

EJERCICIO PRÁCTICO NÚMERO 1: CARRETERAS.

PUNTUACIÓN DEL EJERCICIO: 20 PUNTOS.

Por parte de una empresa de consultoría, se está realizando el proyecto de una carretera. Responda a las siguientes cuestiones:

PARTE A (3,5 puntos)

Analice el estudio del drenaje con un perfil longitudinal previo y el dimensionamiento de una obra de drenaje transversal consistente en una batería de tres marcos que salvan un arroyo de la Confederación Hidrográfica del Tajo. Se trata de tres marcos prefabricados de hormigón de 3 metros de ancho y 2 metros de altura, en un cruce ligeramente esviado. La longitud total de la obra de drenaje es de 22 metros, con embocaduras en forma de aletas con ángulo $> 30^\circ$.

Para el análisis de estas cuestiones dispone de los siguientes datos:

Guitarra de un perfil longitudinal del proyecto de trazado:

P.K.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Cota Rasante	623	630	630	622	620	615	613	610	615	620	622	625	630	630
Cota terreno	623	628	625	620	625	619	621	617	608	610	618	615	620	630

En base a esto, determine:

1. Las ubicaciones idóneas para la colocación de las ODTs (**0,5 PUNTOS**)
2. Máximo caudal de diseño que será capaz de desaguar la obra de drenaje de 3 marcos planteada cumpliendo con las recomendaciones de la instrucción de drenaje 5.2 IC (**3,0 PUNTOS**)

PARTE B (3,5 puntos)

De acuerdo con la lista de actividades que se adjunta, en donde se detallan las relaciones de precedencia entre ellas y su duración, indique:

1. La duración total de la obra planteada y las ventajas o desventajas de la programación resultante (**1,0 PUNTOS**)
2. ¿En qué afectaría al desarrollo de la obra si aconteciera que la actividad A sufriera un retraso de 1 semana en su inicio y la actividad D una optimización del tiempo por mejora de rendimientos, reflejándose en una reducción del plazo de 2 semanas? ¿Qué ventajas o

desventajas representa esta situación frente a la situación original?
(2,5 PUNTOS)

Actividad	Predecesora	Duración de la actividad (semanas)
A	--	4
B	--	5
C	B	3
D	A, C	5
E	D	4
F	C	6
G	F	4
H	F, I	7
I	B	8
J	H, E, G	3

Además de estas relaciones se deben considerar las siguientes premisas.

- La actividad G debe empezar exactamente 3 semanas más tarde que el inicio de la actividad E
- La actividad H debe empezar, como mínimo, 2 semanas antes de que acabe la actividad F.

PARTE C (2,5 puntos)

Se quiere construir un nuevo carril para vehículos lentos en una carretera preexistente que tiene problemas en los taludes, por lo que se requiere un estudio previo antes de redactar el proyecto.

Se sabe que en un tramo determinado se encuentra un talud constituido por arcillas cuyas resistencias al corte sin drenaje son de $c_1 = 40$ Kpa y $c_2 = 60$ Kpa y pesos específicos de 18 y 17 KN/m³ para los suelos 1 y 2 que lo componen.

En este tramo se quiere calcular previamente el coeficiente de seguridad (FS) a corto plazo de la masa deslizada para poder tomar las correspondientes decisiones.

Además, se conocen los siguientes valores reflejados en la imagen adjunta que muestra el esquema de rotura:

$$d1 = 5,9 \text{ m}$$

$$d2 = 2,9 \text{ m}$$

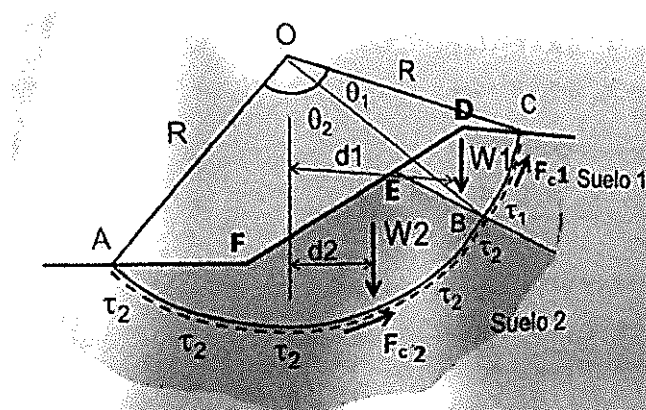
$$\theta_1 = 30^\circ$$

$$\theta_2 = 100^\circ$$

$$R = 10 \text{ m}$$

$$\text{Área ABEFA} = 110 \text{ m}^2$$

$$\text{Área BCDE} = 30 \text{ m}^2$$



Se solicita lo siguiente:

- El FS a corto plazo de la masa deslizada.

PARTE D (3,5 puntos)

En el estudio de trazado en planta, se desea proyectar una alineación curva que ha de enlazar entre sí dos alineaciones rectas sucesivas que forman entre sí un ángulo recto. La velocidad de proyecto de la carretera es de 80 Km/h y el ancho de la calzada en tramos rectos es de 7 metros.

Se tantea la solución mediante una curva circular de radio $R=500$ m y dos clotoides de acuerdo simétricas de parámetro $A=300$ m

Se pide:

- 1) Determinar la longitud de cada transición, comprobando que se cumplen los requerimientos mínimos de la Norma de Trazado 3.1 IC **(2,5 PUNTOS)**
- 2) Calcular la longitud de la alineación curvilínea total, comprendida entre las dos alineaciones rectas **(0,5 PUNTOS)**
- 3) Definir la ley de peraltes, por giro alrededor del eje, suponiendo que la calzada tiene en recta un bombeo del 2% y que discurre en un plano sensiblemente horizontal. **(0,5 PUNTOS)**

PARTE E (7 puntos)

APARTADO E.1 (PARCIAL 5 PUNTOS)

En el movimiento de tierras de una nueva variante a población, tras la verificación de la topografía, el estudio pormenorizado de los materiales del terreno y el replanteo de las cotas finales, se obtienen las siguientes mediciones para la ejecución del cimientado y el núcleo del terraplén de la traza.

TRAMOS	Volúmenes perfiles desmonte (m ³)	Volúmenes perfiles terraplén (m ³)
PK 0+000 a PK 1+000	50.000	40.000
PK 1+000 a PK 2+000	60.000	100.000
PK 2+000 a PK 3+000	80.000	0
PK 3+000 a PK 4+000	0	50.000
PK 4+000 a PK 5+000	90.000	80.000
PK 5+000 a PK 6+000	0	50.000

Las premisas para la correcta ejecución de los trabajos son las siguientes:

- 1) No se utilizarán materiales de categoría inferior a tolerable para la ejecución del cimiento y núcleo del terraplén y se cumplirán las especificaciones del PG-3 para estos fines.
- 2) Se compensarán, en primer lugar, los materiales dentro de un mismo tramo y, si aun así sobrara material, se utilizará de tal manera que se optimicen las distancias de transporte dentro de la propia traza.
- 3) Las entradas de materiales de préstamo se harán por un camino que interseca con la traza en el PK 3+800.
- 4) La distancia desde los diferentes préstamos hasta el punto de entrada a la obra, así como sus características más significativas, son las siguientes:

Cantera	Distancia (Km)	Clasificación del material	Coste del material (€/tn)	Factor de compactación	Factor de Conversión volumétrico
P1	45	Seleccionado	6,5	1	1
P2	71	Adecuado	4,5	1	1
P3	84	Tolerable	3,5	1	1
P4	55	Seleccionado	5,8	1	1
P5	57	Adecuado	4,6	1	1

- 5) El coste del transporte de estos materiales es de 0,15 €/tn.Km
- 6) El volumen de los desmontes utilizable para la compensación de tierras se estima en el 95% del total y los terraplenes necesitan para su cimiento una sobreexcavación que supone un incremento en su medición de un 20%.
- 7) Las tierras de sobreexcavación de los fondos de terraplén y el rechazo superficial de los desmontes se acopiarán definitivamente en una superficie expropiada para tal fin.
- 8) Las características de los materiales presentes en la traza son las siguientes:

	D máx	#2	#0,4	#0,08	LL	LP	IP	% MO	% SS	% Yesos	Hícam. libre (%)	Densidad en banco (tn/m3)	Humedad	CBR	Factor de compactación	Factor conversión Volumétrico	PK
Q1	95	62,1	19	18	18	12	6	0,1	0,05	0,01		2		12	1,1	0,85	1-2 5-6
Q2	102	23,3	16,6	10,6	33,3	26,7	6,6	0,35	0,13	0,003	0,1	1,67	16,1	9	1,2	0,9	4-5
Q3	84	23,3	16,6	10,6	41	32	9	3,5	0,5	0,1	4	2,1			1,5	0,8	0-1 3-4
Q4	97	54,8	21	22	27,3	17,8	9,5	0,15	0,15	0,001		1,8		4	0,9	1	2-3

Teniendo en cuenta estas premisas, se pide:

- 1) Calcular los volúmenes de préstamo necesarios y la elección de la procedencia de los materiales. **(0,5 PUNTOS)**
- 2) Indicar el volumen de material no aprovechable y la ubicación óptima para el acopio definitivo de este material, sabiendo que se puede expropiar la superficie necesaria en cualquier punto adyacente a la traza. **(0,5 PUNTOS)**
- 3) Calcular la superficie a ocupar por el vertedero necesario para el depósito de los materiales inservibles sabiendo que la altura máxima de acopio no debe superar los 1,50 m. **(0,5 PUNTOS)**
- 4) Calcular la distancia media de transporte del material inservible **(0,5 PUNTOS)**
- 5) Calcular los volúmenes de material compensado dentro del mismo tramo y la distancia media de los mismos. **(0,5 PUNTOS)**
- 6) Dibujar el diagrama de masas para la compensación de tierras, utilizando volúmenes en compactado y plantear la compensación óptima entre tramos. **(1,5 PUNTOS)**
- 7) Indicar los volúmenes de material compensado entre tramos y la distancia media de transporte de los mismos. **(0,5 PUNTOS)**
- 8) Calcular la distancia media de transporte del material procedente de cantera. **(0,5 PUNTOS)**

APARTADO E.2 (PARCIAL 2 PUNTOS)

Además de los costes derivados de los propios materiales, se estudia el coste de la ejecución de los trabajos de excavación y transporte a vertedero. Para ello se tienen de partida los siguientes datos:

- La excavación se llevará a cabo con excavadoras de capacidad nominal de la cuchara de 3 m³, factor de llenado de 0,9, tiempo real del ciclo de 0,50 minutos y el coste es de 60 €/hora.
- El transporte del material se realiza con camiones de 20 m³ de capacidad nominal y coste unitario por jornada de 550 euros. Los tiempos fijos de maniobra son de 2,5 minutos, las velocidades medias de transporte son las siguientes:
 - Para tajos exclusivos dentro de la misma traza 40 Km/h durante el acarreo y de 60 Km/h en el retorno.
- El rendimiento de todas las máquinas es del 88%

Con estos datos, se pide:

- 1) Cantidad de maquinaria a emplear para la retirada de los materiales inservibles o no utilizables a vertedero si se tiene como premisa que el plazo para ejecutar este trabajo es de 14 días (140 horas). **(1,5 PUNTOS)**
- 2) Coste directo total para la unidad de carga y transporte a vertedero. **(0,5 PUNTOS)**

ANEXOS DE DOCUMENTACIÓN:

- Drenaje.
- Trazado.
- Clasificación de suelos.

Contenido en sales solubles, incluido el yeso, inferior al cero con dos por ciento ($SS < 0,2\%$), según NLT 114.

Tamaño máximo no superior a cien milímetros ($D_{max} \leq 100$ mm).

Cernido por el tamiz 2 UNE, menor del ochenta por ciento ($\# 2 < 80\%$).

Cernido por el tamiz 0,080 UNE inferior al treinta y cinco por ciento ($\# 0,080 < 35\%$).

Límite líquido inferior a cuarenta ($LL < 40$), según UNE 103103.

Si el límite líquido es superior a treinta ($LL > 30$) el índice de plasticidad será superior a cuatro ($IP > 4$), según UNE 103103 y UNE 103104.

330.3.3.3 Suelos tolerables.

Se considerarán como tales los que no pudiendo ser clasificados como suelos seleccionados ni adecuados, cumplen las condiciones siguientes:

Contenido en materia orgánica inferior al dos por ciento ($MO < 2\%$), según UNE 103204.

Contenido en yeso inferior al cinco por ciento ($yeso < 5\%$), según NLT 115.

Contenido en otras sales solubles distintas del yeso inferior al uno por ciento ($SS < 1\%$), según NLT 114.

Límite líquido inferior a sesenta y cinco ($LL < 65$), según UNE 103103.

Si el límite líquido es superior a cuarenta ($LL > 40$) el índice de plasticidad será mayor del setenta y tres por ciento del valor que resulta de restar veinte al límite líquido ($IP > 0,73 (LL-20)$).

Asiento en ensayo de colapso inferior al uno por ciento (1%), según NLT 254, para muestra remoldeada según el ensayo Próctor normal UNE 103500, y presión de ensayo de dos décimas de megapascal (0,2 MPa).

Hinchamiento libre según UNE 103601 inferior al tres por ciento (3%), para muestra remoldeada según el ensayo Próctor normal UNE 103500.

330.3.3.4 Suelos marginales.

Se considerarán como tales los que no pudiendo ser clasificados como suelos seleccionados, ni adecuados, ni tampoco como suelos tolerables, por el incumplimiento de alguna de las condiciones indicadas para éstos, cumplan las siguientes condiciones:

Contenido en materia orgánica inferior al cinco por ciento ($MO < 5\%$), según UNE 103204.

Hinchamiento libre según UNE 103601 inferior al cinco por ciento (5%), para muestra remoldeada según el ensayo Próctor normal UNE 103500.

Si el límite líquido es superior a noventa ($LL > 90$) el índice de plasticidad será inferior al setenta y tres por ciento del valor que resulta de restar veinte al límite líquido ($IP < 0,73 (LL-20)$).

330.3.3.5 Suelos inadecuados.

Se considerarán suelos inadecuados:

Los que no se puedan incluir en las categorías anteriores.

Las turbas y otros suelos que contengan materiales perecederos u orgánicos tales como tocones, ramas, etc.

Los que puedan resultar insalubres para las actividades que sobre los mismos se desarrollen.

330.4 Empleo

330.4.1 Uso por zonas.

Teniendo en cuenta las condiciones básicas indicadas en el apartado 330.3 de este artículo, así como las que en su caso se exijan en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, se utilizarán, en las diferentes zonas del relleno tipo terraplén, los suelos que en este apartado se indican.

330.4.1.1 Coronación.

Se utilizarán suelos adecuados o seleccionados siempre que su capacidad de soporte sea la requerida para el tipo de explanada previsto en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares y su índice CBR, correspondiente a las condiciones de compactación de puesta en obra, sea como mínimo de cinco ($CBR \geq 5$), según UNE 103502.

Se podrán utilizar otros materiales en forma natural o previo tratamiento, siempre que cumplan las condiciones de capacidad de soporte exigidas, y previo estudio justificativo aprobado por el Director de las Obras.

No se usarán en esta zona suelos expansivos o colapsables, según lo indicado en el apartado 330.4.4 de este artículo.

Cuando bajo la coronación exista material expansivo o colapsable o con contenido de sulfatos solubles según UNE 103201 mayor del dos por ciento (2%), la coronación habrá de evitar la infiltración de agua hacia el resto del relleno tipo terraplén, bien por el propio tipo de material o bien mediante la utilización de medidas complementarias.

330.4.1.2 Cimiento.

En el cimiento se utilizarán suelos tolerables, adecuados ó seleccionados siempre que las condiciones de drenaje o estanqueidad lo permitan, que las características del terreno de apoyo sean adecuadas para su puesta en obra y siempre que el índice CBR, correspondiente a las condiciones de compactación de puesta en obra, sea igual o superior a tres ($CBR \geq 3$), según UNE 103502.

330.4.1.3 Núcleo.

Se utilizarán suelos tolerables, adecuados ó seleccionados, siempre que su índice CBR, correspondiente a las condiciones de compactación de puesta en obra, sea igual o superior a tres ($CBR \geq 3$), según UNE 103502.

La utilización de suelos marginales o de suelos con índice CBR menor de tres ($CBR < 3$) puede venir condicionada por problemas de resistencia, deformabilidad y puesta en obra, por lo que su empleo queda desaconsejado y en todo caso habrá de justificarse mediante un estudio especial, aprobado por el Director de las Obras, conforme a lo indicado en el apartado 330.4.4 de este artículo.

Asimismo la posible utilización de suelos colapsables, expansivos, con yesos, con otras sales solubles, con materia orgánica o de cualquier otro tipo de material marginal (según la clasificación del apartado 330.3.3), se registrará por lo indicado en el apartado 330.4.4 de este artículo.

330.4.1.4 Espaldones.

Se utilizarán materiales que satisfagan las condiciones que defina el Proyecto en cuanto a impermeabilidad, resistencia, peso estabilizador y protección frente a la erosión.

No se usarán en estas zonas suelos expansivos o colapsables, según lo definido en el apartado 330.4.4 de este artículo.

Cuando en el núcleo exista material expansivo o colapsable o con contenido en sulfatos solubles según UNE 103201 mayor del dos por ciento (2%), los espaldones evitarán la infiltración de agua hacia el mismo, bien por el propio tipo de material, bien mediante la adopción de medidas complementarias.

330.4.2 Grado de compactación.

El Proyecto, o en su defecto el Director de las Obras, señalará, entre el Próctor normal según UNE 103500 o el Próctor modificado según UNE 103501, el ensayo a considerar como Próctor de referencia. En caso de omisión se considerará como ensayo de referencia el Próctor modificado; sin embargo en el caso de suelos expansivos se aconseja el uso del ensayo Próctor normal.

Los suelos clasificados como tolerables, adecuados y seleccionados podrán utilizarse según lo indicado en el punto anterior de forma que su densidad seca después de la compactación no sea inferior:

En la zona de coronación, a la máxima obtenida en el ensayo Próctor de referencia.

En las zonas de cimiento, núcleo y espaldones al noventa y cinco por ciento (95%) de la máxima obtenida en dicho ensayo.

El Proyecto o, en su defecto, el Director de las Obras, podrán especificar justificadamente valores mínimos, superiores a los indicados, de las densidades después de la compactación en cada zona de terraplén en función de las características de los materiales a utilizar y de las propias de la obra.

330.4.3 Humedad de puesta en obra.

La humedad de puesta en obra se establecerá teniendo en cuenta:

La necesidad de obtener la densidad y el grado de saturación exigidos en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o en su defecto en este Pliego.

El comportamiento del material a largo plazo ante posibles cambios de dicha humedad (por ejemplo expansividad o colapso).

La humedad del material al excavarlo (en su yacimiento original) y su evolución durante la puesta en obra (condiciones climáticas y manipulación).

Salvo justificación especial o especificación en contra del Proyecto, la humedad, inmediatamente después de la compactación, será tal que el grado de saturación en ese instante se encuentre comprendido entre los valores del grado de saturación correspondientes, en el ensayo Próctor de referencia, a humedades de menos dos por ciento (-2%) y de más uno por ciento (+1%) de la óptima de dicho ensayo Próctor de referencia.

En el caso de suelos expansivos o colapsables, los límites de saturación indicados serán los correspondientes a humedades de menos uno por ciento (-1%) y de más tres por ciento (+3%) de la óptima del ensayo Próctor de referencia.

el Contratista al preparar el esquema de voladura. En cualquier caso, no se desechará ningún material excavado sin la previa autorización del Director de las Obras. El material inadecuado se transportará a vertedero de acuerdo con lo que se ordene al respecto.

322.2.6 Tolerancia geométrica de terminación de las obras.

En el pliego de prescripciones técnicas particulares vendrán definidas las tolerancias del acabado o, en su defecto, serán definidas por el Director de las Obras. Con la precisión que se considere admisible en función de los medios previstos para la ejecución de las obras y en base a las mismas serán fijadas, al menos, las siguientes:

Tolerancia máxima admisible, expresada en centímetros (cm), entre los planos o superficies de los taludes previstos en Proyecto y los realmente construidos, quedando fijada la zona en la que el talud sería admisible y en la que sería rechazado debiendo volver el Contratista a reperfilarse el mismo.

Tolerancia máxima admisible en pendiente y fondos de cunetas y en planta, expresada en centímetros (cm), sobre los planos previstos en Proyecto y los realmente construidos, quedando definida la obra admisible y la que sería rechazada debiendo el Contratista proceder a su rectificación de acuerdo con lo que para ello ordene el Director de las Obras.

322.3 Medición y abono

La excavación del contorno en taludes y paramentos definitivos de taludes en roca se abonará por metros cuadrados (m^2) de talud formado, medidos sobre los planos de perfiles transversales.

El volumen de roca excavado al ejecutar esta unidad se medirá y abonará según lo indicado en el artículo 320, «Excavación de la explanación y préstamos» de este pliego.

Si la excavación especial de taludes en roca no está contemplada en el Proyecto como unidad independiente, y es exigida por el Director de las Obras, se entenderá que está comprendida en las de excavación, y por tanto no habrá lugar a su medición y abono por separado.

Las medidas especiales para la protección superficial del talud se medirán y abonarán siguiendo el criterio establecido en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

Normas de referencia al artículo 322

UNE 22381 Control de vibraciones producidas por voladuras.

330 Terraplenes

330.1 Definición

Esta unidad consiste en la extensión y compactación, por tongadas, de los materiales cuyas características se definen en el apartado 330.3 de este artículo, en zonas de tales dimensiones que permitan de forma sistemática la utilización de maquinaria pesada con destino a crear una plataforma sobre la que se asiente el firme de una carretera.

Su ejecución comprende las operaciones siguientes:

- Preparación de la superficie de apoyo del relleno tipo terraplén.
- Extensión de una tongada.
- Humedectación o desecación de una tongada.
- Compactación de una tongada.

Las tres últimas operaciones se reiterarán cuantas veces sea preciso.

330.2 Zonas de los rellenos tipo terraplén

En los rellenos tipo terraplén se distinguirán las cuatro zonas siguientes, cuya geometría se definirá en el Proyecto:

Coronación: Es la parte superior del relleno tipo terraplén, sobre la que se apoya el firme, con un espesor mínimo de dos tongadas y siempre mayor de cincuenta centímetros (50 cm).

Núcleo: Es la parte del relleno tipo terraplén comprendida entre el cimiento y la coronación.

Espaldón: Es la parte exterior del relleno tipo terraplén que, ocasionalmente, constituirá o formará parte de los taludes del mismo. No se considerarán parte del espaldón los revestimientos sin misión estructural en el relleno entre los que se consideran, plantaciones, cubierta de tierra vegetal, encachados, protecciones antierosión, etc.

Cimiento: Es la parte inferior del terraplén en contacto con la superficie de apoyo. Su espesor será como mínimo de un metro (1 m).

330.3 Materiales

330.3.1 Criterios generales.

Los materiales a emplear en rellenos tipo terraplén serán, con carácter general, suelos o materiales locales que se obtendrán de las excavaciones realizadas en obra, de los préstamos que se definan en el Proyecto o que se autoricen por el Director de las Obras.

Los criterios para conseguir un relleno tipo terraplén que tenga las debidas condiciones irán encaminados a emplear los distintos materiales, según sus características, en las zonas más apropiadas de la obra, según las normas habituales de buena práctica en las técnicas de puesta en obra.

En todo caso, se utilizarán materiales que permitan cumplir las condiciones básicas siguientes:

- Puesta en obra en condiciones aceptables.
- Estabilidad satisfactoria de la obra.

Deformaciones tolerables a corto y largo plazo, para las condiciones de servicio que se definan en Proyecto.

El Proyecto o, en su defecto, el Director de las Obras, especificará el tipo de material a emplear y las condiciones de puesta en obra, de acuerdo con la clasificación que en los apartados siguientes se define, así como las divisiones adicionales que en el mismo se establezcan, según los materiales locales disponibles.

330.3.2 Características de los materiales.

A los efectos de este artículo, los rellenos tipo terraplén estarán constituidos por materiales que cumplan alguna de las dos condiciones granulométricas siguientes:

Cernido, o material que pasa, por el tamiz 20 UNE mayor del 70 por 100 por ciento ($\# 20 > 70\%$), según UNE 103101.

Cernido o material que pasa, por el tamiz 0,080 UNE mayor o igual del treinta y cinco por ciento ($\# 0,080 \geq 35\%$), según UNE 103101.

Además de los suelos naturales, se podrán utilizar en terraplenes los productos procedentes de procesos industriales o de manipulación humana, siempre que cumplan las especificaciones de este artículo y que sus características físico-químicas garanticen la estabilidad presente y futura del conjunto. En todo caso se estará a lo dispuesto en la legislación vigente en materia medioambiental, de seguridad y salud, y de almacenamiento y transporte de productos de construcción.

El Director de las Obras tendrá facultad para rechazar como material para terraplenes, cualquiera que así lo aconseje la experiencia local. Dicho rechazo habrá de ser justificado expresamente en el Libro de Órdenes.

330.3.3 Clasificación de los materiales.

Desde el punto de vista de sus características intrínsecas los materiales se clasificarán en los tipos siguientes (cualquier valor porcentual que se indique, salvo que se especifique lo contrario, se refiere a porcentaje en peso):

330.3.3.1 Suelos seleccionados.

Se considerarán como tales aquellos que cumplen las siguientes condiciones:

Contenido en materia orgánica inferior al cero con dos por ciento ($MO < 0,2\%$), según UNE 103204.

Contenido en sales solubles en agua, incluido el yeso, inferior al cero con dos por ciento ($SS < 0,2\%$), según NLT 114.

Tamaño máximo no superior a cien milímetros ($D_{max} \leq 100$ mm).

Cernido por el tamiz 0,40 UNE menor o igual que el quince por ciento ($\# 0,40 \leq 15\%$) o que en caso contrario cumpla todas y cada una de las condiciones siguientes:

Cernido por el tamiz 2 UNE, menor del ochenta por ciento ($\# 2 < 80\%$).

Cernido por el tamiz 0,40 UNE, menor del setenta y cinco por ciento ($\# 0,40 < 75\%$).

Cernido por el tamiz 0,080 UNE inferior al veinticinco por ciento ($\# 0,080 < 25\%$).

Límite líquido menor de treinta ($LL < 30$), según UNE 103103.

Índice de plasticidad menor de diez ($IP < 10$), según UNE 103103 y UNE 103104.

330.3.3.2 Suelos adecuados.

Se considerarán como tales los que no pudiendo ser clasificados como suelos seleccionados cumplan las condiciones siguientes:

Contenido en materia orgánica inferior al uno por ciento ($MO < 1\%$), según UNE 103204.

PARTE A (Drenaje)

Calado crítico:
$$y_c = \sqrt[3]{\frac{(Q/B)^2}{g}}$$

Siendo: Q = caudal
 B = anchura del conducto rectangular
 g = aceleración gravitatoria

Energía específica:
$$H_e = y_c + \frac{v^2}{2g} \times (1 + K_e)$$

Siendo: V = velocidad del fluido
 g = aceleración gravitatoria
 Ke = coeficiente de pérdida de carga

Manning:
$$V = \frac{1}{n} R_H^{2/3} j^{1/2}$$

Siendo: V = velocidad media del agua m/s
 RH = radio hidráulico m
 J = pendiente m/m

Tubo de hormigón	
Exento	0,6
Con muro de acompañamiento	0,4
Con aletas	0,3
Otros conductos de hormigón	
Exento	0,6
Con muro de acompañamiento	0,4
Con aletas	0,2
Tubo corrugado	
Exento	0,6
Ataluzado	0,7
Con muro de acompañamiento	0,6
Con aletas	0,3

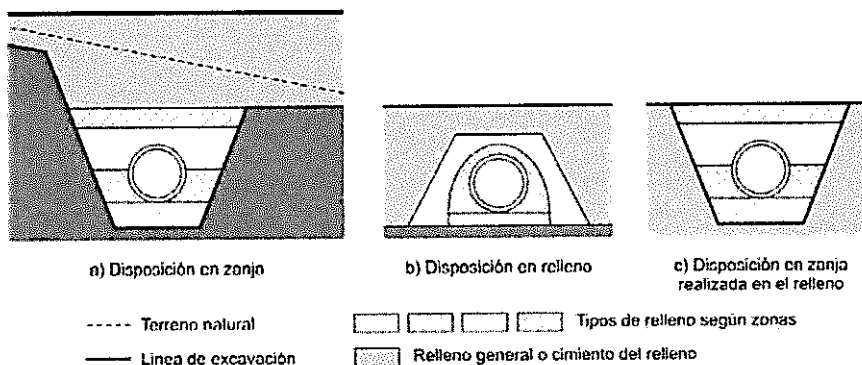


FIGURA 4.19 ENCAJE DE LA ODT EN EL RELLENO

En el cálculo estructural (epígrafe 4.4.7) se debe tener en cuenta el caso de que se trate y definir el tipo de rellenos a efectuar alrededor de la ODT. Estos rellenos se deben definir también considerando la diferencia de cotas entre la ODT y la rasante para conseguir una transición de rigidez adecuada, tanto verticalmente como en dirección longitudinal a la carretera.

4.4.3 SECCIÓN TRANSVERSAL

4.4.3.1 Dimensión libre mínima

La dimensión libre mínima de la sección transversal de una ODT de un solo tramo, D_L , se debe medir entre sus caras interiores y se define en función de la longitud de la obra entre las embocaduras de entrada y de salida. Su valor se debe determinar a partir de la tabla 4.1, salvo que la Administración Hidráulica prescriba un valor superior.

TABLA 4.1.- DIMENSIÓN MÍNIMA RECOMENDADA DE UNA ODT EN FUNCIÓN DE SU LONGITUD

L (m)	D_L (m)
L (m) < 3	D_L (m) \geq 0,6
$3 \leq L$ (m) < 4	D_L (m) \geq 0,8
$4 \leq L$ (m) < 5	D_L (m) \geq 1,0
$5 \leq L$ (m) < 10	D_L (m) \geq 1,2
$10 \leq L$ (m) < 15	D_L (m) \geq 1,5
L (m) \geq 15	D_L (m) \geq 1,8

La dimensión D_L de la tabla 4.1 hace referencia a (figura 4.20):

- Sección circular: Diámetro
- Sección rectangular: Lado menor
- Resto de secciones: El diámetro del mayor círculo que se pueda inscribir en la sección.

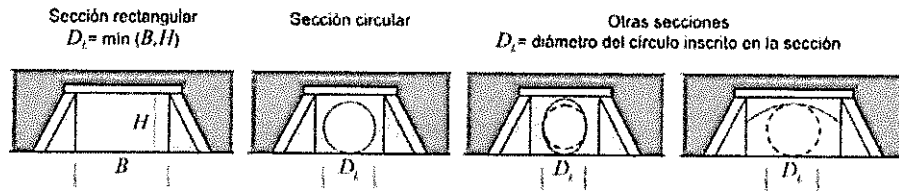


FIGURA 4.20 DIMENSIÓN LIBRE MÍNIMA

En las ODT que presenten varios tramos subterráneos separados por encauzamientos al aire libre, la dimensión libre mínima D_L en cada tramo será la mayor entre:

- La que le corresponde de acuerdo con la tabla 4.1.
- La mayor de entre las correspondientes a los tramos situados aguas arriba

En el proyecto se puede justificar la adopción de valores inferiores, que deben establecerse caso por caso.

Las obstrucciones por arrastre de cuerpos deben evitarse mediante dispositivos u obras específicas de protección aguas arriba de las ODT, que se deben definir en el proyecto.

Las dimensiones mínimas de los elementos de drenaje transversal de vías de servicio, reposiciones de caminos y otros viales ubicados inmediatamente aguas arriba o abajo de la carretera principal, se deben definir de conformidad con lo especificado en el capítulo 5.

4.4.3.2 Secciones especiales para paso de fauna

Cuando en el proyecto se determine que es necesario facilitar el paso de fauna por una ODT se pueden proyectar secciones o dispositivos especiales que requieren un cálculo hidráulico específico, tales como:

- Canal de aguas bajas
- Obra semienterrada (lecho móvil)
- Escalas de peces
- Rampas en arquetas para pequeña fauna
- Otras

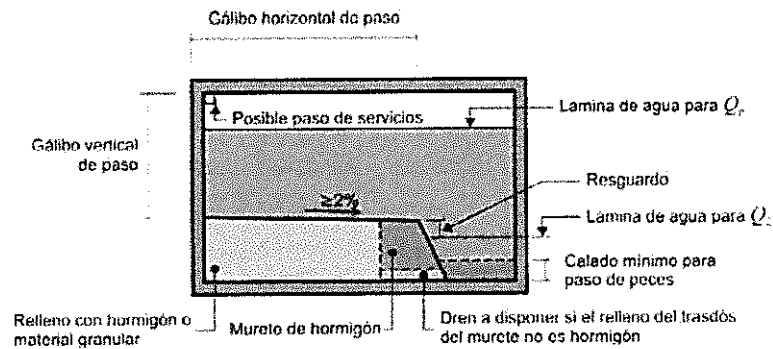


FIGURA 4.21 EJEMPLO DE SECCIÓN TRANSVERSAL ADAPTADA PARA PASO DE FAUNA

4.4.4 COMPROBACIÓN HIDRÁULICA

Los tramos enterrados de las ODT (epígrafe 4.4.1.1) son conductos rectos de sección constante entre su entrada y su salida. Cada conducto presenta una curva característica que relaciona el caudal que desagua a través de él, Q , con la cota que alcanza la lámina de agua inmediatamente aguas arriba del conducto, medida a partir de la cota de la solera a su entrada, H_E (véase figura 4.22). Dicha curva es función de su sección transversal, pendiente, rugosidad y tipos de entrada y salida.

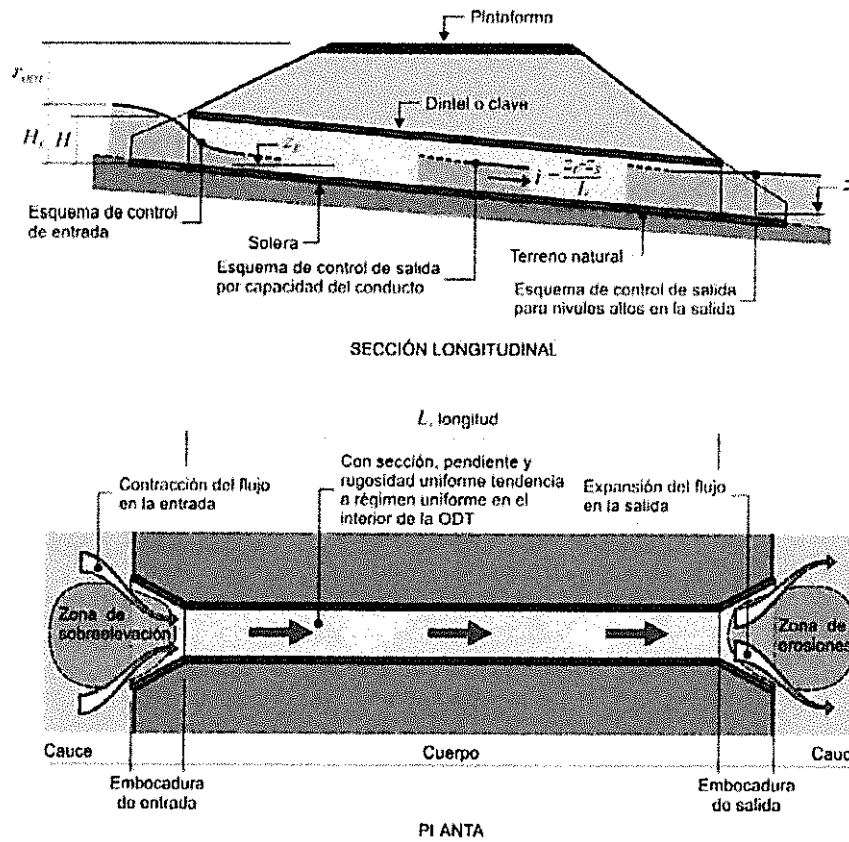


FIGURA 4.22.- ESQUEMA DE UNA ODT

En la definición de la curva característica (véase figura 4.23) se diferencian distintos tramos dependiendo de las secciones de control que se produzcan:

- Control de entrada, cuando la capacidad de desagüe de la ODT viene dada por la capacidad de la entrada.
- Control de salida, cuando la capacidad de desagüe de la ODT viene dada por la capacidad del conducto o los niveles de agua en el cauce a la salida.
- Desbordamiento a otras cuencas primarias o por encima de la calzada.

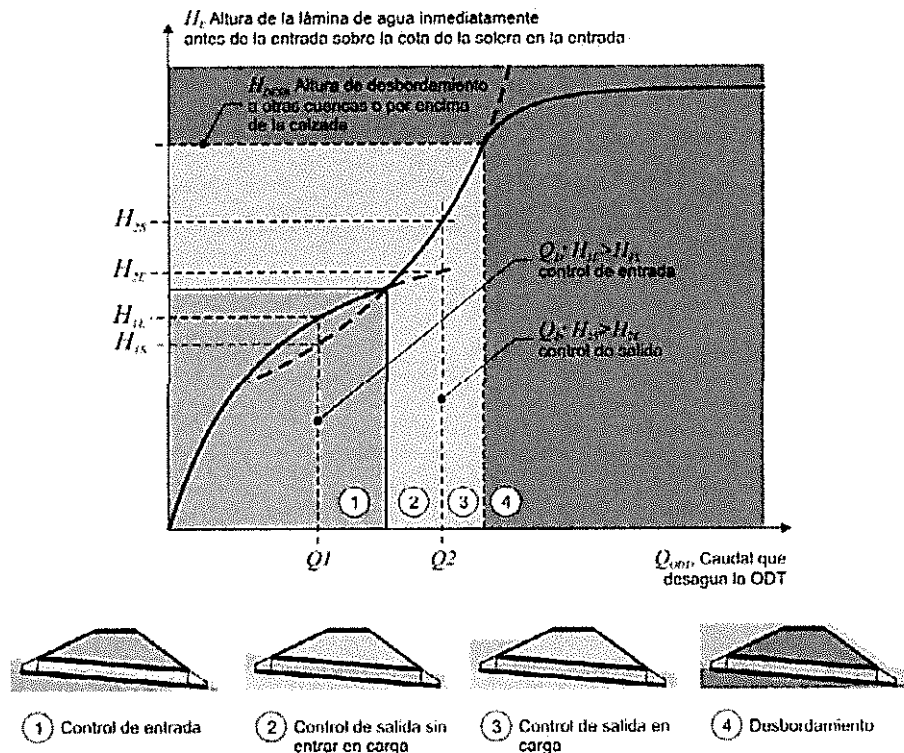


FIGURA 4.23.- CURVA CARACTERÍSTICA DE UNA ODT

Las ODT se deben proyectar para cumplir las siguientes condiciones relativas al caudal de proyecto Q_P :

- Con carácter general deben funcionar con control de entrada. No obstante en el proyecto se puede justificar la adopción de un criterio diferente.
- La sobreelevación del nivel de la corriente provocada por la presencia de la ODT será el menor valor de entre los dos siguientes:
 - o Cincuenta centímetros (50 cm)
 - o La correspondiente a una altura de lámina de agua a la entrada del conducto inferior a uno coma dos veces la altura libre del conducto ($H_E < 1,2 H$).

En casos excepcionales, con la conformidad de la Administración Hidráulica, se podrá justificar la utilización de criterios distintos a los anteriores.

- Con carácter general, el resguardo libre existente hasta la plataforma (figura 4.22) debe ser superior a cero coma cinco metros ($v_{ODT} \geq 0,5 \text{ m}$). No obstante en el proyecto se puede justificar la adopción de un criterio diferente.
- Cuando a la entrada o a la salida de una ODT la lámina de agua entre en contacto con el relleno se tendrán en cuenta la velocidad de la corriente y las características del material que lo constituye para disponer las protecciones necesarias.
- La velocidad debe ser inferior a la máxima admisible en función del material de la ODT (véase tabla 3.2).
- A la salida se debe producir la continuidad o expansión del flujo al incorporarse al cauce natural sin generar erosiones ni aterramientos, proyectando las medidas necesarias en su caso.

En el proyecto se debe incluir la curva característica de cada ODT, que relaciona el caudal desaguado con la altura de lámina de agua a la entrada (Q, H_E).

4.4.5 EROSIONES Y ATERRAMIENTOS

4.4.5.1 Erosiones

En un cauce con una ODT se debe distinguir entre:

- Erosión evolutiva: En los casos en que el cauce natural no hubiera alcanzado un perfil de equilibrio sino que estuviese evolucionando hacia otro con pendiente inferior (figura 4.24).
- Erosión localizada: La que se debe directamente a la presencia de la ODT (figura 4.24)

TABLA 3.2.- VELOCIDAD MÁXIMA DEL AGUA v_{adm} (m/s)

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

Nota: Además de las variaciones debidas al distinto comportamiento de los materiales comprendidos en las categorías genéricas de esta tabla, los valores superiores son admisibles para situaciones esporádicas, mientras que los valores más bajos son para situaciones frecuentes.

En la Tabla 4.2 se incluyen los valores máximos de las longitudes de las alineaciones rectas para ser consideradas como recta de longitud limitada.

TABLA 4.2.

VELOCIDAD DE PROYECTO (V_p) DEL TRAMO (km/h)	MÁXIMA LONGITUD DE UNA ALINEACIÓN RECTA PARA SER CONSIDERADA DE LONGITUD LIMITADA (m)
140, 130, 120, 110 y 100	400
90	300
80	230
70	175
60	85
50	50 (*)
40	30 (*)
(*) Este valor es inferior a ($L_{min,s}$) recomendado en la Tabla 4.1.	

La coordinación entre alineaciones curvas consecutivas, con o sin alineación recta intermedia, sea o no de longitud limitada, se desarrolla en el apartado 4.5.

Si la alineación recta es de longitud limitada, no será necesario establecer el bombeo mediante dos planos diferentes (apartado 4.7).

4.3 CURVAS CIRCULARES.

4.3.1 GENERALIDADES.

Fijada una cierta velocidad el radio mínimo a adoptar en las curvas circulares se determinará en función de:

- El peralte máximo y el rozamiento transversal máximo movilizado.
- La visibilidad de parada en toda su longitud.
- La coordinación del trazado en planta y alzado, para evitar pérdidas de trazado, de orientación y dinámica (Capítulo 6).

4.3.2 CARACTERÍSTICAS.

Para describir el comportamiento de un vehículo que circula por una curva circular se considera un modelo consistente en establecer su equilibrio transversal como sólido rígido, que recorre dicha curva circular en planta a velocidad constante, prescindiendo del efecto del sistema de suspensión.

Según este modelo, la velocidad de la curva circular, el radio, el coeficiente de rozamiento transversal movilizado y el peralte se relacionan mediante la siguiente expresión:

$$V^2 = 127 \cdot R \cdot \left(f_t + \frac{p}{100} \right)$$

Siendo:

V = Velocidad de la curva circular (km/h).

R = Radio de la circunferencia que define el eje del trazado en planta (m).

f_t = Coeficiente de rozamiento transversal movilizado.

p = Peralte (%).

Para toda curva circular con el peralte máximo correspondiente se cumplirá que, recorrida la curva circular a la velocidad específica (V_e), no se sobrepasarán los valores del coeficiente transversal máximo movilizado (f_{tMAX}) de la Tabla 4.3.

TABLA 4.3.

COEFICIENTE DE ROZAMIENTO TRANSVERSAL MÁXIMO MOVILIZADO (f_{tMAX}).

V_e (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
f_{tMAX}	0,180	0,166	0,151	0,137	0,122	0,113	0,104	0,096	0,087	0,078	0,069

El radio deducido de la expresión anterior constituye el mínimo admisible en el diseño de la curva circular. La utilización sistemática de curvas circulares con radios mínimos se justificará suficientemente.

Se adoptará como velocidad específica (V_{ei}) de cada una de las curvas circulares que forman parte de un tramo la correspondiente a la velocidad de proyecto (V_p) de dicho tramo.

En la Tabla 4.4 se incluyen los radios mínimos y los peraltes máximos correspondientes a diferentes velocidades proyecto (V_p).

TABLA 4.4.

RELACIÓN VELOCIDAD DE PROYECTO - RADIO MÍNIMO - PERALTE MÁXIMO.

VELOCIDAD DE PROYECTO (V _p) (km/h)	GRUPO 1		GRUPO 2		GRUPO 3	
	A-140 y A-130		A-120, A-110, A-100, A-90, A-80 y C-100		C-90, C-80, C-70, C-60, C-50 y C-40	
	RADIO MÍNIMO (m)	PERALTE MÁXIMO (%)	RADIO MÍNIMO (m)	PERALTE MÁXIMO (%)	RADIO MÍNIMO (m)	PERALTE MÁXIMO (%)
140	1 050	8,00	--	--	--	--
130	850	8,00	--	--	--	--
120	--	--	700	8,00	--	--
110	--	--	550	8,00	--	--
100	--	--	450	8,00	--	--
90	--	--	350	8,00	350	7,00
80	--	--	250	8,00	265	7,00
70	--	--	--	--	190	7,00
60	--	--	--	--	130	7,00
50	--	--	--	--	85	7,00
40	--	--	--	--	50	7,00

Para radios superiores a los mínimos indicados en la Tabla 4.4 se deberán cumplir los criterios indicados en la Tabla 4.5.

4.3.3 RADIOS Y PERALTES.

El peralte (p) en tanto por ciento (%) se establecerá de acuerdo con los criterios indicados en la Tabla 4.5 cuando se utilicen radios superiores al mínimo.

TABLA 4.5.

GRUPO	DENOMINACIÓN	RADIO (m)	PERALTE (%)
1	Autopistas y autovías A-140 y A-130	$850 \leq R \leq 1050$	8
		$1050 \leq R \leq 5000$	$8 - 7,96 \cdot (1 - 1050/R)^{1,2}$
		$5000 \leq R < 7500$	2
		$7500 \leq R$	Bombeo
2	Autopistas y autovías A-120, A-110, A-100, A-90 y A-80, carreteras multicarril C-100 y carreteras convencionales C-100	$250 \leq R \leq 700$	8
		$700 \leq R \leq 5000$	$8 - 7,3 \cdot (1 - 700/R)^{1,3}$
		$5000 \leq R < 7500$	2
		$7500 \leq R$	Bombeo
3	Carreteras multicarril C-90, C-80, C-70, C-60, C-50 y C-40 y carreteras convencionales C-90, C-80, C-70, C-60, C-50 y C-40	$50 \leq R \leq 350$	7
		$350 \leq R \leq 2500$	$7 - 6,65 \cdot (1 - 350/R)^{1,9}$
		$2500 \leq R < 3500$	2
		$3500 \leq R$	Bombeo

4.4 CURVAS DE ACUERDO.

4.4.1 FUNCIONES Y UTILIZACIÓN.

Las curvas de acuerdo (o curvas de transición) tienen por objeto evitar discontinuidades en la curvatura del trazado, por lo que, en su diseño deberán proporcionar las mismas condiciones de comodidad y seguridad que el resto de los elementos del trazado.

Para curvas circulares de radio menor que cinco mil metros (< 5 000 m) en carreteras de los Grupos 1 y 2 y para curvas circulares de radio menor que dos mil quinientos metros (< 2 500 m) en carreteras del Grupo 3, será necesario utilizar curvas de acuerdo, mientras que para curvas circulares de radios mayores o iguales que los indicados no será necesario utilizarlas. Las excepciones para ángulos de giro Ω pequeños se incluyen en el epígrafe 4.4.8.

4.4.2 FORMA Y CARACTERÍSTICAS.

Se adoptará en todos los casos como forma de la curva de acuerdo una clotoide, cuya ecuación intrínseca es:

$$R \cdot L = A^2$$

Siendo:

- R = Radio de curvatura en un punto cualquiera.
- L = Longitud de la curva entre su punto de inflexión ($R = \infty$) y el punto de radio R.
- A = Parámetro de la clotoide, característico de la misma.

Otros valores a considerar son (Figura 4.1):

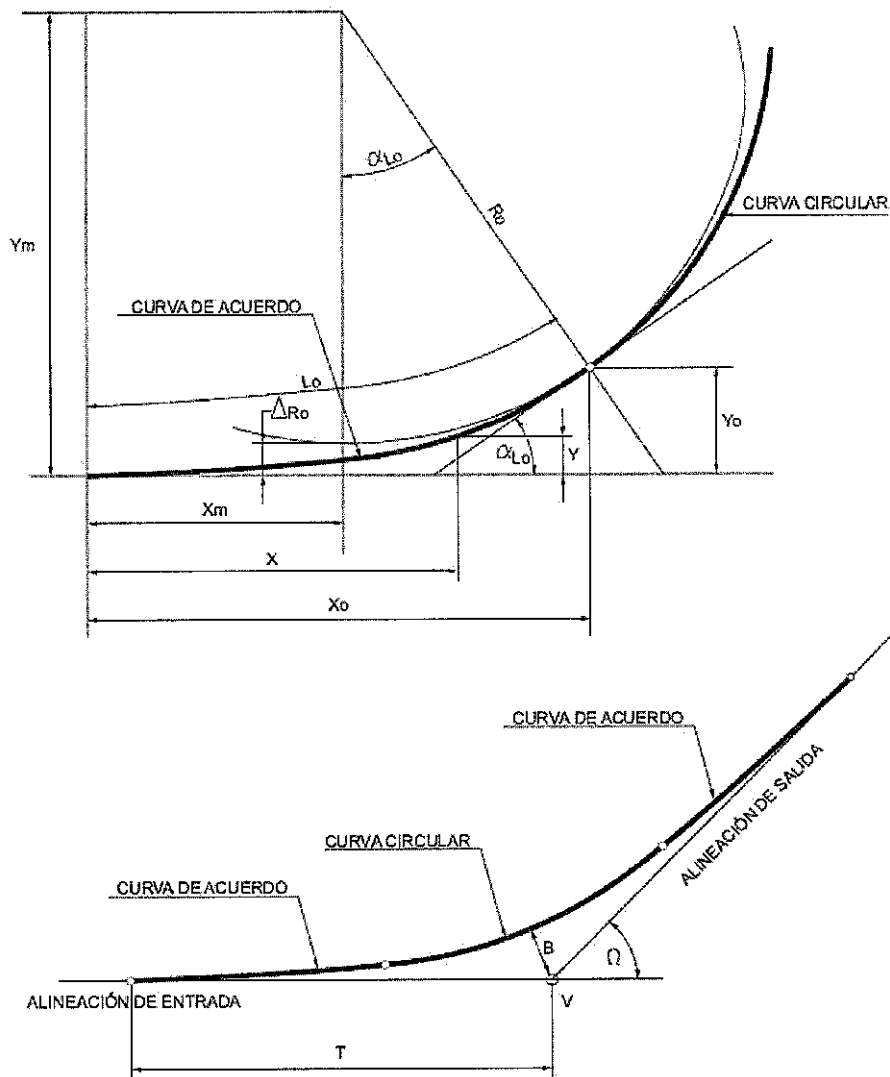
- R_o = Radio de la curva circular contigua.
- L_o = Longitud total de la curva de acuerdo.
- ΔR_o = Retranqueo de la curva circular.
- X_o, Y_o = Coordenadas del punto de unión de la clotoide y de la curva circular, referidas a la tangente y normal a la clotoide en su punto de inflexión.
- X_m, Y_m = Coordenadas del centro de la curva circular (retranqueada) respecto a los mismos ejes.
- α_L = Ángulo de desviación que forma la alineación recta del trazado con la tangente en un punto de la clotoide.

$$\text{En radianes: } \alpha_L = \frac{L}{2 \cdot R}$$

$$\text{En gonios: } \alpha_L = 31,83 \cdot \frac{L}{R}$$

- α_{L_o} = Ángulo de desviación en el punto de tangencia con la curva circular.
- Ω = Ángulo entre las rectas tangentes a dos clotoides consecutivas en sus puntos de inflexión.
- V = Vértice, punto de intersección de las rectas tangentes a dos clotoides consecutivas en sus puntos de inflexión.
- T = Tangente, distancia entre el vértice y el punto de inflexión de una clotoide.
- B = Bisectriz, distancia entre el vértice y la curva circular.

FIGURA 4.1.
CURVA DE ACUERDO.



4.4.3 PARÁMETRO Y LONGITUD MÍNIMOS.

La longitud de una curva de acuerdo y consecuentemente el parámetro correspondiente serán los mayores que cumplan las limitaciones que se indican en los epígrafes 4.4.3.1, 4.4.3.2 y 4.4.3.3.

4.4.3.1 LIMITACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA ACELERACIÓN CENTRÍFUGA EN EL PLANO HORIZONTAL.

La variación de la aceleración centrífuga no compensada por el peralte deberá limitarse a un valor J aceptable desde el punto de vista de la comodidad.

Suponiendo a efectos de cálculo que la clotoide se recorre a velocidad constante igual a la velocidad específica de la curva circular asociada de radio menor, el parámetro (A_{\min}) en metros, deberá cumplir la condición siguiente:

$$A_{\min} = \sqrt{\frac{R_0 \cdot V_e}{46,656 \cdot J} \cdot \left[\frac{V_e^2}{R_0} - 1,27 \cdot \frac{(P_0 - P_1)}{\left(1 - \frac{R_0}{R_1}\right)} \right]}$$

Siendo:

V_e = Velocidad específica de la curva circular asociada de radio menor (km/h).

J = Variación de la aceleración centrífuga (m/s^3).

R_1 = Radio de la curva circular asociada de radio mayor (m).

R_0 = Radio de la curva circular asociada de radio menor (m).

P_1 = Peralte, con su signo, de la curva circular asociada de radio mayor (%).

P_0 = Peralte, con su signo, de la curva circular asociada de radio menor (%).

lo que supone una longitud mínima (L_{\min}) de la clotoide en metros dada por la expresión:

$$L_{\min} = \frac{V_e}{46,656 \cdot J} \cdot \left[\frac{V_e^2}{R_0} \cdot \left(1 - \frac{R_0}{R_1}\right) - 1,27 \cdot (P_0 - P_1) \right]$$

A efectos prácticos, se adoptarán para J los valores indicados en la Tabla 4.6, debiendo sólo utilizarse los valores de J_{\max} cuando suponga un menor coste tal, que justifique suficientemente esta restricción en el trazado, aunque conlleve una disminución de la comodidad.

TABLA 4.6.

V_e (km/h)	$V_e < 80$	$80 \leq V_e < 100$	$100 \leq V_e < 120$	$V_e \geq 120$
(J) (m/s^3)	0,5	0,4	0,4	0,4
(J_{\max}) (m/s^3)	0,7	0,6	0,5	0,4

Las fórmulas simplificadas que definen los valores de A_{\min} y L_{\min} para el caso más usual en el que la clotoide une una alineación recta ($R_1 = \infty$ y $P_1 = 0$) y una curva circular (R_0 y P_0) son las siguientes:

$$A_{\min} = \sqrt{\frac{R_0 \cdot V_e}{46,656 \cdot J} \cdot \left[\frac{V_e^2}{R_0} - 1,27 \cdot P_0 \right]}$$

$$L_{\min} = \frac{V_e}{46,656 \cdot J} \cdot \left[\frac{V_e^2}{R_0} - 1,27 \cdot P_0 \right]$$

4.4.3.2 LIMITACIÓN POR TRANSICIÓN DEL PERALTE.

La variación longitudinal de la pendiente transversal ∇_{ip} (gradiente de la pendiente transversal) en la transición del peralte (apartado 4.7) deberá limitarse por razones de comodidad en la conducción.

Determinado el borde de la sección transversal que soporta la mayor variación longitudinal de la pendiente transversal, se establecerá la longitud mínima en la que se deberá efectuar la transición del peralte para que no se supere un valor del gradiente de la pendiente transversal (∇_{ip}), que vendrá dado por la expresión:

$$\nabla_{ip} = 0,86 - 0,004 \cdot V_p$$

Siendo:

∇_{ip} = Gradiente de la pendiente transversal del borde que experimenta la mayor variación longitudinal de la calzada respecto al eje de la misma (%).

V_p = Velocidad de proyecto (km/h).

Dado que en general la transición del peralte se desarrollará a lo largo de la curva de acuerdo en planta (clotoide), habiéndose desvanecido previamente el bombeo que exista en sentido contrario al del peralte definitivo (apartado 4.7), la longitud de la transición del peralte y , consecuentemente, la longitud de la clotoide tendrá un valor mínimo definido por la expresión:

$$L_{\min} = \frac{|p_f - p_i|}{\nabla_{ip}} \cdot B \cdot k$$

Siendo:

L_{\min} = Longitud mínima de transición del peralte (m).

p_f = Peralte final con su signo (%).

p_i = Peralte inicial con su signo al inicio de la clotoide (%).

B = Distancia del borde de la calzada al eje de giro del peralte (m).

k = Factor de ajuste, función del número de carriles que giran; se considerarán los siguientes valores:

$$k = 1,00 \text{ si gira un carril}$$

$$k = 0,75 \text{ si giran dos carriles}$$

$$k = 0,67 \text{ si giran tres o más carriles}$$

Consecuentemente el valor de (A_{\min}) será:

$$A_{\min} = \sqrt{R \cdot B \cdot k \cdot \frac{|p_f - p_i|}{\nabla_{ip}}}$$

4.4.3.3 LIMITACIONES POR CONDICIONES DE PERCEPCIÓN VISUAL.

Para que la presencia de una curva de acuerdo resulte fácilmente perceptible por el conductor, se deberá cumplir simultáneamente que:

- La variación de acimut entre los extremos de la clotoide sea mayor o igual que un dieciochoavo de radián ($\geq 1/18$ radianes).
- El retranqueo de la curva circular sea mayor o igual que cincuenta centímetros (≥ 50 cm).

Es decir:

$$L_{\min} = \frac{R_0}{9} \Rightarrow A_{\min} = \frac{R_0}{3}$$

$$L_{\min} = 2 \cdot \sqrt{3 \cdot R_0} \Rightarrow A_{\min} = (12 \cdot R_0^3)^{1/4}$$

Siendo:

L_{\min} = Longitud (m).

R_0 = Radio de la curva circular (m).

Para valores de R_0 mayores o iguales que novecientos setenta y dos metros (≥ 972 m) es aplicable la primera condición y para valores de R_0 menores que novecientos setenta y dos metros (< 972 m) es aplicable la segunda condición.

Se procurará, además, que la variación de acimut entre los extremos de la clotoide sea mayor o igual que la quinta parte del ángulo total de giro (Ω) entre las alineaciones rectas consecutivas en que se inserta la clotoide (Figura 4.1).

Es decir:

$$L_{\min} = \frac{\pi \cdot \Omega}{500} \cdot R_0 \Rightarrow A_{\min} = R_0 \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot \Omega}{500}}$$

Siendo:

L_{\min} = Longitud (m).

R_0 = Radio de la curva circular (m).

Ω = Ángulo de giro entre alineaciones rectas (gon).

Las Figuras 4.2, 4.3 y 4.4 muestran de forma gráfica, para los Grupos 1, 2 y 3, el resultado de las citadas limitaciones.

4.7 BOMBEO Y PERALTE.

Se define como bombeo la inclinación transversal de la plataforma o plataformas de una carretera en los tramos en recta para evacuar el agua hacia el exterior. El valor habitual del bombeo se corresponde con una inclinación transversal mínima del dos por ciento ($\geq 2\%$) con las matizaciones indicadas en el epígrafe 7.3.3.

Se define como peralte la inclinación transversal de la plataforma o plataformas que conforman una carretera en los tramos en curva (curva circular con clotoideas) que se dispone para contrarrestar la aceleración centrífuga no compensada por el rozamiento y evacuar el agua hacia el exterior.

Se diseñará bombeo y no peralte, en las curvas circulares de radio superior a siete mil quinientos metros ($> 7\,500\text{ m}$) en las carreteras de los Grupos 1 y 2 y de radio superior a tres mil quinientos metros ($> 3\,500\text{ m}$) en las carreteras del Grupo 3.

En carreteras de una plataforma con dos carriles y dos arcenes,¹³ el bombeo estará usualmente constituido por dos planos diferentes, uno para cada semiplataforma (carril y arcén contiguo) inclinados hacia el exterior. Si la carretera tuviese carriles adicionales una semiplataforma podría tener dos carriles.

En carreteras de dos plataformas separadas y al menos dos (≥ 2) carriles y dos arcenes en cada plataforma, el bombeo estará constituido por dos planos diferentes, uno para cada plataforma.

Para adaptar la inclinación transversal de la plataforma de los tramos rectos a los curvos es necesario efectuar primero un desvanecimiento del bombeo y después una transición del peralte.

4.7.1 EJE DE GIRO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL.

En carreteras de plataforma única con dos carriles se tomará como eje de giro de la sección transversal la marca vial que separa ambos sentidos de circulación. De forma justificada, en carreteras urbanas, en carreteras de montaña y en carreteras que discurren por espacios naturales de elevado interés ambiental o acusada fragilidad y de mejoras locales en carreteras existentes podrán definirse otros ejes de giro de la sección transversal.

En carreteras de plataformas separadas se tomarán como ejes de giro de la sección transversal los bordes interiores de cada una de las plataformas o los bordes interiores de ambas calzadas (marca vial continua interior). Si estuviese prevista una ampliación por la mediana se tomarán como ejes de giro de la sección transversal los bordes interiores de las futuras plataformas ampliadas, analizándose detenidamente el estado final de la mediana para evitar escalones, garantizar el drenaje y poder disponer los sistemas de contención de vehículos y la

¹³ Carreteras convencionales.

señalización vertical. De forma justificada podrán definirse otros ejes de giro de la sección transversal.

Donde exista más de una plataforma por sentido, se definirán los ejes de giro de la sección transversal de cada una de ellas de modo que, entre los extremos de las exteriores, se eviten excesivas diferencias de cota y, en las medianas y tercianas, se minimicen los escalones, se garantice el drenaje y se puedan disponer los sistemas de contención de vehículos, la señalización vertical y, en su caso, los elementos de iluminación y las pantallas acústicas.

4.7.2 DESVANECIMIENTO DEL BOMBEO Y TRANSICIÓN DEL PERALTE.

Se define como desvanecimiento del bombeo el giro que se efectúa en la inclinación transversal de una plataforma en carreteras de calzadas separadas o de una semiplataforma en carreteras convencionales para pasar, en una alineación recta, desde la inclinación correspondiente al bombeo a una inclinación transversal nula (0 %).

Se define como transición del peralte el giro que se efectúa en la inclinación transversal de la plataforma para pasar, en una curva de acuerdo en planta, desde una inclinación transversal nula (0 %) a la inclinación transversal correspondiente al peralte (p %) o desde el bombeo al peralte (p %) según proceda.

El desvanecimiento del bombeo y la transición del peralte deberán llevarse a cabo combinando las dos condiciones siguientes:

- Características dinámicas aceptables para el vehículo.
- Rápida evacuación de las aguas de la calzada.

El desvanecimiento del bombeo en cualquier clase de carretera se hará en la alineación recta e inmediatamente antes de la tangente de entrada a la curva de acuerdo en planta (clotoide) con las siguientes longitudes:

- Si la rasante tiene una inclinación superior al uno por ciento ($> 1\%$) se hará en una longitud mayor o igual que la longitud mínima " L_{min} " correspondiente a la limitación por transición del peralte establecida en el epígrafe 4.4.3.2.
- Excepcionalmente, si la rasante tiene una inclinación menor o igual al uno por ciento ($\leq 1\%$), se hará en una longitud " L " de veinte metros (≥ 20 m) en carreteras de los Grupos 1 y 2 y en una longitud de quince metros (≥ 15 m) en carreteras del Grupo 3. Con esta condición se puede superar el valor del gradiente de la pendiente transversal (∇_{ip}), indicado como máximo en el epígrafe 4.4.3.2.

El desvanecimiento del bombeo en el caso de alineación recta unida a curva circular (sin curva de acuerdo) se efectuará sobre la alineación recta.

La transición del peralte en carreteras convencionales se desarrollará a lo largo de la curva de acuerdo en planta (clotoide), en dos tramos, habiéndose desvanecido previamente el bombeo que exista en sentido contrario al del peralte definitivo:

- En el primer tramo la variación del peralte desde el cero por ciento (0 %) al dos por ciento (2 %) se producirá de igual forma que en el desvanecimiento del bombeo y, por lo tanto, con el mismo gradiente y longitud.
- En el segundo tramo se variará el peralte desde el dos por ciento (2 %) hasta el valor del peralte de la curva circular (p %).

La longitud de la curva de acuerdo en la que se efectúa la transición del peralte deberá tener la longitud mínima correspondiente a la limitación por transición del peralte establecida en el epígrafe 4.4.3.2.

La transición del peralte en el caso de alineación recta unida a curva circular (sin curva de acuerdo) se efectuará sobre la alineación recta inmediatamente después del desvanecimiento del bombeo y con los criterios establecidos para la clotoide.

Los tramos de transición del peralte en el caso de que la longitud de la curva circular sea menor que treinta metros (< 30 m), se desplazarán de forma que exista un tramo de treinta metros (30 m) con pendiente transversal constante e igual al peralte correspondiente al radio de la curva circular. Se procederá de igual forma en el caso de clotoides de vértice, disponiéndose un tramo de treinta metros (30 m) con pendiente transversal constante e igual al peralte correspondiente al radio de curvatura de dichas clotoides en su vértice.

Se evitará la coincidencia de peralte nulo y rasante cuasi horizontal. En los tramos donde esto no se pueda evitar se realizará un estudio de la evacuación de las aguas de la plataforma.

Se incluyen en las Figuras 4.6 a 4.10 los casos más frecuentes correspondientes a una carretera convencional con el eje de giro en el centro de la calzada, en las que "B" es el ancho de la semicalzada.

Las longitudes máximas de recta limitada que se incluyen en las Figuras 4.9 y 4.10 son las definidas en la Tabla 4.2.