

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL  
**TRABAJO FIN DE GRADO**

***PROYECTO DE ACONDICIONAMIENTO  
DE LA INTERSECCIÓN ENTRE EL  
RAMAL DE SALIDA DE LA A-8 Y LA  
N-639 EN ZIERBENA (BIZKAIA)***

***ANEJO VII – TRAZADO GEOMÉTRICO***

**Alumna:** Ramos Gómez, Nerea

**Director:** Pérez Acebo, Heriberto

**Curso:** 2017-2018

**Fecha:** Bilbao, 23 de Julio de 2018

## **ÍNDICE:**

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. CARACTERÍSTICAS DEL NUEVO TRAZADO .....</b>	<b>2</b>
<b>3. TRAZADO EN PLANTA.....</b>	<b>3</b>
3.1. ALINEACIONES RECTAS.....	5
3.2. CURVAS CIRCULARES .....	7
3.3. CURVAS DE TRANSICIÓN: CLOTOIDES - ESPIRALES .....	8
<b>4. TRAZADO EN ALZADO .....</b>	<b>13</b>
4.1. INCLINACIÓN MÁXIMA.....	13
4.2. INCLINACIÓN MÍNIMA.....	14
4.3. LONGITUDES MÁXIMAS Y MÍNIMAS.....	14
4.4. ACUERDOS VERTICALES .....	14
<b>5. SECCIÓN TRANSVERSAL.....</b>	<b>18</b>
<b>6. SOBREALCHO EN CURVAS.....</b>	<b>19</b>
<b>7. DIAGRAMA DE PERALTES .....</b>	<b>21</b>

# 1. Introducción

El objeto del presente Anejo es recoger las características del trazado del tramo de la carretera N-639, así y como, la interacción con el carril de desvío desde la Autovía A-8.

El trazado actual discurre a los largo de la N-639 en la zona interurbana de Zierbena, con calzada única de un carril de circulación para cada sentido, dichos carriles con un ancho de 3,5 metros y arcenes de aproximadamente 1 metro.

A medida que se avanza por la N-639 en el PK 23+000, nos encontramos con la desviación hacia la Autovía A-8 (dirección Santander) para los vehículos que circulan en dirección Sur. Más adelante, en el PK 23+086 se encuentra la entrada desde A-8 hacia la N-639 (ambos sentidos), en tercer lugar en el PK 23+243 se observa otra desviación hacia la Autovía A-8 (dirección Santander) esta vez para el carril correspondiente a la dirección Norte, en dónde en el mismo punto kilométrico y para el otro sentido de circulación se encuentra la desviación hacia la A-8 dirección Bilbao.

El trazado ha sido definido de acuerdo con las especificaciones de la “Instrucción de Carreteras, Norma 3.1-IC. Trazado” de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, para una carretera convencional C-50, respectiva al Grupo 3.

Se establecen los siguientes Grupos:

- Grupo 1: Autopistas y autovías A-140 y A-130.
- Grupo 2: Autopistas y autovías A-120, A-110, A-100, A-90 y A-80 y carreteras C-100.
- Grupo 3: Carreteras C-90, C-80, C-70, C-60, C-50 y C-40.

## 2. Características del nuevo trazado

Para el presente proyecto, se ha realizado una ampliación de calzada de la carretera N-639 a partir del PK 23+020.00, esta ampliación permite que los vehículos que se incorporen a dicha carretera desde la A-8 tengan un carril específico, generando una mejor fluidez del tráfico y reduciendo así las colas.

La ampliación de este carril, hace que el ramal que conecta la N-639 (dirección Sur) con la A-8 (dirección Santander) se vea afectado. Por lo tanto, se ha realizado un acondicionamiento de ambos ejes (N-639 y el ramal).

Para todo ello, se ha realizado manteniendo una exacta continuidad del eje en planta, alzado y sección transversal (incluyendo peralte), manteniendo la continuidad tanto en el punto como en la derivada (es decir, la tangencia)

### 3. Trazado en planta

Las condiciones geométricas por las que se ha regido la definición del trazado en planta del enlace, como ya se ha indicado anteriormente, han sido los correspondientes a una velocidad asignada de cincuenta kilómetros por hora.

A continuación, se muestra una tabla con cada una de las alineaciones del trazado respectivo a cada eje:

**Eje 1: N-639**

Nº	Tipo	A	P	K	Longitud	Radio	Grado de curvatura por arco	Ángulo de incremento	P.K. inicial	P.K. final	Orientación inicial	Orientación final
1	Curva				102.131m	220.000m	7.8131 (g)	26.5984 (g)	22+950.00m	23+052.13m	S0° 02' 39"E	S26° 33' 15"W
2	Espiral	102.176m	0.223m	26.096m	52.200m			7.4771 (g)	23+052.13m	23+104.33m	S26° 33' 15"W	S34° 01' 53"W
4	Espiral	224.964m	0.204m	42.887m	85.778m			4.1650 (g)	23+104.33m	23+190.11m	S34° 01' 53"W	S29° 51' 58"W
5	Curva				39.891m	590.000m	2.9133 (g)	3.8739 (g)	23+190.11m	23+230.00m	S29° 51' 58"W	S25° 59' 32"W

**Eje 2: Ramal N-639 hacia A-8**

Nº	A	P	K	Tipo	Longitud	Radio	Grado de curvatura por arco	Ángulo de incremento	P.K. inicial	P.K. final	Orientación inicial	Orientación final
1				Curva	27,24m	90.000m	19.0986 (g)	11.4409 (g)	0+000.00m	0+027.24m	S15° 12' 36"W	S29° 03' 23"W
2	60.000m	0.290m	19.992m	Espiral	40.000m			12.7324 (g)	0+027.24m	0+067.24m	S29° 03' 23"W	S41° 47' 20"W
3				Recta	142.546m				0+067.24m	0+209.78m		
4				Curva	55.368m	200.000m	8.5944 (g)	15.8617 (g)	0+209.78m	0+265.15m	S41° 47' 20"W	S57° 39' 02"W

### 3.1. Alineaciones rectas

Las restricciones sobre las longitudes de la recta vienen definidas a continuación:

En caso de disponerse el elemento alineación recta, se procurará que las longitudes mínima y máxima, en función de la velocidad de proyecto ( $V_p$ ), sean las obtenidas de las expresiones siguientes:

$$L_{\min,s} = 1,39 \cdot V_p$$

$$L_{\min,o} = 2,78 \cdot V_p$$

$$L_{\max} = 16,70 \cdot V_p$$

Siendo:

$L_{\min,s}$  = Longitud mínima (m) para trazados en "S" (alineación recta entre alineaciones curvas con radios de curvatura de sentido contrario).

$L_{\min,o}$  = Longitud mínima (m) para el resto de casos (alineación recta entre alineaciones curvas con radios de curvatura del mismo sentido).

$L_{\max}$  = Longitud máxima (m).

$V_p$  = Velocidad de proyecto del tramo (km/h).

*Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 4.2. Rectas*

La velocidad de proyecto en todo el trazado corresponde a 50km/h. Para esta velocidad se calculan las longitudes máximas y mínimas que deberán cumplir las alineaciones rectas en el trazado según la norma:

$$L_{\min,s} = 1.39 \cdot 50 = 69.5m$$

$$L_{\min,o} = 2.78 \cdot 50 = 139m$$

$$L_{\max} = 16.70 \cdot 50 = 835m$$

Se trata del tipo en "S", cuando las curvas contiguas a la recta son de sentido contrario, y del tipo en "O", cuando dichas curvas son del mismo sentido. Todas las rectas cumplen sus condiciones respectivas.

#### Bombeo en recta

En alineaciones recta no es necesario disponer de ninguna pendiente transversal. Sin embargo, una de las principales funciones que debe cumplir la sección transversal es drenar lateralmente el agua caída sobre la

plataforma, para asegurar las mejores condiciones de seguridad en caso de lluvia. Por tanto, en cualquier punto de trazado de una carretera debe existir una pendiente transversal mínima que permita evacuar el agua rápidamente de la superficie de la carretera, a esta disposición se denomina bombeo.

La norma establece el siguiente valor de bombeo:

#### **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.

*Fuente: Norma 3.1. IC Trazado. Artículo 4.7. Bombeo y peralte.*

Por lo tanto, el valor del bombeo se dispondrá de 2% teniendo en cuenta las siguientes matizaciones:

#### **7.3.3 BOMBEO EN RECTA.**

El bombeo de la plataforma en una alineación recta se proyectará de modo que se evacúen con facilidad las aguas superficiales y que su recorrido sobre la calzada sea mínimo.

Para ello se utilizarán los siguientes criterios:

- En carreteras de calzadas separadas, la calzada y los arcenes se dispondrán con una misma inclinación transversal mínima del dos por ciento ( $\geq 2\%$ ) hacia un solo lado.
- En carreteras de calzada única:
  - Si son de doble sentido de circulación, la calzada y los arcenes se dispondrán con una misma inclinación transversal mínima del dos por ciento ( $\geq 2\%$ ) hacia cada lado a partir del eje de la calzada.
  - Si son de sentido único de circulación, la calzada y los arcenes se dispondrán con una misma inclinación transversal mínima del dos por ciento ( $\geq 2\%$ ) hacia un solo lado.

*Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 7.3.3. Bombeo en recta.*

Siendo esta carretera de calzada única y de doble sentido de circulación, se dispondrá un bombeo de dos por ciento a partir del eje hacia cada lado, tanto en la calzada como en los arcenes.

### 3.2. Curvas circulares

#### Radio mínimo y peralte máximo

Se debe determinar el peralte máximo y el radio mínimo de curvatura de las curvas circulares que componen la vía a proyectar de acuerdo con la norma de trazado 3.1 IC.

VELOCIDAD DE PROYECTO (V <sub>p</sub> ) (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

Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 4.3.2. Características

Estos valores, vienen definidos de acuerdo a la velocidad de proyecto de dicho tramo, que en todo momento será de 50km/h, por lo tanto;

$$R_{min} = 85m$$

$$p_{max} = 7\%$$

La norma establece la siguiente condición del peralte en función del radio correspondiente a cada curva:

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 ≤ R ≤ 350	7
		350 ≤ R ≤ 2500	7 - 6,65 · (1 - 350/R) <sup>1,9</sup>
		2500 ≤ R < 3500	2
		3500 ≤ R	Bombeo

Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 4.3.3. Radios y peraltes.

### Desarrollo mínimo de la curva circular

Las curvas deben ser adecuadamente perceptibles para los conductores. Para esto, el desarrollo mínimo angular deberá ser suficiente. Se justificará junto con las curvas de transición.

El desarrollo mínimo de la curva correspondiente a la combinación básica Tipo I (constituida por una curva circular con sus correspondientes curvas de acuerdo, Anexo 4) se corresponderá, en general, con una variación de acimut entre sus extremos (ángulo  $\Omega$  en la Figura 4.1) mayor o igual que veinte gonios ( $\geq 20$  gon), pudiendo aceptarse valores entre veinte gonios (20 gon) y seis gonios (6 gon). Excepcionalmente podrán admitirse valores menores que seis gonios ( $< 6$  gon) mediante la utilización de curvas Tipo III (epígrafe 4.4.8).

*Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 4.4.5. Desarrollo mínimo.*

Se observa que toda curva tiene una variación de acimut mayor de 6 gonios, siendo estos valores aceptables.

### **3.3. Curvas de transición: clotoides - espirales**

A continuación se realiza las comprobaciones de los parámetros y longitudes de las curvas de transición encargadas de hacer de nexo entre curvas circulares y alineaciones rectas.

#### **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.                                    |

*Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 4.4.2. Forma y características.*

Longitud mínima y parámetro mínimo

En primer lugar se calculan para las clotoides las características mínimas exigidas por la norma.

- **Limitación de la variación de la aceleración centrífuga en el plano horizontal:**

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:

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

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

Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 4.4.3.1. Limitación de la variación de la aceleración centrífuga en el plano horizontal.

Para la obtención de la variación de la aceleración centrífuga “J”, se estimará un valor de 0,5m/s<sup>3</sup>, tal y como indica la norma para una velocidad menor de 80 km/h.

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 <sup>3</sup> )	0,5	0,4	0,4	0,4
( $J_{\max}$ ) (m/s <sup>3</sup> )	0,7	0,6	0,5	0,4

Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 4.4.3.1. Limitación de la variación de la aceleración centrífuga en el plano horizontal.

- **Limitación por transición del peralte:**

#### 4.4.3.2 LIMITACIÓN POR TRANSICIÓN DEL PERALTE.

La variación longitudinal de la pendiente transversal  $\nabla_{ip}$  (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 ( $\nabla_{ip}$ ), que vendrá dado por la expresión:

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

Siendo:

$\nabla_{ip}$  = 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).

*Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 4.4.3.2. Limitación por transición del peralte.*

Por lo tanto, para una velocidad de proyecto de 50 km/h, se obtiene:

$$\nabla_{ip} = 0.86 - 0.004 \cdot 50 = 0.66$$

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:

$k = 1,00$  si gira un carril

$k = 0,75$  si giran dos carriles

$k = 0,67$  si giran tres o más carriles

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

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

*Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 4.4.3.2. Limitación por transición del peralte.*

- **Limitaciones por condiciones de percepción visual:**

Se ha de tener en cuenta dos condiciones para que la curva de acuerdo resulte fácilmente perceptible por el conductor:

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 ( $\geq 50$  cm).

Es decir:

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

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

Siendo:

$L_{\min}$  = Longitud (m).

$R_o$  = Radio de la curva circular (m).

*Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 4.4.3.3. Limitaciones por condiciones de percepción visual.*

Además, la norma añade una recomendación:

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 ( $\Omega$ ) entre las alineaciones rectas consecutivas en que se inserta la clotoide (Figura 4.1).

Es decir:

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

Siendo:

$L_{\min}$  = Longitud (m).

$R_o$  = Radio de la curva circular (m).

$\Omega$  = Ángulo de giro entre alineaciones rectas (gon).

*Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 4.4.3.3. Limitaciones por condiciones de percepción visual.*

### Longitud máximo y parámetro máximo

#### **4.4.4 LONGITUDES MÁXIMAS.**

Se procurará no aumentar las longitudes y parámetros mínimos de las curvas de acuerdo obtenidos en el epígrafe 4.4.3, salvo expresa justificación en contrario.

La longitud máxima de una curva de acuerdo (clotoide) no será superior a una vez y media ( $\neq 1,5$ ) su longitud mínima.

*Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 4.4.4. Longitudes máximas.*

Así, se establece que:

$$L_{max} \leq 1,5 \cdot L_{min}$$

Expresándolo en función del parámetro A de la clotoide, se obtiene:

$$A_{max} \leq \sqrt{1,5} \cdot A_{min}$$

Por lo tanto, se observa que las clotoides están dentro de las restricciones correspondientes.

## 4. TRAZADO EN ALZADO

Una vez proyectado el trazado en planta, el siguiente paso es establecer el trazado en alzado.

Las características del trazado en alzado son las siguientes:

### Eje1: N-639

Nº	P.K. de VAV	Elevación de VAV	Inclinación de rasante T.E.	Inclinación de rasante T.S.	A (Cambio de pendiente)	Tipo de curva de perfil	Valor de K	Longitud de curva de perfil	Radio de curva
1	0+000.00m	107.478m		-0.60%					
2	0+105.59m	106.844m	-0.60%	5.74%	6.34%	Cóncavo	9.940	63.000m	993.991m
3	0+265.15m	116.000m	5.74%						

### Eje 2: Ramal N-639 hacia A-8 (Santander)

Nº	P.K. de VAV	Elevación de VAV	Inclinación de rasante T.E.	Inclinación de rasante T.S.	A (Cambio de pendiente)	Tipo de curva de perfil	Valor de K	Longitud de curva de perfil	Radio de curva
1	22+950.00m	108.742m		-3.42%					
2	22+977.48m	107.802m	-3.42%	-0.60%	2.82%	Cóncavo	17.716	50	1771,587m
3	23+135.07m	106.856m	-0.60%	1.58%	2.18%	Cóncavo	27.482	60	2748,225m
4	23+230.00m	108.359m	1.58%						

### 4.1. Inclinación máxima

Las inclinaciones máximas y excepcionales vienen definidas por la norma en función de la velocidad de proyecto:

- Carreteras convencionales y carreteras multicarril:

TABLA 5.2.

VELOCIDAD DE PROYECTO ( $V_p$ ) (km/h)	INCLINACIÓN MÁXIMA (%)	INCLINACIÓN EXCEPCIONAL (%)
100	4	5
90 y 80	5	7
70 y 60	6	8
50 y 40	7	10

Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 5.2.1 Valores máximos y mínimos.

La carretera en proyecto deberá cumplir las condiciones de inclinación máxima de 7% y excepcionalmente de 10%.

Las inclinaciones adoptadas en este proyecto están por debajo de dichas limitaciones.

#### 4.2. Inclinación mínima

Las inclinaciones mínimas también vienen definidas a continuación:

El valor mínimo de la inclinación de la rasante no será menor que cinco décimas por ciento ( $\leq 0,5\%$ ). Excepcionalmente, la rasante podrá alcanzar un valor menor, no inferior a dos décimas por ciento ( $\leq 0,2\%$ ). La inclinación de la línea de máxima pendiente en cualquier punto de la plataforma no será menor que cinco décimas por ciento ( $\leq 0,5\%$ ).

*Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 5.2.1 Valores máximos y mínimos.*

Todas las inclinaciones aplicadas en la carretera son superiores a el valor de 0.5%.

#### 4.3. Longitudes máximas y mínimas

No se dispondrán ni rampas ni pendientes, salvo justificación en contrario, con la inclinación máxima establecida para cada velocidad de proyecto ( $V_p$ ) y clase de carretera, cuya longitud supere tres mil metros ( $\neq 3\,000\text{ m}$ ). Esta limitación se considerará independientemente del estudio de carriles adicionales.

No se dispondrán ni rampas ni pendientes, salvo justificación en contrario, cuyo tiempo de recorrido, a la velocidad de proyecto ( $V_p$ ), sea inferior a diez segundos ( $\leq 10\text{ s}$ ) (la longitud correspondiente se medirá entre vértices consecutivos).

*Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 5.2.1 Valores máximos y mínimos.*

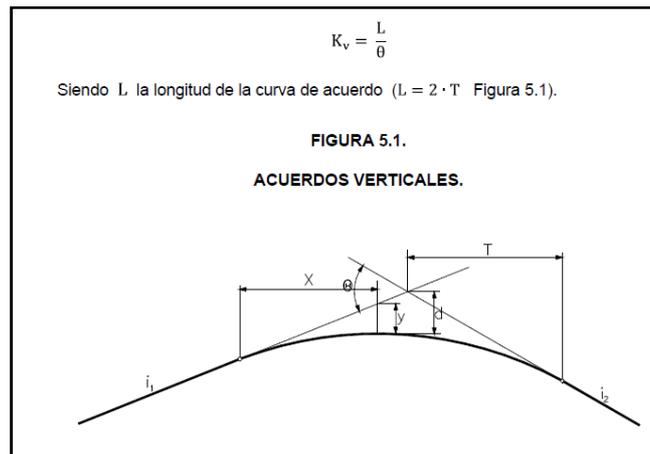
Respecto a la longitud máxima, el tramo a proyectar es de 1881.832 metros, por lo que dicha condición queda cumplida.

En cuanto a la segunda condición, se debe calcular la longitud mínima en función de la velocidad de proyecto;

$$L_{min} = 50 \frac{km}{h} \times \frac{1000\text{ m}}{1\text{ km}} \times \frac{1h}{3600s} \times 10\text{ s} = 138.89\text{ metros}$$

#### 4.4. Acuerdos verticales

La norma recoge la utilización de la parábola en un punto, de este modo:



Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 5.3. Acuerdos verticales

Para el cálculo de los parámetros mínimos de los acuerdos verticales se tiene en cuenta varias consideraciones, explicadas a continuación:

Consideraciones de visibilidad:

- En acuerdos convexos:
 
$$L = \frac{|i_2 - i_1| \cdot D^2}{2 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2} \quad K_v = \frac{D^2}{2 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$$
- En acuerdos cóncavos:
 
$$L = \frac{|i_2 - i_1| \cdot D^2}{2 \cdot (h - h_2 + D \cdot \operatorname{tg}\alpha)} \quad K_v = \frac{D^2}{2 \cdot (h - h_2 + D \cdot \operatorname{tg}\alpha)}$$

Siendo:

- $K_v$  = Parámetro de la parábola (m).
- $h_1$  = Altura del punto de vista del conductor sobre la calzada (m).
- $h_2$  = Altura del objeto sobre la calzada (m).
- $h$  = Altura de los faros del vehículo (m).
- $\alpha$  = Ángulo que el rayo de luz de mayor pendiente del cono de luz de los faros forma con el eje longitudinal del vehículo.
- $D$  = Visibilidad requerida (m).

$\theta = |i_2 - i_1|$  = Valor absoluto de la diferencia algebraica de las inclinaciones de las rasantes en tanto por uno.

Para comprobar la visibilidad de parada en los acuerdos cóncavos se considerará:

$$h_1 = 1,10 \text{ m}; h_2 = 0,50 \text{ m}; h = 0,75 \text{ m}; \alpha = 1^\circ$$

Para comprobar la visibilidad de adelantamiento en los acuerdos convexos se considerará:

$$h_1 = h_2 = 1,10 \text{ m}$$

Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 5.3.2.1 Consideraciones de visibilidad.

Se define como distancia de parada:

### 3.2.1 DISTANCIA DE PARADA.

Se define como distancia de parada ( $D_p$ ) la distancia total recorrida por un vehículo obligado a detenerse ante un obstáculo inesperado en su trayectoria, medida desde su posición en el momento de aparecer el objeto que motiva la detención. Incluye la distancia recorrida durante los tiempos de percepción, reacción y frenado. Se estimará mediante la expresión:

$$D_p = \frac{V \cdot t_p}{3,6} + \frac{V^2}{254 \cdot (f_1 + i)}$$

Siendo:

$D_p$  = Distancia de parada (m).

$V$  = Velocidad al inicio de la maniobra de frenado (km/h).

$f_1$  = Coeficiente de rozamiento longitudinal movilizado rueda-pavimento.

$i$  = Inclinación de la rasante (en tanto por uno).

$t_p$  = Tiempo de percepción y reacción (s).

A efectos de diseño se considerará como distancia de parada, la obtenida a partir del valor de la velocidad de proyecto ( $V_p$ ) del tramo considerado.

El coeficiente de rozamiento longitudinal movilizado ( $f_1$ ) en una maniobra de frenado para diferentes valores de la velocidad se obtendrá de la Tabla 3.1. Para valores intermedios de dicha velocidad se podrá interpolar linealmente en dicha tabla. El valor del tiempo de percepción y reacción será de dos segundos (2 s).

**TABLA 3.1.**

**COEFICIENTE DE ROZAMIENTO LONGITUDINAL MOVILIZADO ( $f_1$ ) EN UNA MANIOBRA DE FRENADO.**

V (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
$f_1$	0,432	0,411	0,390	0,369	0,348	0,334	0,320	0,306	0,291	0,277	0,263

*Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 3.2.1 Distancia de parada.*

Además;

Si la longitud de la curva de acuerdo vertical ( $L$ ) es inferior a la visibilidad requerida  $D$  ( $L < D$ ), caso especialmente frecuente en ramales de enlace, el valor del parámetro  $K_v$  vendrá dado por las expresiones siguientes:

- En acuerdos convexos:  
$$L = 2D - \frac{2 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{|i_2 - i_1|} \quad K_v = \frac{2D}{|i_2 - i_1|} - \frac{2 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{|i_2 - i_1|^2}$$
- En acuerdos cóncavos:  
$$L = 2D - \frac{2 \cdot (h - h_2 + D \cdot \text{tg}\alpha)}{|i_2 - i_1|} \quad K_v = \frac{2D}{|i_2 - i_1|} - \frac{2 \cdot (h - h_2 + D \cdot \text{tg}\alpha)}{|i_2 - i_1|^2}$$

Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 5.3.2.1 Consideraciones de visibilidad.

### Consideraciones de percepción visual:

**5.3.2.2 CONSIDERACIONES DE PERCEPCIÓN VISUAL.**

La longitud de la curva de acuerdo vertical cumplirá la condición:

$$L \geq V_p$$

Siendo:

$L$  = Longitud de la curva de acuerdo (m).  
 $V_p$  = Velocidad de proyecto (km/h).

Si la longitud de la curva de acuerdo vertical  $L = K_v \cdot \theta$  obtenida para el valor del parámetro tomado de la Tabla 5.3, es inferior a  $V_p$ , se determinará el valor de  $K_v$  por la condición:

$$K_v \geq \frac{V_p}{\theta}$$

Siendo:

$V_p$  = Velocidad de proyecto (km/h).  
 $\theta = |i_2 - i_1|$  = Valor absoluto de la diferencia algebraica de las inclinaciones de las rasantes en tanto por uno.

Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 5.3.2.2 Consideraciones de percepción visual.

## 5. SECCIÓN TRANSVERSAL

En cuanto a la sección transversal de la carretera a proyectar, se han seguido los siguientes puntos basados en la Norma 3.1. IC Trazado.

La sección transversal se refleja de manera detallada en los planos de perfiles transversales, así como en las secciones tipo.

Las dimensiones que tendrá que adquirir nuestra sección serán las siguientes:

DIMENSIONES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL.						
CLASE DE CARRETERA	VELOCIDAD DE PROYECTO ( $V_p$ ) (km/h)	ANCHO (m)				NIVEL DE SERVICIO MÍNIMO EN LA HORA DE PROYECTO DEL AÑO HORIZONTE
		CARRILES	ARCENES		BERMAS (MÍNIMO)	
			INTERIOR / IZQUIERDO	EXTERIOR / DERECHO		
Autopista y autovía	140, 130 y 120	3,50	1,00 / 1,50	2,50	1,00	C
	110 y 100	3,50	1,00 / 1,50	2,50	1,00	D
	90 y 80	3,50	1,00	2,50	1,00	D
Carretera multicarril	100	3,50	1,00 / 1,50	2,50	1,00	D
	90 y 80	3,50	1,00	2,50	1,00	D
	70 y 60	3,50	0,50 / 1,00	1,50 / 2,50	1,00	E
	50 y 40	3,25 a 3,50	0,50 / 1,00	1,00 / 1,50	0,50	E
Carretera convencional	100	3,50	2,50		1,00	D
	90 y 80	3,50	1,50		1,00	D
	70 y 60	3,50	1,00 / 1,50		0,75	E
	50 y 40	3,00 a 3,50	0,50 / 1,00		0,50	E

*Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 7.3.1. Elementos y sus dimensiones.*

Al tratarse de una carretera convencional de calzada única, proyectada con una velocidad de proyecto de 50 km/h, la norma define que la anchura de los carriles debe ser de 3,00 a 3,5 metros cada uno, se aplicará en este caso de 3,50 metros para tener más holgura. De la misma se mantendrá el ancho de arcén actual para dar continuidad al trazado.

Arcén derecho: 2,4 metros

Arcén izquierdo: 2,1 metros

## 6. SOBREANCHO EN CURVAS

Se deberá de tener en cuenta un sobreebancho en curvas con un radio inferior a 250 metros, por lo que en todas las curvas del trazado se deberá aplicar un sobreebancho.

En curvas circulares en carreteras de radio inferior a doscientos cincuenta metros (< 250 m) y para vehículos rígidos, el ancho de cada carril (en metros) podrá ser estimado, de forma simplificada, mediante la expresión:

$$3,5 + \frac{l^2}{2 \cdot R}$$

Siendo:

R = Radio de la curva horizontal (m).

l = Longitud del vehículo patrón característico, medida entre su extremo delantero y el eje de las ruedas traseras (m). Salvo casos excepcionales convenientemente justificados, el valor de la longitud del vehículo patrón característico (l) se obtendrá de la Tabla A3.1 (Anexo 3).

Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 7.3.5. Sobreebancho en curvas

Se tendrá en cuenta esto utilizando como **vehículo patrón característico** el **camión articulado**, cuyas características dimensionales vienen definidas en la Norma 3.1.- IC Trazado.

CARACTERÍSTICA	TURISMO	FURGÓN	AUTOBÚS RÍGIDO <sup>44</sup>	AUTOBÚS ARTICULADO	CAMIÓN LIGERO <sup>45</sup>	CAMIÓN ARTICULADO		TREN DE CARRETERA		
						TRACTORA	SEMIRREMOLQUE <sup>46</sup>	CAMIÓN	REMOLQUE <sup>47</sup>	
Anchura	1,80	2,05	2,55		2,45 / 2,55 <sup>48</sup>	2,44	2,55	2,45	2,55	
Longitud	Unidad	4,80	6,35	15,00	18,75	10,55	6,30	13,60	10,50	7,25
	Total						16,50		18,75	
Altura		2,76	3,27	3,21	2,79 / 4,04	2,79	4,04	2,79 / 4,04	4,04	
Voladizo delantero	1,00	0,95	2,65	2,75	1,40	1,40		1,40		
Distancia entre ejes	Nº 1	2,80	4,00	7,45	6,15	6,25	3,90		5,00	
	Nº 2			1,40	7,20		5,65		1,40	
	Nº 3							1,30	6,70	
	Nº 4							1,30		1,30
Voladizo trasero	1,00	1,40	3,50	2,65	2,90		2,95		2,95	
Posición del pivote <sup>49</sup>				2,00 / 5,20		3,20 / 0,70		1,40 / 5,30		

<sup>44</sup> El de tres ejes resulta más restrictivo.

<sup>45</sup> Se especifica la dimensión de la cabina y de la caja.

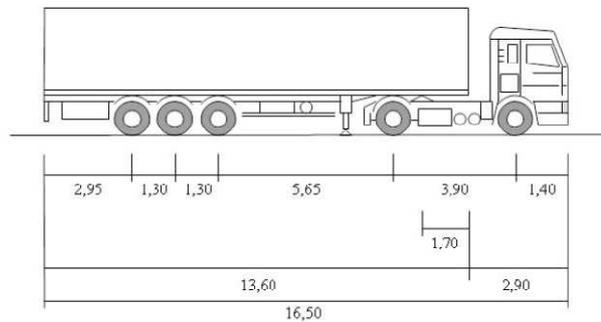
<sup>46</sup> El semirremolque tiene tres ejes y puede circular con el más adelantado izado.

<sup>47</sup> Los ejes de los remolques adoptan diversas configuraciones. El seleccionado tiene dos ejes centrados en la caja; pero los ejes se pueden situar también en los extremos de la caja. También puede tener tres ejes y un pivote de giro.

<sup>48</sup> La primera cifra representa la dimensión de la cabina, la segunda la de la caja.

<sup>49</sup> La primera cifra corresponde a la distancia del pivote al eje que está delante de él y la segunda al eje que está detrás. Por lo tanto, la suma de las dos cifras es la distancia entre esos dos ejes, entre los que está situado el pivote.

FIGURA A3.5.  
CAMIÓN ARTICULADO PATRÓN  
(dimensiones en metros)



Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Anexo 3. Dimensiones de los vehículos patrón.

Para la transición al sobreebanco se establece lo siguiente:

De forma simplificada y fuera de intersecciones, la transición entre el ancho de los carriles en recta y en curva se podrá realizar linealmente, en una longitud mayor o igual que treinta metros ( $\geq 30$  m) desarrollada a lo largo de la clotoide, aumentando progresivamente el ancho de los carriles hasta alcanzar el sobreebanco máximo estimado en el inicio de la curva circular. En casos especialmente difíciles (como cuando no existe curva de acuerdo) podrá aceptarse que el veinticinco por ciento (25 %) de la transición se sitúe dentro de la propia curva circular. La ampliación del ancho del carril por el sobreebanco en curvas se efectuará, salvo justificación en contrario, por el borde derecho del carril en el sentido de la marcha, de acuerdo con lo indicado en el apartado 7.5.

Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 7.3.5. Sobreebanco en curvas

Para ello, se han dispuesto los sobreebanco correspondientes en las curvas de radio inferior a 250 metros. Además, se ha realizado un estudio específico de la realización del giro para los vehículos que se incorporan a la N-639, tanto el giro a izquierdas como el giro a derechas.

Estos giros vienen representados en los planos **11. Comprobación de giro.**

## 7. DIAGRAMA DE PERALTES

A continuación, se especifica los pasos seguidos para el cálculo de los peraltes de la carretera en estudio.

En primer lugar, como viene especificado anteriormente, el peralte en las curvas deberá ser de 2% en alineaciones rectas, correspondiente al bombeo.

La variación del peralte desde el bombeo en las alineaciones rectas hasta las curvas circulares se realiza mediante dos fases, desvanecimiento del bombeo y transición del peralte, aplicadas de la siguiente manera:

- Desvanecimiento del bombeo:

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.

*Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 4.7.2. Desvanecimiento del bombeo y transición del peralte.*

- Transición del peralte:

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.

*Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 4.7.2. Desvanecimiento del bombeo y transición del peralte.*

Para calcular la longitud mínima a aplicar se debe tener en cuenta la inclinación de las rasantes, la totalidad de las rasantes aplicadas en el nuevo trazado son superiores al uno por ciento, por lo que la longitud mínima a establecer viene limitado en el epígrafe 4.4.3.2 anteriormente nombrada.

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

Siendo:

$$\nabla_{ip} = 0.86 - 0.004 \cdot 50 = 0.66$$

$$B = 3,5 \text{ m}$$

$$K = 1$$

$$p_f = 0\% \\ -2\%$$

$$p_i =$$

Por lo tanto se obtiene una longitud mínima:

$$L_{min} = \frac{|0 - (-2)|}{0.66} \cdot 3.5 \cdot 1 = 10.61 \text{ m}$$

Por otro lado, también se debe tener en cuenta la longitud de la curva circular, la norma establece lo siguiente:

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.

*Fuente: Norma 3.1-IC Trazado. Artículo 4.7.2. Desvanecimiento del bombeo y transición del peralte.*

Los peraltes utilizados vienen definidos en los planos correspondientes al perfil longitudinal anexo al proyecto.