesa	0,040-0,050
En tierra excavada mecánicamente	0,028-0,033
En roca, superficie uniforme y lisa	0,030-0,035
En roca, superficie con aristas e irregularidades	0,035-0,045
Cunetas y Canales revestidos	
Hormigón	0,013-0,017
Hormigón revestido con gunita	0,016-0,022
Encachado	0,020-0,030
Paredes de hormigón, fondo de grava	0,017-0,020
Paredes encachadas, fondo de grava	0,023-0,033
Revestimiento bituminoso	0,013-0,016
Corrientes Naturales	
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lamina de agua suficiente	0,027-0,033
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lamina de agua suficiente, algo de vegetación	0,033-0,040
Limpias, meandros, embalses y remolinos de poca importancia	0,035-0,050
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados	0,060-0,080
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados, vegetación densa	0,100-0,200[1]
Rugosas, corrientes en terreno rocoso de montaña	0,050-0,080
Areas de inundación adyacentes al canal ordinario	0,030-0,200[1]

5.- CÁLCULOS DE LA INTENSIDAD DE LLUVIA.

El cálculo de la máxima intensidad de lluvia para un periodo de retorno determinado (T=25 en nuestro caso) se ha calculando mediante las recomendaciones del CEDEX, utilizando la publicación "Máxima Lluvias Diarias en la España Peninsular". Según los parámetros establecidos para el municipio de la Málaga, tenemos los siguientes valores de precipitación máxima diaria:

***Tabla 1**: Precipitaciones máximas diarias según el periodo de retorno seleccionado.*

ESTIMACIÓN DE CUANTILES PARA DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO, MEDIANTE EL USO DE MAPAS DE REPRESENTACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN CV Y DEL VALOR MEDIO P_m DE LA MÁXIMA PRECIPITACIÓN DIARIA ANUAL									
P_m (mm/día) =	**65,0**								
C_v =	**0,48**								
T (años) =	**1**	**2**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**	**200**	**500**
Y_T =	**0,685**	**0,890**	**1,289**	**1,595**	**2,007**	**2,342**	**2,708**	**3,098**	**3,616**
P_d (mm/día) =	**44,55**	**57,85**	**83,79**	**103,68**	**130,46**	**152,23**	**176,02**	**201,37**	**235,04**

Resultando una intensidad máxima diaria para un periodo de retorno de 25 años de 130 mm/día.

Los períodos de retorno a emplear para el cálculo de caudales son:

Tabla 2: Periodos de retorno.

TIPO DE ELEMENTO DE DRENAJE	PERÍODO DE RETORNO
Elementos de drenaje superficial de la plataforma y márgenes.	25 años
Obras de drenaje transversal	100 años (criterio 5.2-ic) 500 años (criterio agencia andaluza del agua)
Comprobación de condiciones de desagüe, erosión fluvial en apoyos de puentes, y en estructuras de cimentación difícil o de coste elevado.	500 años

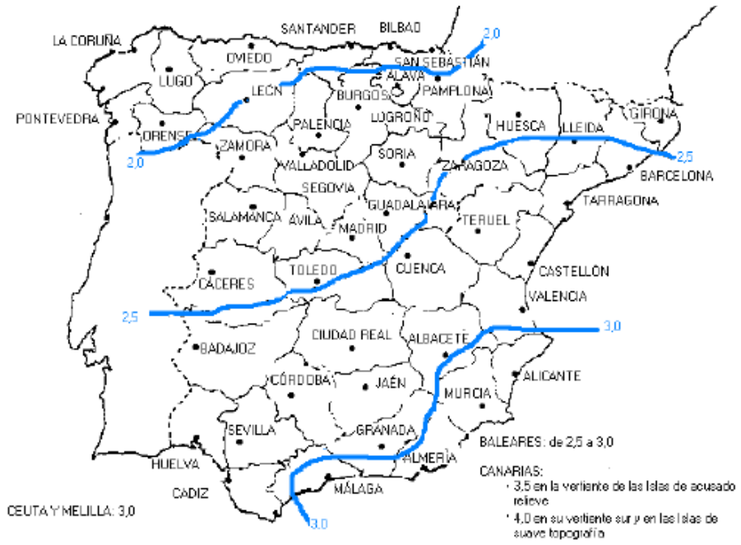
6.- CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS TERRENOS.

Continuando con la metodología del método racional, y una vez obtenidas las precipitaciones, es clave la caracterización hidrológica de los terrenos para establecer el coeficiente de escorrentía.

En este sentido, la Instrucción 5.2.-I.C. "Drenaje Superficial" distingue umbrales de escorrentía atendiendo al uso de la tierra, la pendiente del terreno, la permeabilidad del suelo y el sentido de roturación de cultivos / densidad de vegetación.

Estos umbrales de escorrentía son corregidos mediante un factor regional que refleja la humedad habitual del suelo al comienzo de los aguaceros y que, para Málaga es del orden de 3

Ilustración 3: *Mapa del coeficiente corrector de escorrentía.*



Atendiendo a las características del territorio contrastadas en las sucesivas visitas al terreno, se consideran los siguientes grupos con características hidrológicas homogéneas con sus respectivos umbrales de escorrentía:

Descripción	Clasificación I5.2.IC	Umbral (Po)	Umbral Corregido (Po)
Olivar en terrenos arenosos y pendientes superiores al 3%	Cultivos en hilera con pendiente >=3% en suelos de infiltración moderada (grupo B)	13,00 mm	39,00 mm
Olivar en terrenos arenosos y pendientes inferiores al 3%	Cultivos en hilera con pendiente <3% en suelos de infiltración moderada (grupo B)	19,00 mm	37,00 mm
Barbechos en terrenos arenosos y pendiente superiores al 3%	Barbechos con pendiente >=3% en suelos de infiltración moderad (grupo B)	8,0 mm	24,00 mm
Olivar en terrenos arcillosos y pendientes superiores al 3%	Cultivos en hilera con pendiente >=3% en suelos de infiltración lenta (Grupo C)	8,00 mm	24,00 mm
Olivar en terrenos arcillosos y pendientes inferiores al 3$	Cultivos en hilera con pendiente <3% en suelos de infiltración lenta (grupo C)	14,0 mm	32,0 mm
Barbechos en terrenos arcillosos y pendientes superiores al 3%	Barbechos con pendiente >=3% en suelos de infiltración lenta (grupo C)	6,0 mm	18,00 mm
Barbechos en terrenos arcillosos y pendientes inferiores al 3%	Barbechos con pendiente <3% en suelos de infiltración lenta (grupo C)	11,0 mm	33,00 mm
Vegetación espesa	Rotación de cultivos densos con pendiente <3% en suelos de infiltración lenta (grupo C)	16,0 mm	38,00 mm
Bosquetes de arbolado y matorral sobre suelos arcillosos	Masa forestales claras en suelos de infiltración lenta (grupo C)	14,0 mm	32,0 mm
Zonas urbanizadas	Pavimentos bituminosos o de hormigón	1,0 mm	3 mm

Para el drenaje longitudinal, la cuenca vertiente es la mitad de la calzada y la propia bahía, por lo que se considera un Po de 1 mm o de 3 mm ya corregido.

7.- DRENAJE LONGITUDINAL. CUNETAS.

7.1.- DRENAJE DE LA PLATAFORMA Y MÁRGENES.

El drenaje de la plataforma se realiza por escorrentía superficial, ya que el firme es impermeable impidiendo la infiltración de agua a través de él en un porcentaje muy elevado. Por lo tanto, los mecanismos encargados de evacuar esta agua son los peraltes en conjunción con la pendiente longitudinal. Esta agua de escorrentía será llevada a la cuneta del pie de los desmontes, o a la cuneta de pie de terraplén según el tramo de carretera.

Las aguas de los taludes de desmonte serán recogidas por las cunetas dispuestas al pie de los mismos, las cuales tendrán las mismas pendientes longitudinales que la rasante de la carretera. Las aguas de los taludes de terraplén serán recogidas por las cunetas dispuestas al pie de los mismos.

En este apartado se han calculado dos tipos de cunetas y de pasacunetas:

- Cuneta triangular de 0,33 m. de altura y 1 m. de ancho y talud 3H: 2V, para la parada 1, que recoge las aguas provenientes de la mitad de la calzada y de los carriles de deceleración, zona de parada y carril de incorporación. En la zona de la bahía se dispondrá un bordillo para diferenciar la zona de resguardo del viajero donde se colocará un caz que evite la acumulación de agua.
- Cunetas triangulares de 0,5 m de altura y 1,5 m. de ancho y talud 3H: 2V, para las paradas 2, 3, 4 y 5, que recogen las aguas provenientes de la mitad de la calzada y de los carriles de deceleración, zona de parada y carril de incorporación. En la zona de la bahía se dispondrá un bordillo para diferenciar la zona de resguardo del viajero donde se colocará un caz que evite la acumulación de agua.
- Los pasacunetas serán de tubo de PVC Ø500. A la entrada y salida de los mismos se dispondrá de una arqueta de registro.

7.2.- CÁLCULO DE CAUDALES.

El caudal que van a recibir las cunetas será el siguiente:

$$q_L = \frac{C * a * L * I}{K}$$

Aunque en este caso hay que diferenciar dos zonas con comportamientos distintos:

1. Coeficiente de escorrentía en taludes de desmonte. Se va a considerar C_d = 0,35, y se va aplicar a un ancho medio de talud de 3 m de desmonte (d = 3 m). Este coeficiente se extrae de la tabla la Tabla 4.2.4.2a de la Instrucción 5.1-IC "Drenaje" donde se recoge el Coeficiente de escorrentía "C" a utilizar para el cálculo de caudales. Se ha tomando un valor correspondiente a zonas con vegetación media y zonas cultivadas.

Tabla 4: *La tabla siguiente se corresponde con la Tabla 4.2.4.2a de la Instrucción 5.1-IC "Drenaje" donde se recoge el Coeficiente de escorrentía "C" a utilizar para el cálculo de caudales.*

Tipo de superficie	Coeficiente de escorrentia
Pavimentos de hormigón y bituminosos	0,70 a 0,95
Pavimentos de macadam	0,25 a 0,60
Adoquinados	0,50 a 0,70
Superficie de grava	0,15 a 0,30
Zonas arboladas y bosque	0,10 a 0,20
Zonas con vegetación densa: Terrenos granulares Terrenos arcillosos	 0,05 a 0,35 0,15 a 0,50
Zonas con vegetación media: Terrenos granulares Terrenos arcillosos	 0,10 a 0,50 0,30 a 0,75
Tierra sin vegetación	0,20 a 0,80
Zonas cultivadas	0,20 a 0,40

2. Coeficiente de escorrentía en la calzada y los arcenes. Se considera $C_c = 0{,}95$, y se va aplicar un ancho de calzada de 9 m (c= 9 m). Se ha tomando un valor de la tabla anterior correspondiente a pavimentos de hormigón y bituminosos, con lo cual la fórmula queda de la siguiente forma:

$$q_L = \frac{(C_d * d + C_c * c) * I * L}{K}$$

siendo los demás factores:

- K: Su valor es de 3.000 ya que se considera el área en m^2.
- I: Es la intensidad media de precipitación correspondiente al periodo de retorno considerado y a un intervalo igual al tiempo de concentración.
- L es la longitud en la que se produce la aportación del caudal a las cunetas.

Para hallar I hacen falta los siguientes datos:

El periodo de retorno que aconseja la Instrucción 5.2-IC: "*Drenaje Superficial*" es de 25 años; la precipitación máxima en 24 horas para ese periodo, según se ha descrito en apartados anteriores es de P_d=130 mm. El tiempo de concentración estimado según la instrucción 5.2-IC es de 5 minutos (0,083 h).

La Intensidad media I de precipitación a emplear en la estimación de los caudales de avenida por métodos hidrometeorológicos se obtendrá por medio de la siguiente fórmula:

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

siendo:

- I_d(mm/h): la intensidad media diaria de precipitación, correspondiente al periodo de retorno considerado. Es igual a P_d/24.
- P_d(mm): la precipitación total diaria correspondiente a dicho periodo de retorno.
- I_1(mm/h): la intensidad horaria de precipitación correspondiente a dicho periodo de retorno. El valor de la razón I_1/ I_d se puede tomar del mapa de isolíneas que aparece en la Instrucción 5.2.I.C. En nuestro caso, dicho cociente tiene el valor de 9.
- t(n): duración del intervalo al que se refiere I, que se tomará igual al tiempo de concentración.

Por tanto se tiene:

$$I = \frac{Pd}{24} \cdot 9^{\left(\frac{28^{0.1} - t^{0.1}}{28^{0.1} - 1}\right)}$$

Tomando como P_d=130 mm., y t=0,083 horas, se tiene que el valor de la intensidad media de precipitación según la fórmula anterior es:

I = 165,54 mm/h

Sustituyendo los datos conocidos en la fórmula del caudal de aportación se obtiene:

$$q_L = \frac{(C_d * d + C_c * c) * I * L}{K} = \frac{(0{,}35 * 3 + 0{,}95 * 9) * 165{,}54 * L}{3.000} = 0{,}53 * L \quad (l / seg)$$

Caudal de aportación (*por metro*): q_L=0,53*L en l /seg.

7.3.- DIMENSIONAMIENTO DE LA CUNETA DE 1,50 M.

Los parámetros hidráulicos de esta cuneta son:

- Área a sección llena = 0,38 m^2.
- Perímetro mojado a sección llena = 1,80 m.
- Radio hidráulico = 0,21 m.

Aplicando la fórmula de la velocidad $V= K \times R^{2/3} \times J^{1/2}$ y considerando K = 62,5 para hormigón, tenemos lo siguiente:

– $V = 62,5 \times (0,21)^{2/3} \times J^{1/2}$

– $V =22,08 \times J^{1/2}$

de donde:

– $Q = S \times V = 0,38 \times 22,08 \times J^{1/2}$

– $Q = 8,39 \times J^{1/2}$

El caudal a evacuar se calculó anteriormente resultando q = 0,53 L, de forma que igualando ambos caudales y en función de la pendiente que presente la cuneta, se pueden obtener las longitudes máximas sin desbordamiento, así como las velocidades de la escorrentía.

Lo anterior se muestra en la tabla 5 siguiente, donde en función de la pendiente (J) se obtienen los caudales (Q) con la fórmula de la capacidad de la cuneta. Igualando estos caudales con los de aportación (q) obtenemos el valor de la longitud máxima de cuneta (L).

Se observa como las longitudes de cuneta, incluso para pendientes muy reducidas, son suficientes para los diversos tramos de cuneta diseñados (tabla 6), no planteándose así problemas de capacidad y/o desbordamiento de la cuneta tipo seleccionada, así como problemas de erosión del revestimiento, ya que las velocidades no sobrepasan los 6 m/s.

Los valores de velocidad obtenidos justifican la realización de cunetas revestidas de hormigón.

Cabe destacar que para pendientes del terreno del 1%, la velocidad del caudal en la cuneta es suficiente para el autolimpiado y no rebosaría en una longitud de 1,50 Km.

Tabla 5: *Longitud máxima de cuneta en función de la pendiente.*

LONGITUD MÁXIMA DE CUNETA EN FUNCIÓN DE LA PENDIENTE			
J [%]	**L [m] *Máxima***	**Q [m^3/s]**	**V [m/s]**
0,50%	1.119,36	0,593	1,56
1,00%	1.583,02	0,839	2,21
1,50%	1.938,79	1,028	2,70
2,00%	2.238,73	1,187	3,12
2,50%	2.502,97	1,327	3,49
3,00%	2.741,87	1,453	3,82
3,50%	2.961,56	1,570	4,13
4,00%	3.166,04	1,678	4,42
4,50%	3.358,09	1,780	4,68
5,00%	3.539,74	1,876	4,94
5,50%	3.712,51	1,968	5,18
6,00%	3.877,59	2,055	5,41

Tabla 6: *Longitudes y pendientes de las cunetas proyectadas en las distintas paradas.*

Parada	L [m] Nueva Cuneta	L [m] Cuneta Anterior	L [m] Total	J [%]	L [m] *Máxima*
2 Churriana	75	360	435	0,5 %	1.119,36
2 Churriana	35	-	35	1,5 %	1.938,79
3 El Tarajal	50	-	50	0,5 %	1.119,36
3 El Tarajal	55	-	55	1 %	1.583,02
4 La Huertecilla izqda.	105,5	300	405,5	1,5 %	1.938,79
4 La Huertecilla dcha.	90	300	390	0,5 %	1.119,36
5 Mercamálaga izqda.	105,5	60	165,5	1 %	1.583,02
5 Mercamálaga dcha.	80	-	80	1 %	1.583,02

Los valores de velocidad obtenidos justifican la realización de cunetas revestidas de hormigón.

Cabe destacar que para pendientes del terreno del 1%, la velocidad del caudal en la cuneta es suficiente para el autolimpiado y no rebosaría en una longitud de 1,50 Km.

7.4.- DIMENSIONAMIENTO DE LA CUNETA DE 1,00 M.

Los parámetros hidráulicos de esta cuneta son:

- Área a sección llena = 0,17 m^2.
- Perímetro mojado a sección llena = 1,20 m.
- Radio hidráulico = 0,14 m.

Aplicando la fórmula de la velocidad $V= K \times R^{2/3} \times J^{1/2}$ y considerando K = 62,5 para hormigón, tenemos lo siguiente:

– $V = 62,5 \times (0,14)^{2/3} \times J^{1/2}$

– $V =16,85 \times J^{1/2}$

de donde:

– $Q = S \times V = 0,17 \times 16,85 \times J^{1/2}$

– $Q = 2,86 \times J^{1/2}$

El caudal a evacuar se calculó anteriormente resultando q = 0,53 L, de forma que igualando ambos caudales y en función de la pendiente que presente la cuneta, se pueden obtener las longitudes máximas sin desbordamiento, así como las velocidades de la escorrentía.

Lo anterior se muestra en la tabla 7 siguiente, donde en función de la pendiente (J) se obtienen los caudales (Q) con la fórmula de la capacidad de la cuneta. Igualando estos caudales con los de aportación (q) obtenemos el valor de la longitud máxima de cuneta (L).

Se observa como las longitudes de cuneta, incluso para pendientes muy reducidas, son suficientes para los diversos tramos de cuneta diseñados (tabla 8), no planteándose así problemas de capacidad y/o desbordamiento de la cuneta tipo seleccionada, así como problemas de erosión del revestimiento, ya que las velocidades no sobrepasan los 6 m/s.

Los valores de velocidad obtenidos justifican la realización de cunetas revestidas de hormigón.

Cabe destacar que para pendientes del terreno del 3,50%, la velocidad del caudal en la cuneta es suficiente para el autolimpiado y no rebosaría en una longitud de 1,00 Km.

Se ha adoptado esta cuneta en la parada de Casabermeja, debido a las mayores pendientes del terreno natural.

Tabla 7: *Longitud máxima de cuneta en función de la pendiente.*

LONGITUD MÁXIMA DE CUNETA EN FUNCIÓN DE LA PENDIENTE			
J [%]	**L [m] *Máxima***	**Q [m³/s]**	**V [m/s]**
0,50%	381,57	0,202	1,19
1,00%	539,62	0,286	1,69
1,50%	660,90	0,350	2,06
2,00%	763,14	0,404	2,38
2,50%	853,22	0,452	2,66
3,00%	934,65	0,495	2,92
3,50%	1.009,54	0,535	3,15
4,00%	1.079,25	0,572	3,37
4,50%	1.144,71	0,607	3,57
5,00%	1.206,63	0,640	3,77
5,50%	1.265,53	0,671	3,95
6,00%	1.321,80	0,701	4,13

Tabla 8: *Longitud y pendiente de la cuneta proyectadas en la parada de Casabermeja.*

Parada	L [m] Nueva Cuneta	L [m] Cuneta Anterior	L [m] Total	J [%]	L [m] *Máxima*
1 Casabermeja.	90	330	420	3,5 %	1.009,54