

ESTUDIO DE MEJORA DE TRAZADO DE LA CARRETERA A-1515 ENTRE EL ENLACE A-23 Y EL MUNICIPIO DE RUBIELOS DE MORA (TERUEL) ESTUDIO HIDRÁULICO DE ESTRUCTURAS Y DRENAJE

Anejo X: Drenaje longitudinal y transversal

Trabajo final de grado

Titulación: Grado en Ingeniería de Obras Públicas

Curso: 2016/17

Fecha: Valencia, junio 2017

Autor: Adrián Martínez Biosca

Tutor: Ignacio Andrés Doménech

Cotutor: Eduardo Albentosa Hernández



Índice

1. Introducción.....	3
1.1. Metodología empleada	3
1.2. Esquema	3
1.3. Información de partida	6
2. Cálculo hidráulico	7
2.1. Obras de drenaje longitudinal.....	7
2.1.1. Caudal de diseño en la plataforma	7
2.1.1. Caudales de diseño.....	11
2.2. Obras de drenaje transversal	11
3. Diseño hidráulico de LAS OBRAS de drenaje.....	13
3.1. Diseño hidráulico drenaje longitudinal	14
3.2. Diseño hidráulico drenaje transversal.....	15
4. Conclusión	17
Apéndice I: Secciones transversales.....	18



1. INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se aborda el cálculo hidráulico de las obras de drenaje de las dos alternativas propuestas a la carretera A-1515. El drenaje es fundamental para el correcto funcionamiento de la variable y proporciona continuidad hidráulica a los cauces que atraviesan el trazado de la vía mediante el drenaje transversal y permite la evacuación de los caudales recogidos a lo largo de la carretera mediante el drenaje longitudinal.

1.1. Metodología empleada

Según la Instrucción 5.2-IC de marzo del 2016, el cálculo hidráulico debe realizarse con los valores de caudales de crecida correspondientes al periodo de retorno 25 para el drenaje longitudinal; mientras que debe realizarse con los caudales correspondientes a periodo de retorno 100 años para el drenaje transversal. Cabe destacar que se ha optado por dimensionar hidráulicamente las obras de drenaje, tanto longitudinal como transversal, para periodo de retorno 100 años. De esta manera, se aporta la coherencia al dimensionamiento, puesto que la pluviometría que se da en un momento determinado corresponde a un periodo de retorno de esa misma situación, no a las combinaciones entre ellos. Por tanto, todo el cálculo ha sido realizado teniendo en cuenta los caudales que proporcionan el estudio hidrológico para T100 años.

El primer paso para el cálculo hidráulico del drenaje es la determinación del esquema conceptual de las cuencas e intercuencas sobre la traza de las alternativas. Consecuentemente, y teniendo en cuenta la pendiente longitudinal de la carretera, se identifican las obras de drenaje longitudinal y transversal.

A continuación, se procede al cálculo de los caudales que dimensionan, tanto las obras de drenaje longitudinal como transversal. Los caudales que se tienen en cuenta son, los obtenidos en el Anejo IV: Estudio hidrológico y los caudales generados por escorrentía en la plataforma de la carretera mediante el método racional de Témez.

Cabe mencionar, que, debido a la existencia de dos alternativas, cada uno de los apartados tratados en el presente anejo diferencia entre Alternativa 1 y Alternativa 2.

La información de partida necesaria es el trazado de ambas alternativas, su pendiente longitudinal y las líneas de nivel de la zona.

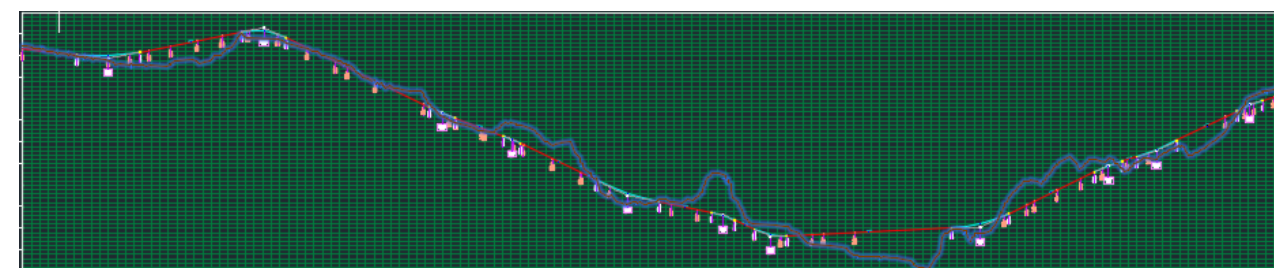


Fig.1 Perfil longitudinal de la Alternativa 1

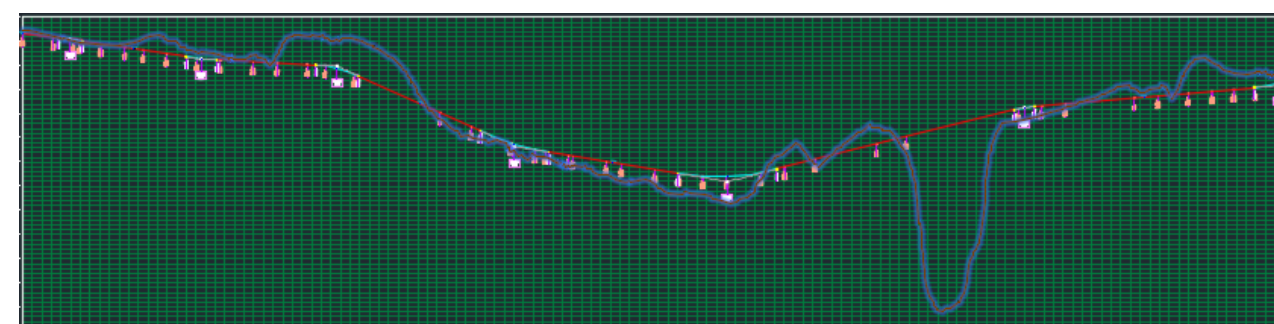


Fig.2 Perfil longitudinal de la Alternativa 2

Tal y como puede observarse en las figuras precedentes, los perfiles longitudinales de ambas alternativas presentan considerables diferencias. En la primera, se ha optado por un puente de poca altura de pilas y, por tanto, las pendientes que presenta son mayores. En la segunda alternativa, debido a que se ha optado por un puente arco, se salva el río Mijares a mayor altura y la pendiente que presenta son más suaves.

1.2. Esquema

Para la identificación de las obras de drenaje necesarias, se debe tener en cuenta los cauces naturales ya definidos que precisan de una obra de drenaje transversal con el objetivo de proporcionar continuidad hidráulica al mismo. En cuanto a las obras de drenaje longitudinal, dependen de la pendiente longitudinal de la carretera y deben estar conectadas con las obras de drenaje transversal para la evacuación de sus aguas.

La información de partida es la cartografía de base de curvas de nivel con resolución de 5m de cota y la identificación de las subcuencas e intercuencas resultado del Estudio Hidrológico.

Cabe destacar la denominación usada, las obras de drenaje transversal se han representado mediante la abreviación ODT; mientras que las obras de drenaje longitudinal se han representado mediante la abreviación CAN. La numeración seguida depende de la numeración de las subcuencas e intercuenca, por lo tanto, la ODT1 vierte la subcuenca 1 y la CAN 5 vierte a la intercuenca 5.

Con el objetivo de mejorar la representación visual de las obras de drenaje adoptada y debido a la gran longitud de ambas alternativas (aproximadamente 14Km), se ha optado por una división de la traza de la carretera en tres zonas en cada caso. En ambas alternativas, la zona central hace referencia al puente. En esta zona, el puente ya ha sido calculado hidráulicamente en el Anejo IX: Diseño hidráulico.

A continuación, se adjuntan imágenes donde puede observarse los esquemas adoptados para cada una de las alternativas estudiadas.

Alternativa 1

Para el estudio de las obras de drenaje, el esquema de los drenajes longitudinales y transversales, a parte de dividirse en dos zonas, norte y sur, también se divide la zona norte en dos tramos.

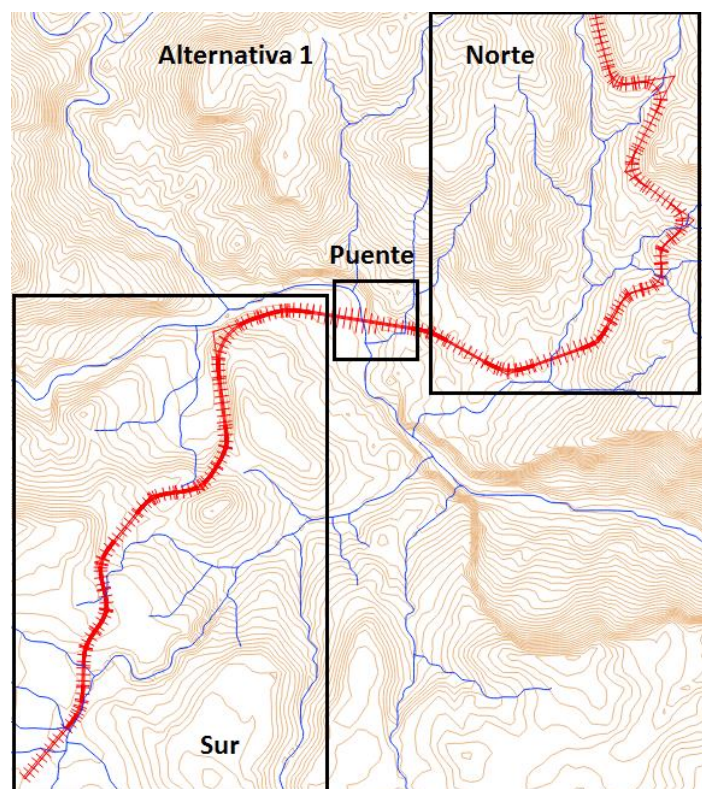


Fig.3. División en zonas. Alternativa 1



Fig.4. Zona sur. Drenaje longitudinal y transversal. Alternativa 1

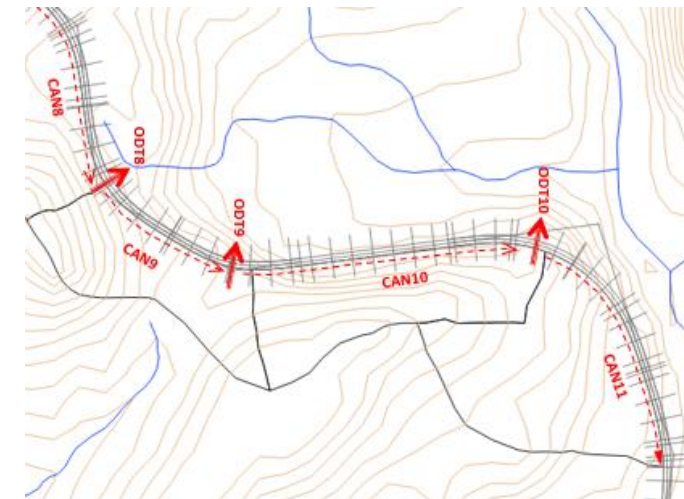


Fig.5. Primer tramo zona norte. Drenaje longitudinal y transversal. Alternativa 1

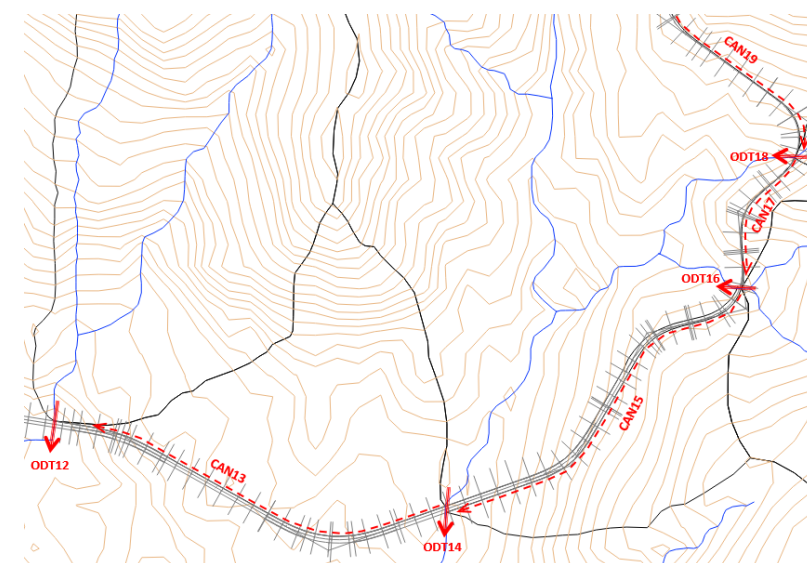


Fig.6. Segundo tramo zona norte. Drenaje longitudinal y transversal. Alternativa 1

Como puede observarse, hay un total de 12 obras de drenaje transversal y 12 obras de drenaje longitudinal. Como ya se ha mencionado, existe la obra de drenaje transversal correspondiente a la cuenca del Mijares.

Alternativa 2

Al igual que la Alternativa 1, en la Alternativa 2 también se realiza una división en tramos para proporcionar mayor claridad visual. Por tanto, la traza de la carretera se divide, por un lado, la zona sur y por otro, la zona norte. En la unión entre ambas zonas se encuentra el puente diseñado para la alternativa 2.

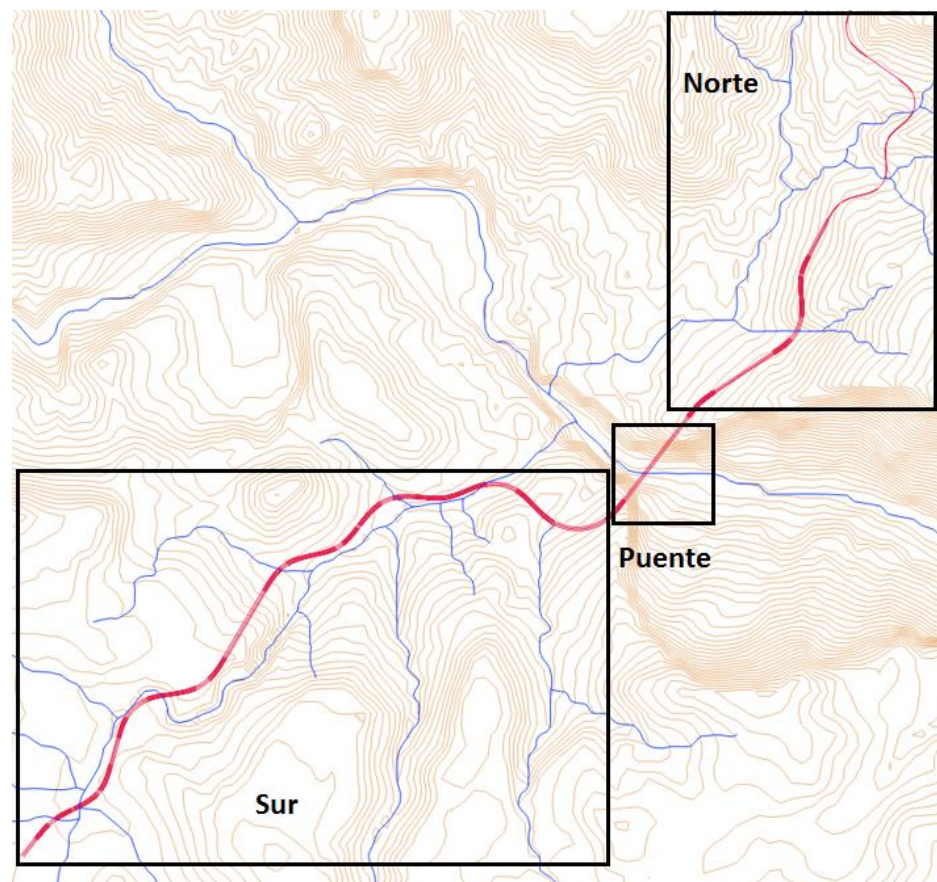


Fig. 7. División en zonas. Alternativa 2

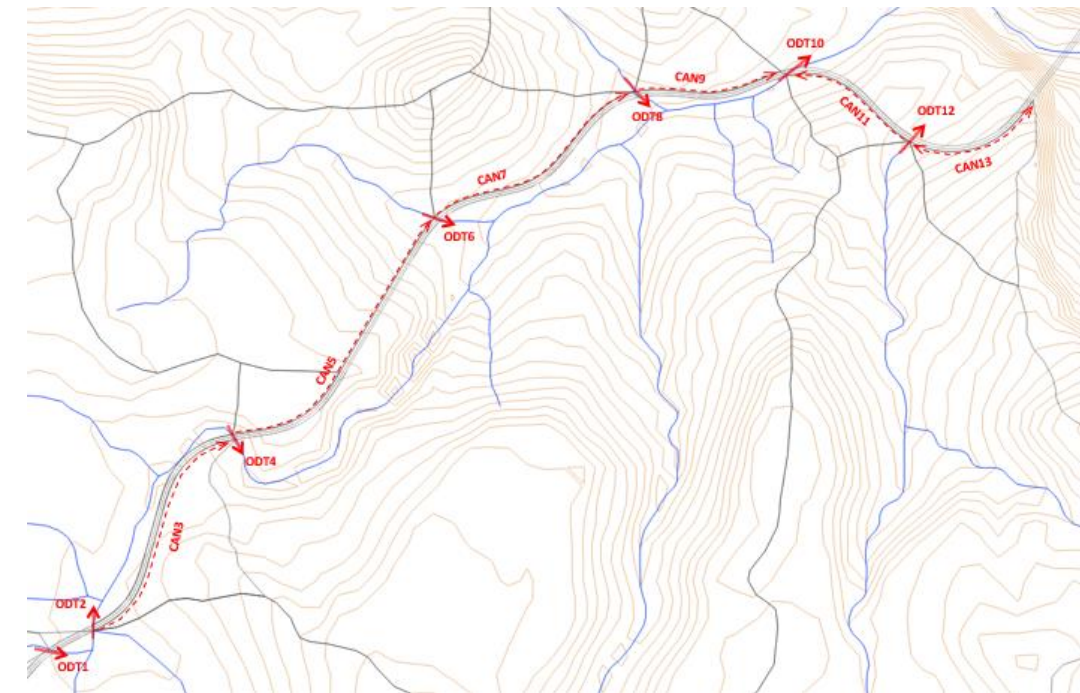


Fig. 8. Zona sur. Drenaje longitudinal y transversal. Alternativa 2

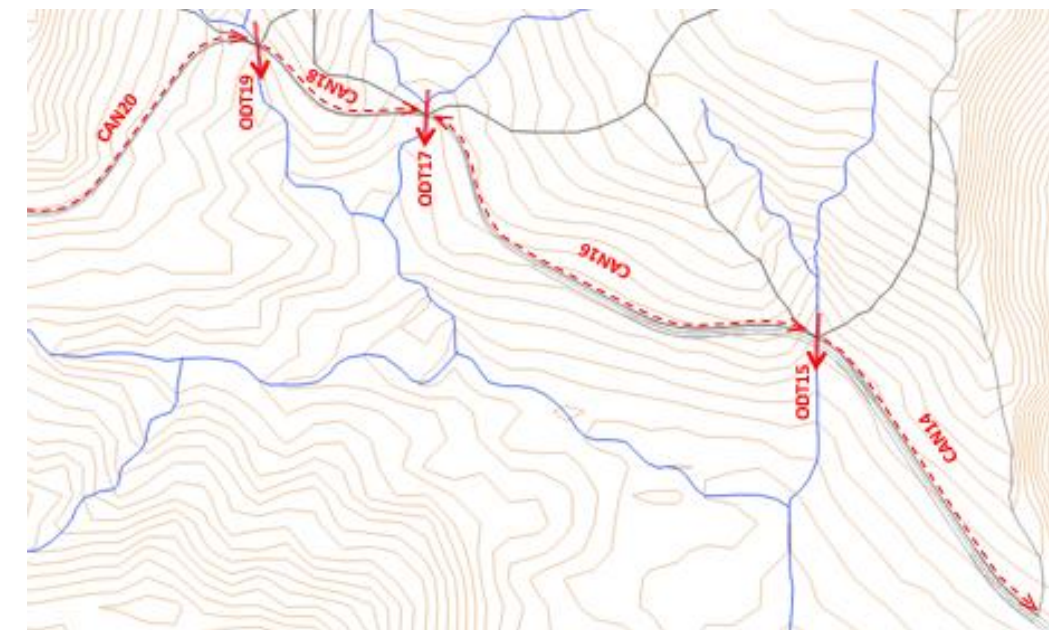


Fig. 9. Zona norte. Drenaje longitudinal y transversal. Alternativa 2

Como puede observarse en las anteriores imágenes, la alternativa 2 contiene 10 obras de drenaje transversal y 10 longitudinal. Además, como ya se ha mencionado, cabe tener en cuenta la cuenca del Mijares, que atraviesa la traza de la carretera mediante un puente.



1.3. Información de partida

Los caudales generados por cada una de las subcuencas e intercuencas definidas en los esquemas anteriores se obtienen en el Anejo IV: Estudio Hidráulico.

Para su cálculo se emplea el software HEC-HMS, suponiendo el modelo de Hidrograma unitario del SCS para la transformación de lluvia neta en escorrentía superficial y el modelo SCS Curve Number para la producción es escorrentía superficial

Cabe destacar que la denominación S corresponde a subcuencas mientras que IC corresponde a intercuencas.

Alternativa 1

Los caudales pico de los hidrogramas de crecidas de las subcuencas e intercuencas vertientes a la traza de la carretera se añaden en las siguientes tablas.

Subcuenca	Caudal pico (m³/s)
S1	0.665
S2	1.782
IC3	0.034
S4	0.983
IC5	0.025
IC6	0.16
IC7	0.103
IC8	0.023
IC9	0.013
IC10	0.232
IC11	0.09
S12	0.661

Alternativa 2

IC13	0.348
S14	1.282
IC15	0.024
S16	0.083
IC17	0.003
S18	0.031
IC19	0.018

Tabla1. Caudales pico. Alternativa 1

Subcuenca	Caudal pico (m³/s)
S1	0.665
S2	9.355
IC3	0.096
S4	10.089
IC 5	0.051
S6	0.215
IC7	0.001
S8	0.028
IC9	0.056
S10	10.072



IC11	0.057
S12	1.842
IC13	0.106
IC14	0.024
S15	0.078
IC 16	0.023
S17	0.083
IC 18	0.003
S 19	0.031
IC20	0.018

Tabla 2. Caudales pico. Alternativa 2.

2. CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación, se procede al cálculo de los caudales de diseño para las obras de drenaje, tanto longitudinal como transversal.

Las obras de drenaje longitudinal se dimensionan para tener la capacidad de albergar, tanto los caudales de las intercuenas que vierten en él, como los caudales que se generan en el tramo de carretera donde se sitúa la canaleta.

Las obras de drenaje transversal se dimensionan para tener capacidad de paso a los caudales de las subcuencas que desaguan al mismo, y, teniendo en cuenta la pendiente de la carretera, a los caudales que transportan las canaletas que vierten en él.

2.1. Obras de drenaje longitudinal

Las obras de drenaje longitudinal hacen referencia a las canaletas que se sitúan a uno o ambos lados de la plataforma de la carretera. Los caudales de diseño se obtienen de la suma de los caudales de las intercuenas y los caudales de diseño de la plataforma se hallan mediante el método de Témez racional.

2.1.1. Caudal de diseño en la plataforma

Con el fin de calcular los caudales generados como escorrentía superficial sobre la plataforma, utilizaremos el método racional, ya que esta es la manera que estipula la instrucción 5.2-IC de marzo de 2016 que se debe emplear. En este caso, se calculará el caudal generado por la escorrentía para un periodo de retorno de 100 años. La fórmula para calcular el caudal es la siguiente:

$$Q_T = \frac{CK_t AI(T, t_c)}{3.6} \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

- Q_T es el caudal máximo anual correspondiente al periodo de retorno T , en el punto de desagüe (m^3/s).
- C es el coeficiente adimensional medio de escorrentía de la cuenca o superficie considerada. La fórmula es la siguiente:



$$C = \frac{\left(\frac{P_d * K_A}{P_o} - 1\right) + \left(\frac{P_d * K_A}{P_o} + 23\right)}{\left(\frac{P_d * K_A}{P_o} + 11\right)^2} \quad (\text{Ec.2})$$

Donde:

- P_d es la precipitación diaria correspondiente al periodo de retorno (T) considerado (mm).
- K_A es el coeficiente adimensional reductor de la precipitación por área de la cuenca calculado en el Anejo IV Estudio Hidrológico. Su valor es de 0.796.
- P_o es el umbral de escorrentía (mm). El cual se obtiene de la siguiente manera:

$$P_o = P_o^i \beta$$

Donde:

- P_o^i es el valor inicial del umbral de escorrentía (mm), en este caso tiene el valor de 2 mm hallado según el BORN (Boletín Oficial de la Región de Murcia, documento nº 173) debido a que el uso de suelo es una red viaria.
- β es un coeficiente adimensional corrector del umbral de escorrentía. El cual, para calcular el drenaje de la plataforma se debe aplicar el producto del valor medio de la región del coeficiente corrector del umbral de escorrentía por un factor dependiente del periodo de retorno T, con la siguiente fórmula:

$$\beta^{PM} = \beta_m F_t \quad (\text{Ec.3})$$

Donde:

- β_m es un factor adimensional, y toma el valor medio en la región del coeficiente corrector del umbral de escorrentía.
- F_t es un factor adimensional función del periodo de retorno T.

En este caso no ha sido necesario la utilización de la anterior formulación debido a que el valor del factor corrector del umbral de escorrentía β se ha

hallado en el Anejo IV *Estudio Hidrológico* mediante la calibración del modelo de simulación del sistema hidrológico. El resultado obtenido es un valor de $\beta=1.6$

- A es el área, en km², de la cuenca o superficie drenada. Esta área corresponde al tramo de cada cuneta, teniendo en cuenta que la mitad del área de la plataforma verterá a la margen derecha y la otra mitad a la margen izquierda.
- $I(T, t_c)$ es la intensidad de precipitación correspondiente al periodo de retorno considerado y un intervalo de duración de aguacero igual al tiempo de concentración. Su fórmula es:

$$I(T, t) = I_d F_{int} \quad (\text{Ec.4})$$

Donde:

- $I(T, t_c)$ en mm/h es la intensidad de precipitación correspondiente a un periodo de retorno T y a una duración del aguacero t
- I_d en mm/h es la intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al periodo de retorno T. Cuya fórmula es:

$$I_d = \frac{P_d K_A}{24} \quad (\text{Ec.5})$$

Donde:

- I_d en mm/h es la intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al periodo de retorno T
- P_d en mm es la precipitación diaria correspondiente al periodo de retorno T
- K_A es el factor reductor de la precipitación por área de la cuenca de valor:

$$\begin{aligned} &\text{-Si } A < 1 \text{ Km}^2 & K_A &= 1 \\ &\text{-Si } A \geq 1 \text{ Km}^2 & K_A &= 1 - \frac{\log_{10} A}{15} \end{aligned} \quad (\text{Ec.6})$$

- F_{int} es el factor de intensidad, que depende de la duración del aguacero y del periodo de retorno. Se tomará el mayor valor de los obtenidos de entre los que se indican a continuación:

$$F_{int} = \max(F_a, F_b) \quad (\text{Ec.7})$$



Donde:

- F_a es un factor adimensional obtenido a partir del índice de torrencialidad (I_i/I_d). De manera que:

$$F_a = \left(\frac{I_i}{I_d} \right)^{3.5287 - 2.5287 * t^{0.1}} \quad (\text{Ec.8})$$

Donde t (h) es la duración del aguacero.

- F_b es un coeficiente adimensional obtenido a partir de las curvas IDF de un pluviógrafo próximo. Se calcula del siguiente modo:

$$F_b = K_b \frac{I_{IDF}(T, t_c)}{I_{IDF}(T, 24)} \quad (\text{Ec.9})$$

Donde:

- $I_{IDF}(T, t_c)$ es la intensidad de precipitación en mm/h correspondiente al periodo de retorno T y al tiempo de concentración obtenido a través de las curvas IDF del pluviógrafo.
- $I_{IDF}(T, 24)$ es la intensidad de precipitación correspondiente al periodo de retorno T y a un tiempo de aguacero igual a 24 horas obtenido a través de las curvas IDF.
- K_b es un factor adimensional que tiene en cuenta la relación entre la intensidad máxima anual en un periodo de 24 horas y la intensidad máxima anual diaria.

En este caso, no es necesaria la aplicación de la anterior formulación debido a que en el Anejo IV: Estudio Hidrológico se halló un factor de torrencialidad de valor 11.2.

- K_T es un coeficiente de uniformidad en la distribución temporal obtenido mediante la siguiente fórmula:

$$K_T = 1 + \frac{t_c^{1.25}}{t_c^{1.25} + 14} \quad (\text{Ec.10})$$

Donde:

- K_t = coeficiente adimensional de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación.

- T_c = es el tiempo de concentración de la cuenca en horas, en este caso de la plataforma, se debe calcular del modo que nos dicta la instrucción 5.2-IC para flujo difuso sobre el terreno. Este modo se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$t_{dif} = 2L_{dif}^{0.408} * n_{dif}^{0.312} * J_{dif}^{-0.209} \quad (\text{Ec.11})$$

Donde:

- t_{dif} en minutos, es el tiempo recorrido en flujo difuso sobre el terreno.
- n_{dif} es un coeficiente adimensional de flujo difuso, de valor 0.015.
- L_{dif} en metros, es la longitud de recorrido en flujo difuso.
- J_{dif} es la pendiente media de la plataforma (adimensional).

Tras realizar el cálculo en ambas alternativas, se obtienen los valores de los caudales de plataforma. Estos caudales vierten a las canaletas del propio tramo de carretera en el cual se halla dicho caudal.

A continuación, se muestran dos tablas, una para cada alternativa, donde puede observarse los distintos valores de los parámetros necesarios para hallar el caudal de diseño de la plataforma.

Alternativa 1

Tramos	PK inicio	PK final	Longitud(m)	Pendiente (m/m)	Tiempo difuso (min)	Kt	A (Km²)	Q plataforma (m³/s)
PLAT3	0+120	0+200	80	0.039	6.35	1.00	0.0006	0.007
PLAT5	0+200	0+400	200	0.039	9.23	1.01	0.0016	0.017
PLAT6	0+400	0+840	440	0.095	10.57	1.01	0.0035	0.038
PLAT7	0+840	1+040	200	0.095	7.66	1.01	0.0016	0.017
PLAT8	1+040	1+060	20	0.075	3.15	1.00	0.0002	0.002
PLAT9	1+060	1+072.23	12.23	0.075	2.57	1.00	0.0001	0.001



PLAT10	1+072.23	1+340	267.77	0.040	10.34	1.01	0.0021	0.023
PLAT11	1+340	2+220	120	0.090	6.29	1.00	0.0010	0.010
PLAT13	2+220	2+577.58	357	0.096	9.69	1.01	0.0029	0.031
PLAT15	2+577.58	3+297	720	0.098	12.84	1.01	0.0058	0.063
PLAT17	3+297	3+547	250	0.057	9.34	1.01	0.0020	0.022
PLAT19	3+547	3+797	250	0.054	9.45	1.01	0.0020	0.022

Tabla 3. Caudales de diseño de la plataforma. Alternativa 1

Para el cálculo de los caudales anteriores de plataforma, se han tenido en cuenta los siguientes valores constantes de los parámetros.

C	0.909	adim.
Pd	115.48	mm
P0	3.2	mm
Pd*	91.9	mm
Id	3.8	mm/h
I(l,tc)	42.9	mm/h

Tabla 4. Valores parámetros del método de Témez racional. Alternativa 1.

Alternativa 2

Tramos	PK inicio	PK final	Longitud (m)	Pendiente (m/m)	Tiempo difuso (min)	Kt	A (Km ²)	Q plataforma (m ³ /s)
PLAT3	0+112.73	0+164.67	51.94	0.030	5.61	1.00	0.0004	0.005
PLAT5	0+164.67	0+510	345.33	0.091	9.67	1.01	0.0028	0.030

PLAT7	0+510	0+900	390	0.033	12.59	1.01	0.0031	0.034
PLAT9	0+900	1+142.7	242.7	0.033	10.37	1.01	0.0019	0.021
PLAT11	1+142.7	1+461.2	318.5	0.050	10.61	1.01	0.0025	0.028
PLAT13	1+461.2	1+644.99	183.79	0.044	8.70	1.01	0.0015	0.016
PLAT14	1+644.99	2+388.16	743.17	0.018	18.65	1.02	0.0059	0.065
PLAT16	2+388.16	2+700.0	311.84	0.057	10.24	1.01	0.0025	0.027
PLAT18	2+700.0	2+844.4	144.4	0.033	8.38	1.01	0.0012	0.013
PLAT20	2+844.4	2+956.8	112.4	0.016	8.83	1.01	0.0009	0.010

Tabla 5. Caudales de diseño de la plataforma. Alternativa 2.

Al igual que la Alternativa 1, para el cálculo de los caudales anteriores de plataforma, se han tenido en cuenta los siguientes valores constante de los parámetros.

C	0.909	adim.
Pd	115.48	mm
P0	3.2	mm
Pd*	91.9	mm
Id	3.8	mm/h
I(l,tc)	42.9	mm/h

Tabla 6. Valores parámetros del método de Témez racional. Alternativa 2.

Puede concluirse que los valores obtenidos de los caudales de plataforma son generalmente homogéneos en ambas alternativas



2.1.1. Caudales de diseño

Observando las imágenes presentadas en el apartado 1.2 del presente anejo y teniendo en cuenta las líneas de nivel de la zona, se determinan qué caudales deben drenar cada una de las obras de drenaje longitudinal.

A continuación, se adjuntan dos tablas, una para cada alternativa, donde se definen qué caudales desaguan en cada canaleta.

Alternativa 1

ODL	Caudales vertientes	Q (m³/s)
CAN3	IC3+PLAT3	0.041
CAN5	IC5+PLAT5	0.042
CAN6	IC6+PLAT6	0.198
CAN7	IC7+PLAT7	0.120
CAN8	IC8+PLAT8	0.025
CAN9	IC9+PLAT9	0.014
CAN10	IC10+PLAT10	0.255
CAN11	IC11+PLAT11	0.100
CAN13	IC13+PLAT13	0.379
CAN15	IC15+PLAT15	0.087
CAN17	IC17+PLAT17	0.025
CAN19	IC19+PLAT19	0.040

Tabla 7. Caudales de diseño drenaje longitudinal. Alternativa 1

Alternativa 2

ODL	Caudales vertientes	Q (m³/s)
CAN 3	IC3 + PLAT3	0.101
CAN 5	IC5 + PLAT5	0.081
CAN 7	IC7 + PLAT7	0.035
CAN 9	IC9 + PLAT9	0.077
CAN 11	IC11 + PLAT11	0.085
CAN 13	IC13 + PLAT13	0.122
CAN 14	IC14 + PLAT14	0.089
CAN 16	IC16 + PLAT16	0.050
CAN 18	IC18 + PLAT18	0.016
CAN 20	IC20 + PLAT20	0.028

Tabla 8. Caudales de diseño drenaje longitudinal. Alternativa 2.

2.2. Obras de drenaje transversal

Las obras de drenaje transversal hacen referencia a tubos, marcos o incluso puentes que cruzan la traza de la carretera y permiten el paso de caudales mayores.

Para determinar el caudal de diseño de las obras de drenaje transversal, se tiene en cuenta el esquema de las obras de drenaje de las imágenes presentadas en el apartado 1.2 del presente anejo, la pendiente longitudinal de la carretera y las líneas de nivel de la zona.

A continuación, se adjuntan dos tablas, cada una de ellas para una alternativa, donde puede observarse los caudales de diseño de las obras de drenaje transversal.



Alternativa 1

ODT	Caudales vertientes	Q (m³/s)
ODT1	S1	0.665
ODT2	S2+CAN3	1.823
ODT4	S4+CAN5	1.025
ODT6	CAN6	0.198
ODT7	CAN7	0.120
ODT8	CAN8	0.025
ODT9	CAN9	0.014
ODT10	CAN10	0.255
ODT12	S12+CAN11+CAN13	1.141
ODT14	S14+CAN15	1.369
ODT16	S16+CAN17	0.108
ODT18	S8+CAN19	0.071

Tabla 9. Caudales de diseño drenaje transversal. Alternativa 1.

Alternativa 2

ODT	Caudales vertientes	Q (m³/s)
ODT 1	S1	0.7
ODT 2	S2	9.4
ODT 4	S4 + CAN3	10.2

ODT 6	S6 + CAN5	0.3
ODT 8	S8 + CAN7	0.1
ODT 10	S10 + CAN9 + CAN11	10.2
ODT 12	S12 + CAN13/2	1.9
ODT 15	S15 + CAN16/2	0.1
ODT 17	S17 + CAN16/2 + CAN18/2	0.1
ODT 19	S19 + CAN18/2+ CAN20	0.1

Tabla 10. Caudales de diseño drenaje transversal. Alternativa 2.



3. DISEÑO HIDRÁULICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE

En los elementos lineales se debe comprobar que se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

- La capacidad hidráulica, de los elementos lineales en régimen uniforme y en lámina libre para la sección llena sin entrada en carga debe ser mayor que el caudal de proyecto Q_T .

$$Q_{CH} = \frac{J^{\frac{1}{2}} R_H^{\frac{2}{3}} S_{max}}{n} \geq Q_p \quad (\text{Ec.12})$$

- La velocidad media del agua para el caudal de proyecto, debe ser menor que la que produce daños en el elemento de drenaje superficial, en función de su material constitutivo.

$$V_p = \frac{Q_p}{S_p} \leq V_{max} \quad (\text{Ec.13})$$

Donde:

- Q_{CH} (m^3/s) Capacidad hidráulica del elemento de drenaje. Caudal en régimen uniforme en lámina libre para la sección llena calculado igualando las pérdidas de carga por rozamiento con las paredes y fondo del conducto a la pendiente longitudinal.
- J (adimensional) Pendiente geométrica del elemento lineal
- S_{Max} (m^2) Área de la sección transversal del conducto
- R_H (m) Radio hidráulico.
- S (m^2) Área de la sección transversal ocupada por la corriente
- p (m) Perímetro mojado
- n ($\text{s}/\text{m}^{1/3}$) Coeficiente de rugosidad de Manning, dependiente del tipo de material del elemento lineal. Salvo justificación en contrario, se deben tomar los valores de la tabla 11.
- Q_P (m^3/s) Caudal de proyecto del elemento de drenaje
- V_P (m/s) Velocidad media de la corriente para el caudal de proyecto
- S_P (m^2) Área de la sección transversal ocupada por la corriente para el caudal de proyecto

- V_{Max} (m/s) Velocidad máxima admisible en el elemento de drenaje transversal, dada por la tabla 12, en función del material del que está constituido

MATERIAL		n ($\text{sm}^{-1/3}$)
Cuneta	Sin vegetación. Superficie uniforme	0,020-0,025
	Sin vegetación. Superficie irregular	0,020-0,033
	Con vegetación herbácea segada	0,033-0,040
	Con vegetación herbácea espesa	0,040-0,050
	En roca. Superficie uniforme	0,029-0,033
	En roca. Superficie irregular	0,033-0,050
	Fondo de grava. Cajeros de hormigón	0,017-0,020
	Fondo de grava. Cajeros encachados	0,022-0,033
	Encachado	0,020-0,029
	Hormigón proyectado	0,017-0,022
	Revestida con hormigón in situ	0,013-0,017
	Pavimento con mezclas bituminosas	0,013-0,018
Hormigón en marcos y otras estructuras in situ		0,014-0,017
Gaviones		0,020-0,040
Tubo de hormigón		0,012-0,017
Tubo de fundición		0,010-0,015
Tubo de acero		0,010-0,014
Tubo de materiales poliméricos		0,008-0,013

Tabla 11. Rugosidad de los materiales de las canaletas y conductos

Naturaleza de la superficie	Máxima velocidad admisible (m/s)
Terreno sin vegetación arenoso o limoso	0,20-0,60
Terreno sin vegetación arcilloso	0,60-0,90
Terreno sin vegetación en arcillas duras y margas blandas	0,90-1,40
Terreno sin vegetación en gravas y cantos	1,20-2,30
Terreno parcialmente cubierto de vegetación	0,60-1,20
Terreno con vegetación herbácea permanente	1,20-1,80
Rocas blandas	1,40-3,00
Mampostería, rocas duras	3,00-5,00
Hormigón	4,50-6,00

Tabla 12. Máxima velocidad del agua.



3.1. Diseño hidráulico drenaje longitudinal

Partiendo de la formulación anteriormente descrita, se procede al dimensionamiento de las obras de drenaje longitudinal. Se trata de un proceso iterativo en el que el caudal interceptado y las pendientes de la plataforma se mantienen constantes en cada tramo de estudio.

En primer lugar, se comprueba la capacidad máxima de la cuneta mediante el cálculo de la capacidad hidráulica mediante la fórmula de Manning. A continuación, se realiza un tanteo de las posibles dimensiones de la sección de la canaleta, con el objetivo de encontrar la sección óptima que cumpla las siguientes condiciones:

- Velocidad máxima del flujo limitada por el material empleado indicada en la Tabla 12.
- Número de Froude fuera del rango de entre 0.9 y 1.1 con el fin de no estar en régimen crítico.
- Resguardo mínimo.

El material escogido para el dimensionamiento de las canaletas es el hormigón proyectado, por tanto, los valores de Manning a tener en cuenta están entre 0.013 y 0.017 y la velocidad máxima admisible se encuentra entre 4.5 y 6 m/s.

Este proceso se realiza en cada una de las canaletas a dimensionar, y tal y como se puede observar en las tablas 7 y 8, los valores de los caudales de diseño son generalmente semejantes para ambas alternativas. Por lo tanto, cabe esperar que las dimensiones de las cunetas finalmente adoptadas tengan dimensiones similares.

Con el objetivo de proporcionar homogeneidad a todo el recorrido de ambas alternativas y mayor facilidad constructiva, se opta por emplear una sección de canaleta para toda la longitud de cada alternativa. Ésta será aquella que cumpla la situación más desfavorable.

A continuación, se muestran dos tablas, cada una de ellas hace referencia a cada una de las alternativas. Cabe destacar que, en ambas alternativas, una cuneta de dimensiones 0.3m de base con taludes 1:1 cumplen perfectamente las condiciones anteriormente mencionada para cada uno de los caudales y pendientes de cada tramo.

Alternativa 1

Margen	Canaleta	Qdiseño (m³/s)	Pendiente (m/m)	Calado (m)	Nº Froude	Velocidad (m/s)	Resguardo (m)
Izquierda	CAN3	0.041	0.039	0.064	2.39	1.727	0.236
Izquierda	CAN5	0.042	0.039	0.064	2.39	1.727	0.236
Izquierda	CAN6	0.198	0.095	0.123	3.95	3.818	0.177
Izquierda	CAN7	0.120	0.095	0.093	3.864	3.311	0.207
Derecha	CAN8	0.025	0.075	0.04	3.16	1.864	0.26
Derecha	CAN9	0.014	0.075	0.029	3.049	1.552	0.271
Derecha	CAN10	0.255	0.040	0.178	2.648	2.987	0.122
Derecha	CAN11	0.100	0.090	0.085	3.732	3.07	0.215
Izquierda	CAN13	0.379	0.096	0.174	4.093	4.5	0.126
Derecha	CAN15	0.087	0.098	0.076	3.858	3.041	0.224
Derecha	CAN17	0.025	0.057	0.043	2.782	1.702	0.257
Derecha	CAN19	0.040	0.054	0.058	2.79	1.946	0.242

Tabla 13. Características hidráulicas del drenaje longitudinal. Alternativa 1

Alternativa 2

Margen	Canaleta	Qdiseño (m³/s)	Pendiente (m/m)	Calado (m)	Nº Froude	Velocidad (m/s)	Resguardo (m)
Derecha	CAN 3	0.101	0.030	0.116	2.213	2.086	0.184
Izquierda	CAN 5	0.081	0.091	0.075	3.711	2.898	0.225
Izquierda	CAN 7	0.035	0.033	0.062	2.196	1.58	0.23

Izquierda	CAN 9	0.077	0.033	0.062	2.196	1.58	0.238
Derecha	CAN 11	0.085	0.050	0.091	2.8	2.383	0.209
Derecha	CAN 13	0.122	0.044	0.116	2.68	2.527	0.184
Derecha	CAN 14	0.089	0.018	0.125	1.72	1.679	0.185
Derecha	CAN 16	0.050	0.057	0.065	2.9	2.133	0.235
Derecha	CAN 18	0.016	0.033	0.04	2.098	1.236	0.26
Derecha	CAN 20	0.028	0.016	0.068	1.542	1.154	0.232

Tabla 14. Características hidráulicas del drenaje longitudinal. Alternativa 2

Se concluye, por tanto, que la sección adoptada en ambas alternativas es una sección trapezoidal revestida de hormigón proyectado de base 0.3m y taludes laterales de 1:1. A continuación, se adjunta una imagen de la sección tipo empleada.

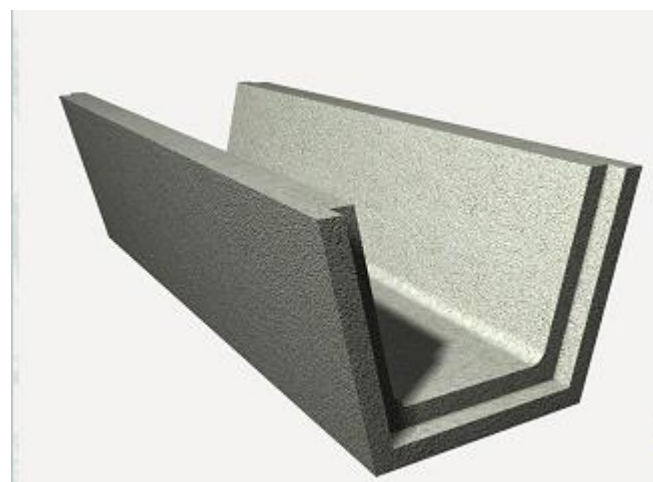


Fig.10. Sección tipo de obra de drenaje longitudinal.

3.2. Diseño hidráulico drenaje transversal

Al igual que en el diseño hidráulico del drenaje longitudinal, también se emplea como base la formulación descrita al inicio del presente apartado.

El proceso seguido para el dimensionamiento de las obras de drenaje transversal es el mismo que el empleado para el dimensionamiento de las obras de drenaje longitudinal, pero teniendo en cuenta además la altura de coronación del talud, el cual se puede ver en el apéndice I: Secciones Transversales. Dichas secciones han sido halladas en el anejo V: Diseño geométrico. Además, las condiciones a cumplir son las mismas puesto que se ha empleado el mismo material, hormigón proyectado.

A diferencia del drenaje longitudinal, los caudales de diseño del drenaje transversal son más diversos, y, por tanto, cada una de las obras de drenaje tendrá unas dimensiones distintas. Véase tablas 9 y 10.

Tras un proceso iterativo entre los valores de caudales y las dimensiones adoptadas, se obtiene finalmente la solución óptima en cada una de las obras de drenaje transversal.

A continuación, se adjunta, para cada una de las alternativas, dos tablas, la primera de ellas correspondiente a los parámetros hidráulicos y la segunda a la tipología y dimensiones de las soluciones adoptadas.

Alternativa 1

ODT	Qdiseño (m³/s)	PK	Calado (m)	Nº Froude	Velocidad (m/s)	Resguardo (m)
ODT1	0.67	0+120	0.322	2.395	3.702	0.428
ODT2	1.82	0+200	0.503	2.33	4.5	0.5
ODT4	1.03	0+400	0.366	2.42	3.9	0.634
ODT6	0.20	0+840	0.175	2.316	2.549	0.575
ODT7	0.12	1+040	0.156	2.176	2.291	0.344
ODT8	0.02	1+060	0.065	2.064	1.359	0.435
ODT9	0.01	1+072.23	0.065	2.064	1.359	0.435



ODT10	0.26	1+340	0.2	2.326	2.75	0.55
ODT12	1.14	2+220	0.387	2.42	4.065	0.613
ODT14	1.37	2+577.58	0.428	2.396	4.271	0.572
ODT16	0.11	3+297	0.156	2.176	2.291	0.344
ODT18	0.07	3+547	0.119	2.166	1.964	0.381

Tabla 15. Características hidráulicas del drenaje transversal. Alternativa 1

Obra de drenaje	Tipología	Diámetro (m)
ODT1	tubo	0.75
ODT2	tubo	1
ODT4	tubo	1
ODT6	tubo	0.75
ODT7	tubo	0.5
ODT8	tubo	0.5
ODT9	tubo	0.75
ODT10	tubo	0.75
ODT12	tubo	1
ODT14	tubo	1
ODT16	tubo	0.5
ODT18	tubo	0.5

Tabla 16. Soluciones adoptadas. Alternativa 1

Alternativa 2

ODT	Qdiseño (m³/s)	PK	Calado (m)	Nº Froude	Velocidad (m/s)	Resguardo (m)
ODT 1	0.7	0+112.73	0.3	2.5	3.8	0.4
ODT 2	9.4	0+164.67	1.1	1.7	5.5	0.4
ODT 4	10.2	0+510	1.2	1.7	5.6	0.3
ODT 6	0.3	0+900	0.2	2.4	2.9	0.5
ODT 8	0.1	1+142.7	0.1	2.3	2.3	0.4
ODT 10	10.2	1+461.2	1.2	1.7	5.6	0.3
ODT 12	1.9	1+644.99	0.5	2.4	4.8	0.5
ODT 15	0.1	2+388.16	0.1	2.3	2.0	0.4
ODT 17	0.1	2+700.0	0.1	2.3	2.0	0.4
ODT 19	0.1	2+844.4	0.1	2.3	2.0	0.4

Tabla 17. Características hidráulicas del drenaje transversal. Alternativa 2

Obra de drenaje	Tipología	Diámetro (m)
ODT 1	tubo	1
ODT 2	marco	1.5x1.5
ODT 4	marco	1.5x1.5
ODT 6	tubo	0.75
ODT 8	tubo	0.5
ODT 10	marco	1.5x1.5



ODT 12	tubo	1
ODT 15	tubo	0.5
ODT 17	tubo	0.5
ODT 19	tubo	0.5

Tabla 18. Soluciones adoptadas. Alternativa 2

4. CONCLUSIÓN

Teniendo en cuenta lo expuesto en el presente anejo, se concluye que en ambas alternativas es necesario el cálculo hidráulico tanto de obras longitudinales como transversales.

En cuanto al drenaje longitudinal se trata, debido a la general homogeneidad de los caudales de diseño, resultado de la suma de los caudales que desaguan las intercuenas y el propio caudal generado en la plataforma, se escogen unas dimensiones constantes de cuneta para ambas alternativas.

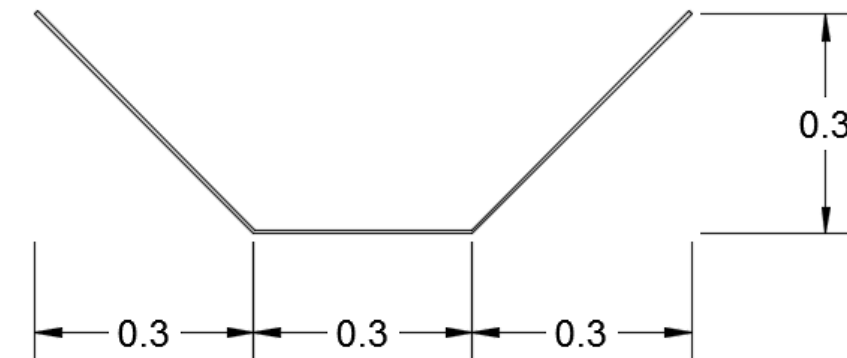


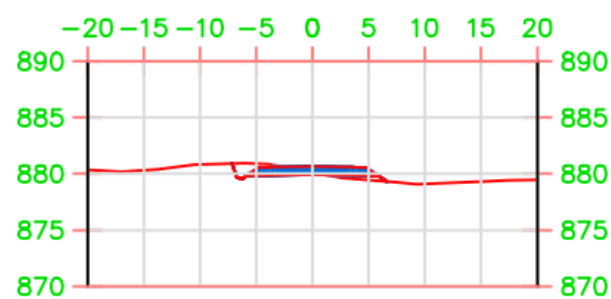
Fig.11. Sección canaleta.

En cambio, los valores de los caudales de diseño que presentan las obras de drenaje transversal son más dispares, desde valores de 0.1 m³/s hasta 10.2 m³/s. Además, cada una de las obras presenta características diferentes según la sección transversal del PK de la carretera en la que se encuentre. El resultado del dimensionamiento, por tanto, genera soluciones diversas, desde tubos de diámetro 0.5 hasta marcos de 1.5x1.5.



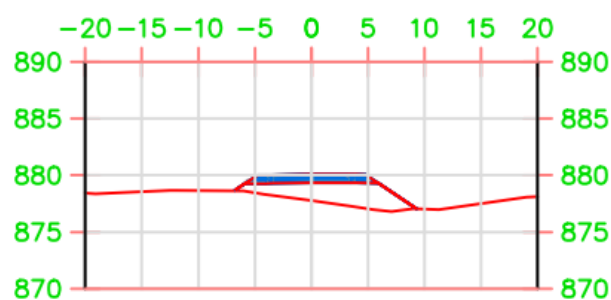
APÉNDICE I: SECCIONES TRANSVERSALES

Secciones Alternativa 1



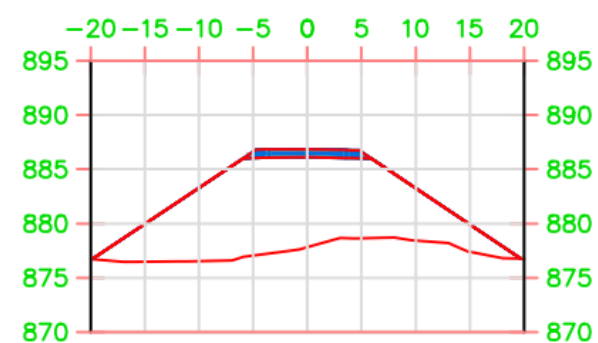
P.K.=0+120

Fig.12 ODT1



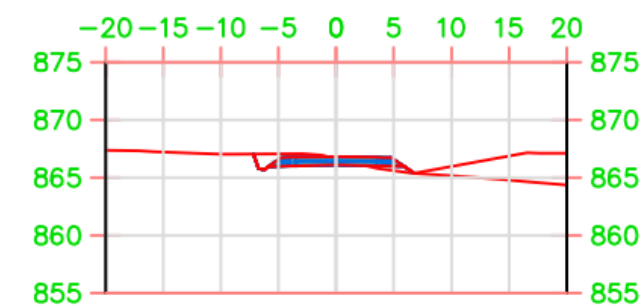
P.K.=0+200

Fig. 13 ODT 2



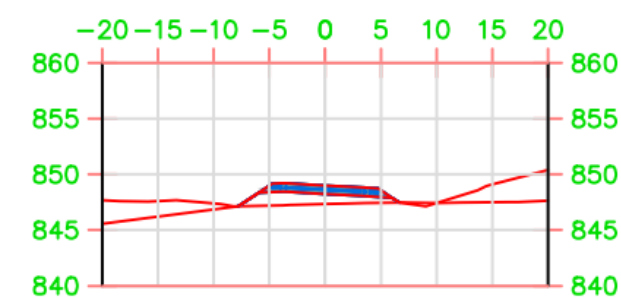
P.K.=0+400

Fig.14 ODT 4



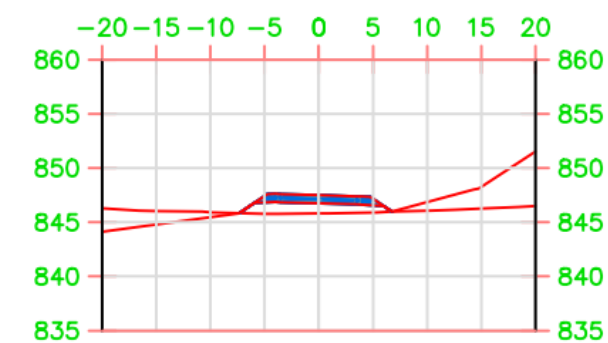
P.K.=0+840

Fig. 15 ODT6



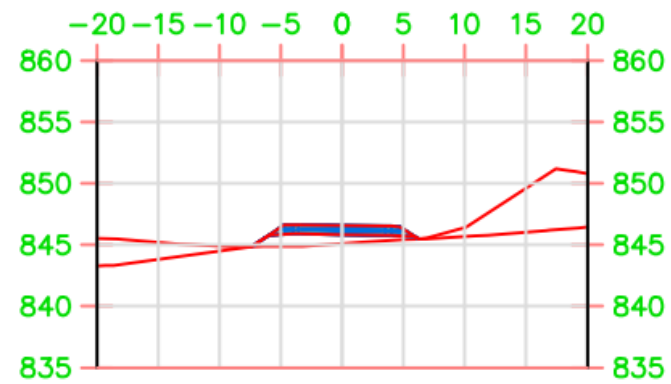
P.K.=1+040

Fig. 17 ODT.7



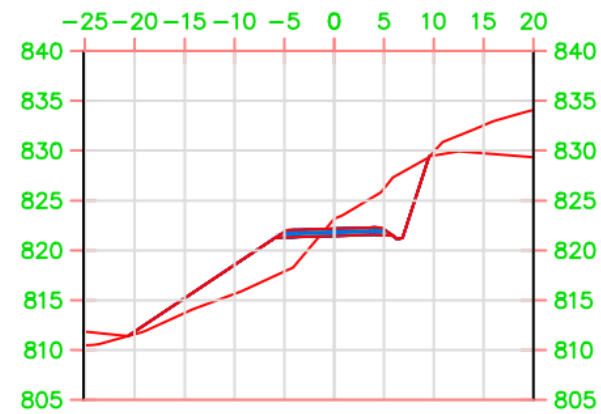
P.K.=1+060

Fig.18 ODT 8



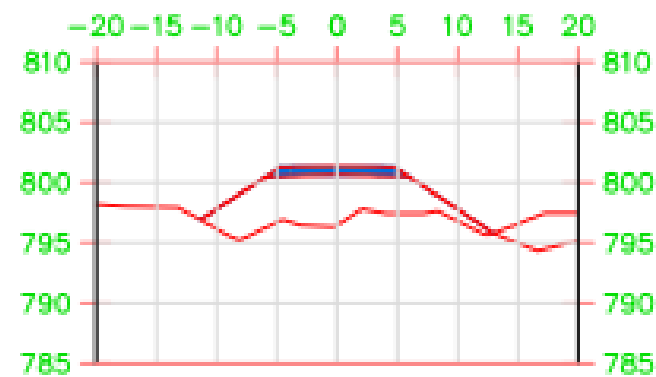
P.K.=1+072,23

Fig. 19 ODT 9



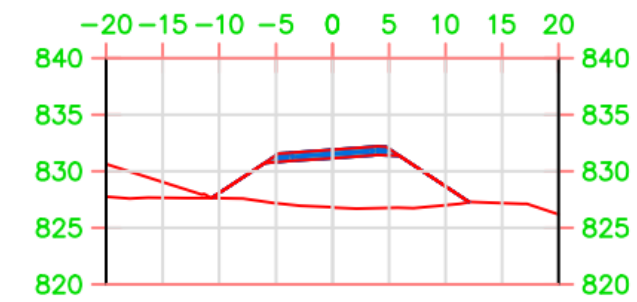
P.K.=1+340

Fig. 20 ODT10



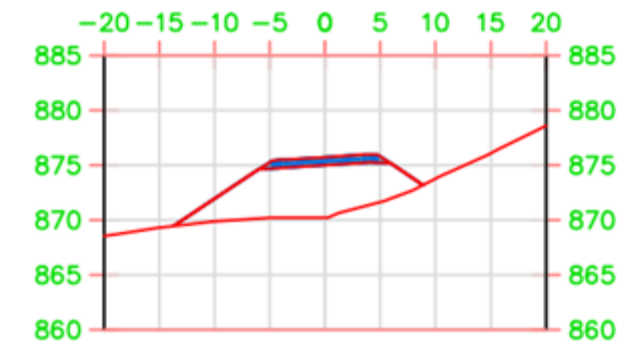
P.K.=2+220

Fig. 21 ODT 12



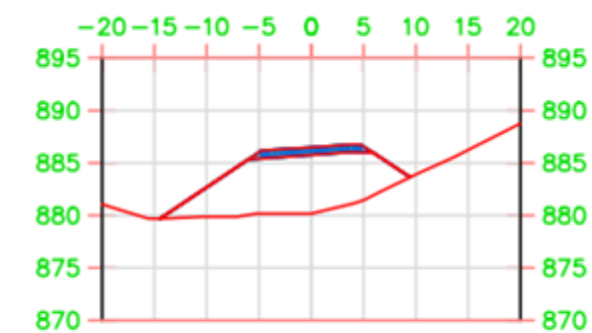
P.K.=2+577,58

Fig. 22 ODT 14



P.K.=3+297

Fig. 23 ODT 16

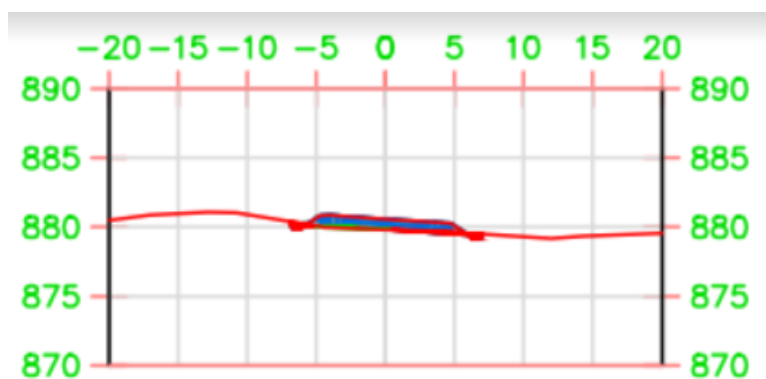


P.K.=3+547

Fig. 24 ODT 18

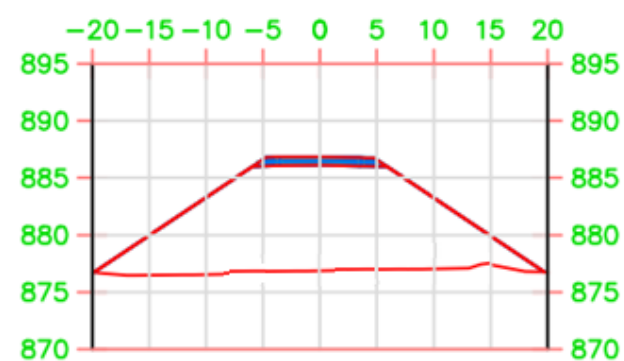


Secciones Alternativa 2



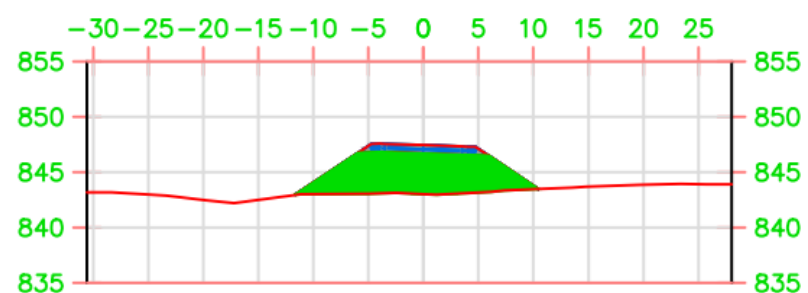
P.K.=0+112,73

Fig. 25 ODT 1



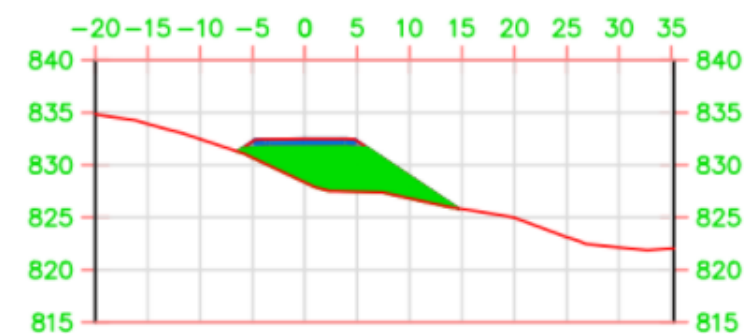
P.K.=0+164,67

Fig.26 ODT 2



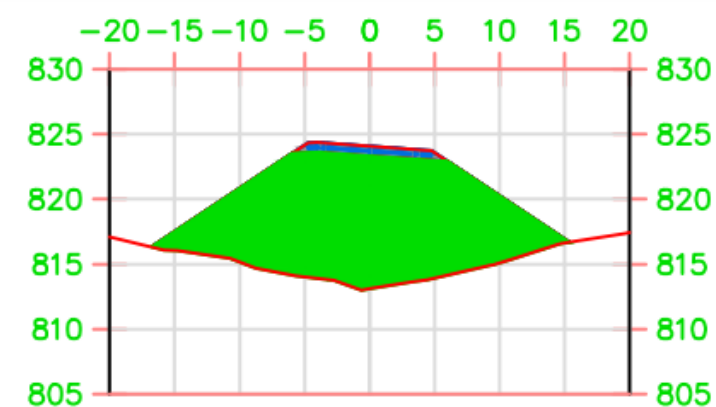
P.K.=0+900

Fig.27 ODT 6



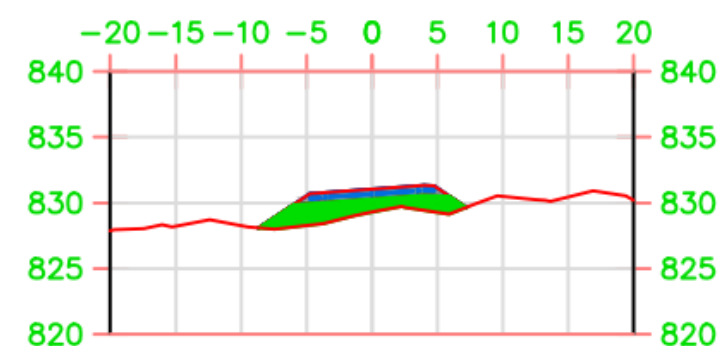
P.K.=1+142,73

Fig.28 ODT 8



P.K.=1+461,20

Fig. 29 ODT 10



P.K.=1+644,99

Fig. 30 ODT 12

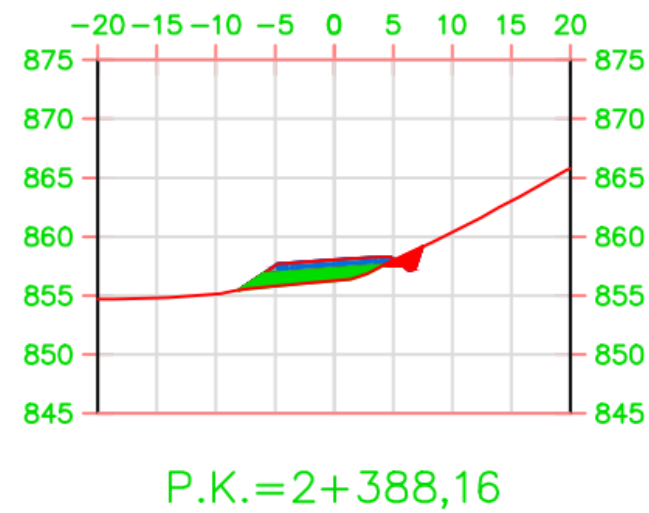


Fig. 31 ODT 15

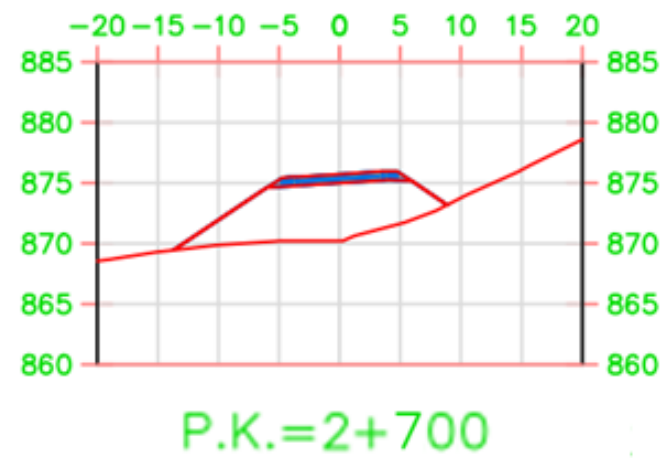


Fig. 32 ODT 17 2+700

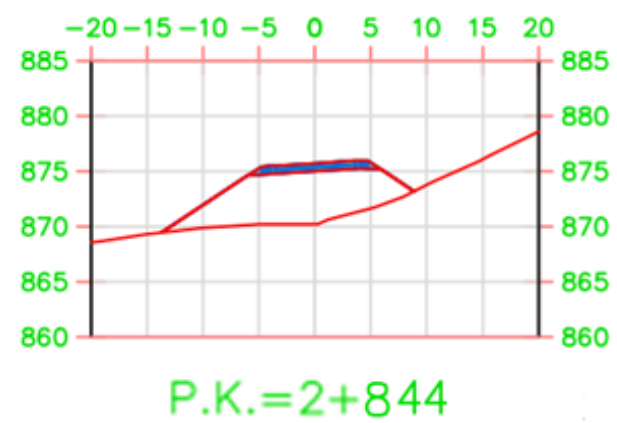


Fig. 33 ODT 2+844.4

