

**materia**

Deseño e Construción de Obras Lineais

unidade didáctica 2

# Trazado de estradas

Alberte Castro Ponte

Departamento de Enxeñaría Agroforestal  
Escola Politécnica Superior



VICERREITORÍA DE ESTUDANTES,  
CULTURA E FORMACIÓN CONTINUA





unidade didáctica 2

# Trazado de estradas

Alberte Castro Ponte  
Departamento de Enxeñaría Agroforestal  
Escola Politécnica Superior



Copyright © Universidade de Santiago de Compostela, 2012

**Deseño**

Unidixital

**Edita**

Vicerreitoría de Estudantes,  
Cultura e Formación Continua  
da Universidade de Santiago de Compostela  
Servizo de Publicacións  
da Universidade de Santiago de Compostela

**Imprime**

Unidixital

Servizo de Edición Dixital da  
Universidade de Santiago de Compostela

**Dep. Legal:** C 1105-2012

**ISBN** 978-84-9887-894-3

ADVERTENCIA LEGAL: reservados todos os dereitos.  
Queda prohibida a duplicación, total ou parcial desta  
obra, en calquera forma ou por calquera medio (elec-  
trónico, mecánico, gravación, fotocopia ou outros) sen  
consentimento expreso por escrito dos editores.

**MATERIA: Deseño e Construción de Obras Lineais**  
**TITULACIÓN: Grao en Enxeñaría Civil**  
PROGRAMA XERAL DO CURSO  
Localización da presente unidade didáctica

**MÓDULO I: Enxeñaría de estradas**

**Unidade 1. Enxeñaría do tráfico**

Introdución  
Elementos da circulación  
Variables características do tráfico por estrada  
Estudos de tráfico  
Capacidade e niveis de servizo en circulación continua

**Unidade 2. Trazado de estradas**

Introdución  
Parámetros básicos: velocidade e visibilidade  
A traxectoria dos vehículos. Interacción roda - pavimento  
Trazado en planta  
Trazado en alzado  
Sección transversal

**Unidade 3. Explanacións**

Introdución  
Estudos xeolóxicos e xeotécnicos  
Compactación  
Capacidade de soporte  
Construción de explanacións  
Formación das explanadas. Estabilización

**Unidade 4. Drenaxe**

Introdución  
Drenaxe superficial  
Drenaxe subterránea

**Unidade 5. Firmes e conservación de vías**

Descrición e funcións dos firmes  
Características funcionais e estruturais  
Constitución do firme e funcións das súas capas  
Materiais empregados na formación de firmes  
Tipoloxías de firmes  
Factores de deseño  
Conservación de vías

**MÓDULO II: Enxeñaría de ferrocarrís**

**Unidade 6. O Ferrocarril**

**Unidade 7. Estrutura da vía**

**Unidade 8. Deseño xeométrico da vía**

**Unidade 9. Mecánica da vía**

**Unidade 10. Conservación e reparación da vía**



## ÍNDICE

---

<b>Presentación</b> .....	<b>7</b>
<b>Obxectivos</b> .....	<b>8</b>
<b>Os principios metodolóxicos</b> .....	<b>8</b>
<b>Actividades propostas</b> .....	<b>8</b>
<b>Os contidos básicos</b> .....	<b>9</b>
1. Introducción .....	9
2. Parámetros básicos: velocidade e visibilidade .....	12
2.1. Velocidade .....	12
2.2. Visibilidade .....	14
3. A traxectoria dos vehículos. Interacción roda - pavimento .....	17
4. Trazado en planta .....	19
4.1. Conceptos xerais .....	19
4.2. Rectas .....	19
4.3. Curvas circulares .....	21
4.4. Curvas de transición .....	24
4.5. Coordinación entre elementos do trazado .....	32
4.6. Transición do peralte .....	32
5. Trazado en alzado .....	36
5.1. Conceptos xerais .....	36
5.2. Valores máximos e mínimos .....	36
5.3. Rasantes uniformes .....	39
5.4. Acordos verticais .....	39
5.5. Coordinación entre planta e alzado .....	43
6. Sección transversal .....	44
6.1. Número de carrís .....	44
6.2. Dimensións dos seus elementos .....	44
6.3. A mediana .....	45
6.4. Pendente transversal .....	46
6.5. Sobreancho en curva .....	46
6.6. Altura libre .....	47
<b>Avaliación da unidade didáctica</b> .....	<b>48</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>49</b>
<b>Índice de táboas</b> .....	<b>50</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>51</b>



## PRESENTACIÓN

---

Esta unidade didáctica forma parte do primeiro módulo da programación da materia “Deseño e Construción de Obras Lineais” do segundo curso do Grao en Enxeñaría Civil, que se dedica a sentar as bases da enxeñaría de estradas.

No primeiro tema do módulo (UD1) preséntanse os conceptos básicos relacionados co tráfico por estrada, necesarios para poder abordalo deseño xeométrico, a construción e a conservación dunha estrada.

A continuación, na presente unidade didáctica (UD2) estúdanse os conceptos fundamentais, as bases teóricas e os condicionantes normativos do deseño xeométrico ou trazado dunha estrada. Analízanse, unha por unha, as diversas fases do proceso de deseño: trazado en planta, trazado en alzado e sección transversal.

Os seguintes dous temas dedícanse ao estudo da infraestrutura dunha estrada. En primeiro lugar, preséntanse os aspectos máis importantes relacionados coas obras de explanacións (UD3) e, en segundo lugar, explícanse os fundamentos do deseño e construción das outras grandes obras de infraestrutura, as obras de drenaxe (UD4).

O módulo péchase cun tema no que se aborda a problemática do deseño, construción e conservación dos firmes (UD5), que constitúen a superestrutura dunha estrada.

No segundo módulo da materia estúdase o deseño, construción e conservación doutra tipoloxía de obra lineal, os ferrocarrís. Estas dúas tipoloxías, estradas e ferrocarrís, teñen moitas cousas en común, polo que unha gran cantidade dos contidos traballados no primeiro módulo serán de gran utilidade, senón directamente mediante certas adaptacións, na segunda parte da materia.

Esta unidade didáctica é a que ten unha maior dedicación xa que nela trátanse contidos fundamentais e exclusivos da materia. Impártese nun total de dezasete horas de clase, entre clases expositivas, seminarios e prácticas de ordenador.

Ademais de aos alumnos de 2º curso do Grao en Enxeñaría Civil, os contidos presentados poden serlle de utilidade a outros docentes ou profesionais do sector que desenvolvan a súa actividade no ámbito do deseño, construción ou conservación destas tipoloxías de infraestrutura do transporte.

## **OS OBXECTIVOS**

---

- Coñece-los conceptos teóricos fundamentais e os parámetros básicos de deseño do trazado dunha estrada.
- Coñecer e comprende-la normativa de trazado vixente, e saber aplicala a casos prácticos de deseño de estradas.
- Saber manexar a nivel básico un programa informático de deseño de obras lineais.

## **OS PRINCIPIOS METODOLÓXICOS**

---

- Os principios teóricos e os contidos fundamentais expóranse nas clases expositivas. Para iso, o profesor empregará os medios audiovisuais da aula para a realización de presentacións.
- O alumno elaborará ao finalizar cada sesión presencial un resumo dos contidos traballados, no que se recollan as súas reflexións sobre a temática abordada.
- Os seminarios interactivos dedicarase a resolución de exercicios e problemas breves relacionados co deseño xeométrico das estradas, co obxectivo de aplica-los coñecementos adquiridos durante as clases expositivas.
- Durante os seminarios, os alumnos traballarán en grupos reducidos, baixo a supervisión do profesor, sendo fundamental unha participación activa por parte de todos os membros do grupo.
- Ao finaliza-la sesión, cada grupo entregará os seus exercicios resoltos ao profesor para a súa corrección. Unha vez corrixidos, devolveranse os exercicios aos grupos para que poidan entregar, se é necesario, unha versión definitiva dos mesmos, incorporando as correccións e suxestións realizadas polo profesor.

## **ACTIVIDADES PROPOSTAS**

---

Como ampliación e aplicación dos contidos teóricos e prácticos traballados nas sesións expositivas e nos seminarios interactivos, propónse a realización das seguintes actividades:

- prácticas de ordenador (9 horas) onde os alumnos terán a oportunidade de aprender a manexar un programa informático de deseño de obras lineais;
- estudo e elaboración en grupos reducidos dun anexo de trazado correspondente a un caso real de deseño dunha estrada. Cada grupo entregará un documento provisional ao profesor para a súa corrección; que unha vez corrixido, será devolto aos grupos para que poidan entregar, se é necesario, unha versión definitiva do documento, incorporando as correccións e suxestións realizadas polo profesor.

# OS CONTIDOS BÁSICOS

## 1. Introducción

O trazado ou deseño xeométrico dunha obra lineal, sexa unha estrada ou unha liña de ferrocarril, ten como finalidade establecer o seu percorrido e a súa forma, as dimensións dos seus elementos, e a relación co seu entorno, de xeito que se cumpran unha serie de requisitos de diversos tipos: técnicos, funcionais, económicos, ambientais, etc.

Xeometricamente, unha estrada é unha superficie en 3D cunha certa complexidade. Para facilitala súa correcta definición, esta superficie descomponse en tres elementos que se deseñan de xeito coordinado para cumprir unha serie de requisitos, fundamentalmente técnicos e funcionais; pero cun certo grao de autonomía, reducindo a complexidade do problema inicial. Estes tres elementos son: o trazado en planta, o trazado en alzado e a sección transversal, que se tratarán por separado nesta unidade didáctica.

O trazado en planta correspóndese coa proxección do eixe da estrada sobre un plano horizontal (eixe en planta), definindo polo tanto as coordenadas (x,y) da estrada. Componse de diferentes tipos de aliñacións: rectas, curvas circulares e curvas de transición. Na figura 1.1 pódese apreciar un exemplo correspondente a un plano dunha parte do trazado en planta dunha estrada, onde se representa graficamente o eixe en planta da estrada — coincidente neste caso coa liña física de separación entre os dous carrís por tratarse dunha estrada convencional — cos parámetros característicos das aliñacións que o compoñen.

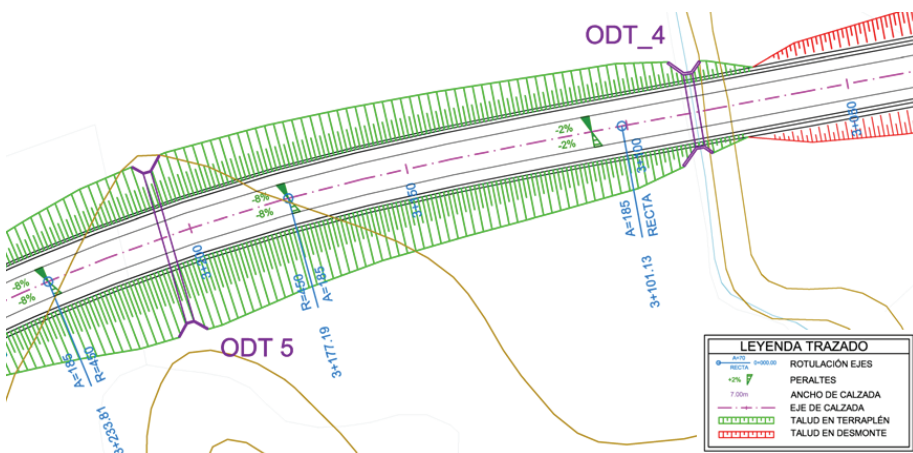
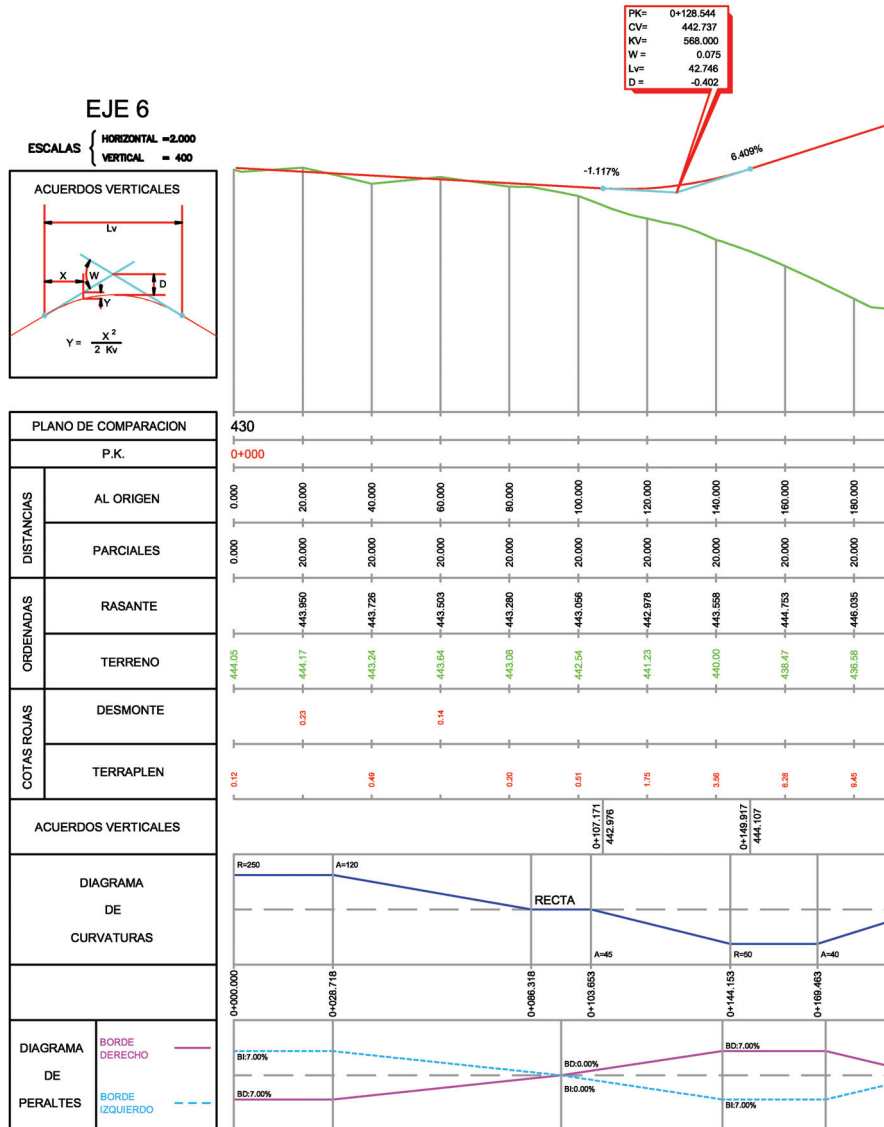


Figura 1.1: Exemplo de trazado en planta

Ademais do eixe, nos planos de trazado en planta represéntanse os elementos da sección transversal da estrada (veranse a continuación con mais detalle), os movementos de terras resultantes da súa implantación no terreo (desmontes e noiros), e as obras de paso necesarias, neste caso obras de drenaxe transversal (ODTs).

O segundo elemento é o trazado en alzado da estrada, definido pola súa rasante (perfil lonxitudinal da estrada), que relaciona a distancia percorrida ao longo do trazado en planta coa súa cota (z). A rasante componse de dous tipos de aliñacións: rasantes uniformes, de inclinación lonxitudinal constante, denominadas ramplas se os vehículos ascenden ou pendentes no caso contrario; e curvas de acordo verticais, de inclinación lonxitudinal variable, que serven para enlazar rasantes uniformes de diferente inclinación. Na figura 1.2 amósase un exemplo de trazado en alzado dun treito de estrada. Nela pódese apreciar a forma usual de representación gráfica dunha rasante, cos seus parámetros característicos.



**Figura 1.2: Exemplo de trazado en alzado ou rasante dunha estrada**

Na parte inferior da figura aparece o que se coñece por guitarra, onde se recollen varios parámetros xeométricos: distancias en planta, as cotas absolutas da rasante e do terreo, e a diferenza entre ambas (cotas vermellas). Ademais, aparecen dous diagramas de gran importancia, o diagrama de curvaturas e o diagrama de peraltes.

O diagrama de curvaturas representa a curvatura ( $\rho$ ) — o inverso do raio de curvatura ( $R$ ) — das diferentes aliñacións que compoñen o trazado en planta. As curvas a dereita no sentido da marcha considéranse positivas e as curvas a esquerda negativas.

A continuación do diagrama de curvaturas amósase o diagrama de peraltes ( $p$ ), onde se representa a inclinación transversal da estrada. Como se verá posteriormente, establécese un peralte nas curvas do trazado en planta para compensa-la forza centrífuga que sofren os vehículos ao circular por elas, e un bombeo nos treitos en recta para facilita-lo drenaxe superficial da plataforma. No diagrama de peraltes represéntase a posición vertical relativa dos bordes exteriores da sección transversal con respecto á cota da rasante, expresada en termos de porcentaxe.

O terceiro elemento, xa mencionado anteriormente, é a sección transversal, que representa un corte ideal da estrada por un plano vertical e normal á proxección horizontal do seu eixe, nun punto calquera do mesmo. Na sección transversal defínense as dimensións dos elementos que compoñen a estrada. Na figura 1.3 pódese apreciar unha sección transversal tipo para unha estrada convencional de dous carrís en terreo suburbano.

En relación coa sección transversal dunha estrada pódense definir, entre outros, os seguintes elementos constituíntes:

*Calzada*: parte da estrada destinada á circulación dos vehículos, composta dun certo número de carrís.

*Carril*: franxa lonxitudinal na que pode estar dividida a calzada, delimitada ou non por marcas viarias lonxitudinais, e con anchura suficiente para a circulación dunha fila de automóviles que non sexan motocicletas.

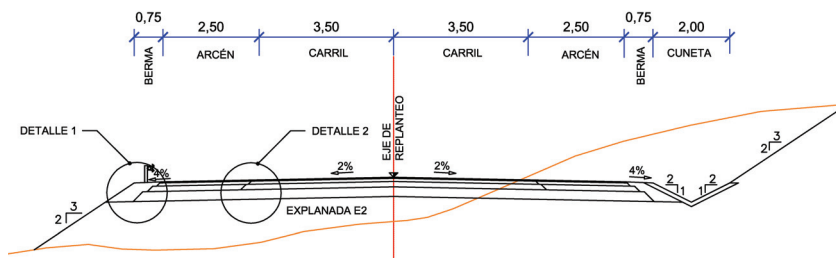
*Beiravía*: franxa lonxitudinal pavimentada, contigua á calzada, non destinada ao uso de vehículos automóviles salvo en circunstancias excepcionais.

*Beirarrúa*: franxa lonxitudinal da estrada, elevada ou non, destinada ao tránsito de peóns.

*Berma*: franxa lonxitudinal, afirmada ou non, comprendida entre o borde exterior da beiravía e a cuneta ou noiro.

*Plataforma*: zona da estrada destinada ao uso dos vehículos, formada pola calzada, as beiravías e as bermas afirmadas.

*Mediana*: franxa lonxitudinal situada entre dous plataformas separadas, non destinada á circulación.



**Figura 1.3: Exemplo de sección transversal dunha estrada convencional**

Nesta unidade preséntanse os conceptos básicos relacionados co deseño de cada un dos elementos do trazado dunha estrada e as condicións necesarias de coordinación entre eles para garantir un deseño adecuado. En primeiro lugar analízanse os parámetros básicos de deseño do trazado: velocidade e visibilidade; a continuación, estúdase o equilibrio dos vehículos circulando por unha curva; e posteriormente, dedícaselle un apartado específico a cada un dos elementos do trazado: trazado en planta, trazado en alzado e sección transversal.

Ao longo do texto aparece como documento básico de referencia a norma española de trazado (3.1-IC). A unidade recolle os aspectos fundamentais da norma, pero non a súa totalidade. Polo tanto, é preciso recorrer a ela para complementa-los contidos de algúns dos apartados da unidade.

## 2. Parámetros básicos: velocidade e visibilidade

O trazado dunha estrada debe garantir que a circulación dos vehículos se leve a cabo en condicións de comodidade e seguridade aceptables. Para iso, é preciso considerar dous parámetros básicos no seu deseño xeométrico: a velocidade dos vehículos e a visibilidade.

### 2.1. Velocidade

A velocidade dos vehículos é o parámetro fundamental a partir do cal se define o trazado, xa que este debe ser adecuado para as velocidades de circulación esperadas. Este parámetro pode definirse de moitas formas como xa se viu anteriormente na primeira unidade didáctica dedicada á Enxeñaría do Tráfico. Con todo, polo que respecta á aplicación da norma de trazado 3.1-IC, considéranse as seguintes velocidades:

*Velocidade específica dun elemento de trazado ( $V_e$ ):* Máxima velocidade que pode manterse ao longo dun elemento de trazado considerado illadamente, en condicións de seguridade e comodidade, cando atopándose o pavimento húmido e os pneumáticos en bo estado, as condicións meteorolóxicas, do tráfico, e legais son tales que non impoñen limitacións á velocidade.

*Velocidade de proxecto dun treito* ( $V_p$ ): Velocidade que permite defini-las características xeométricas mínimas dos elementos do trazado, en condicións de comodidade e seguridade. Identifícase coa velocidade específica mínima do conxunto de elementos que forman o treito.

*Velocidade de planeamento dun treito* ( $V_P$ ): Media harmónica das velocidades específicas dos elementos de trazado en planta de tramos homoxéneos de lonxitude superior a dous quilómetros (2 km), dada pola expresión:

$$V_P = \frac{\sum l_k}{\sum (l_k / V_{ek})}$$

onde

$V_P$       velocidade de planeamento  
 $l_k$       lonxitude do elemento k  
 $V_{ek}$      velocidade específica do elemento k

A selección da velocidade de proxecto ten implicacións de tipo técnicas e económicas, xa que unha velocidade de proxecto elevada precisa raios de curvatura grandes, inclinacións lonxitudinais pequenas e seccións transversais de maiores dimensións, o que se traduce en maiores custos de construción. Pola contra, o custo de explotación redúcese (grazas á redución do tempo de percorrido que compensa outros custos) e tamén o número de accidentes, aínda que a súa gravidade pode ser maior.

A velocidade de proxecto débese definir a partir dos pertinentes estudos de estradas, nos que se terán en consideración varios factores: orografía do terreo, funcionalidade da vía na rede de transporte, condicións económicas, impacto ambiental, etc.

A norma de trazado 3.1-IC establece diferentes categorías de estradas en función da súa velocidade de proxecto, debéndose considerar exclusivamente as velocidades recollidas na táboa 2.1, salvo en casos oportunamente xustificadas.

**Táboa 2.1: Categorías de estradas e velocidades de proxecto (Norma 3.1- IC)**

Clase de estrada	Velocidade de proxecto (km/h)				
	120	100	80	60	40
<b>Autoestrada</b>	AP-120	AP-100	AP-80	-	-
<b>Autovía</b>	AV-120	AV-100	AV-80	-	-
<b>Vía rápida*</b>		R-100	R-80		
<b>Estrada convencional</b>	-	C-100	C-80	C-60	C-40

\* Categoría que foi substituída polas vías para automóviles (Real Decreto 1428/03)

A efectos de aplicación da norma defínense dous grupos diferentes de estradas: o grupo 1, constituído polas autoestradas, autovías, vías rápidas (vías para automóviles, a partir do RD 1428/03) e estradas convencionais C-100; e o grupo 2, onde se inclúen as restantes estradas.

## 2.2. Visibilidade

Os condutores que circulan polas estradas efectúan diversos tipos de manobras axudados polos indicadores visuais que van atopando no seu percorrido. Estes indicadores deben permanecer visibles en todo momento, cun nivel mínimo de visibilidade que asegure unhas condicións de circulación adecuadas, independentemente das condicións ambientais.

Pódense definir dous tipos de visibilidade: a visibilidade dispoñible, que depende das características xeométricas dos elementos da estrada; e a visibilidade necesaria, que depende principalmente da velocidade do vehículo:

*Visibilidade dispoñible:* distancia existente dende a posición do condutor ata a posición do obxecto ou elemento percibido mais distante, sen que a visual sexa interrompida por un elemento da contorna.

*Visibilidade necesaria:* distancia mínima para que o condutor poida circular e efectuar as diversas manobras en condicións adecuadas de comodidade e seguridade.

Como é lóxico, a visibilidade dispoñible debe ser superior a visibilidade necesaria para cada unha das posibles manobras.

A norma de trazado 3.1-IC considera tres manobras que se analizan a continuación: parada, adiantamento e cruce.

### 2.2.1 Visibilidade de parada

A visibilidade necesaria para efectuar unha parada en condicións de comodidade e seguridade defínese empregando o termo *distancia de parada* ( $D_p$ ) sendo esta a «distancia total percorrida por un vehículo obrigado a deterse tan rápido como lle sexa posible, medida dende a súa situación no momento de aparece-lo obxecto que motiva a detención». Nesta definición tense en conta a suma das distancias percorridas durante os tempos de percepción, reacción e freado do vehículo.

O seu valor calcúlase mediante a seguinte expresión:

$$D_p = \frac{V \cdot t_p}{3.6} + \frac{V^2}{254 \cdot (f_l + i)}$$

onde

$D_p$	distancia de parada (m)
$V$	velocidade (km/h)
$t_p$	tempo de percepción e reacción (2 s)
$f_l$	coeficiente de rozamento lonxitudinal roda-pavimento
$i$	inclinación da rasante (m/m)

A distancia de parada mínima calcúlase empregando a velocidade de proxecto. Ademais, defínese tamén unha distancia de parada recomendable, que se obtén considerando unha velocidade igual a velocidade de proxecto incrementada en 20 km/h.

O tempo necesario para a operación de freado depende da inclinación da rasante e do rozamento lonxitudinal mobilizado entre as rodas e o pavimento. O valor deste último non debe supera-la resistencia ao escorregamento do pavimento, xa que podería perderse o control do vehículo na freada. Aínda que na realidade o coeficiente de rozamento lonxitudinal varía ao longo do proceso de freada, a norma de trazado 3.1-IC propón para o cálculo da distancia de parada o emprego duns valores constantes (táboa 2.2) en función da velocidade inicial do vehículo.

**Táboa 2.2: Coeficiente de rozamento lonxitudinal (Norma 3.1-IC)**

V (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
F <sub>i</sub>	0.432	0.411	0.390	0.369	0.348	0.334	0.320	0.306	0.291	0.277	0.263	0.249

A distancia de parada necesaria compárase coa visibilidade de parada dispoñible, definida como a «distancia ao longo dun carril que existe entre un obstáculo situado sobre a calzada e a posición dun vehículo que circula cara ao devandito obstáculo, en ausencia de vehículos intermedios, no momento en que pode divisalo sen que logo desaparezza da súa vista ata chegar ao mesmo».

Mídese ao longo dunha liña paralela ao eixe da calzada, a 1.5 m do borde dereito do carril, polo interior do mesmo e no sentido da marcha. Considérase que o punto de vista do condutor está situado a unha altura de 1.10 m e que o obstáculo mide 20 cm de alto. Polo que respecta ás condicións de iluminación, considéranse óptimas salvo no caso de acordos verticais.

A visibilidade de parada dispoñible debe ser igual ou superior a distancia de parada mínima, sendo conveniente que supere a distancia de parada desexable. En ámbolos dous casos considérase que existe visibilidade de parada. No caso de que non se cumpra a primeira condición por causas suficientemente xustificadas será preciso establece-las medidas oportunas.

### 2.2.2 Visibilidade de adiantamento

A visibilidade necesaria para efectuar unha manobra de adiantamento denomínase *distancia de adiantamento* ( $D_a$ ). Esta defínese como a «distancia necesaria para que un vehículo poida adiantar a outro que circula a menor velocidade, en presenza dun terceiro que circula en sentido oposto». A norma de trazado 3.1-IC define o seu valor en función da velocidade de proxecto (táboa 2.3).

**Táboa 2.3: Distancia de adiantamento (Norma 3.1-IC)**

<b>V<sub>o</sub> (km/h)</b>	40	50	60	70	80	90	100
<b>D<sub>a</sub> (m)</b>	200	300	400	450	500	550	600

Do mesmo xeito que coa manobra anterior, a distancia de adiantamento necesaria compárase coa visibilidade de adiantamento dispoñible, definida como a «distancia que existe ao longo do carril polo que se realiza o mesmo entre o vehículo que efectúa a manobra de adiantamento e a posición do vehículo que circula en sentido contrario, no momento en que pode divisalo, sen que logo desapareza da súa vista ata finaliza-lo adiantamento». Mídese ao longo do eixe da estrada, considerándose como no caso anterior que o punto de vista do condutor está situado a unha altura de 1.10 m.

En estradas convencionais procurarase te-la máxima lonxitude posible con posibilidade de adiantamento, sendo desexable una proporción do 40% para cada sentido de circulación, cun reparto o mais uniforme posible.

### 2.2.2 Visibilidade de cruce

A visibilidade necesaria neste caso defínese a partir da *distancia de cruce* ( $D_c$ ), sendo esta a «lonxitude percorrida por un vehículo sobre unha vía preferente, durante o tempo que outro emprega en atravesala». Esta lonxitude calcúlase a partir do tempo que se tarda en face-la manobra de cruce e da velocidade do vehículo que circula pola vía preferente mediante a seguinte expresión:

$$D_c = \frac{V \cdot t_c}{3.6}$$

onde

- $D_c$  distancia de cruce (m)
- $V$  velocidade da vía preferente (km/h)
- $t_c$  tempo necesario para efectua-la manobra (s)

O tempo  $t_c$  determínase empregando a seguinte expresión, na que se considera o tempo de percepción e reacción, e o tempo preciso para que un vehículo cruce a vía preferente, supoñendo que inicia a súa marcha dende o repouso e está situado a 3 metros do borde do carril mais próximo da vía preferente.

$$t_c = t_p + \sqrt{\frac{2 \cdot (3 + l + w)}{9.8 \cdot j}}$$

onde

$t_p$	tempo de percepción e reacción (2 s)
$l$	lonxitude do vehículo (m) que atravesa a vía principal (táboa 2.4)
$w$	anchura total dos carrís da vía principal
$j$	aceleración do vehículo que atravesa a vía principal (unidades $g$ ) (táboa 2.4)

**Táboa 2.4: Lonxitudes e aceleracións a considerar (Norma 3.1-IC)**

Clase de vehículo	Lonxitude (m)	Aceleración (unidades $g$ )
Vehículo articulado	18	0.055
Vehículo pesado ríxido	10	0.075
Vehículo lixeiro	5	0.15

A distancia de cruce mínima obtense empregando a velocidade de proxecto da vía preferente, mentres que a distancia de cruce recomendable calcúlase considerando unha velocidade igual a velocidade de proxecto da vía preferente incrementada en 20 km/h.

A distancia de cruce compárase coa visibilidade de cruce dispoñible, definida como a «distancia que precisa ve-lo condutor dun vehículo para poder cruzar outra vía que cruza a súa traxectoria, medida ao longo do seu carril». Esta distancia ven determinada pola condición de que o condutor do vehículo que circula pola vía preferente poida ver se un vehículo dispónse a cruzar sobre a devandita vía. Novamente, considérase que o punto de vista do condutor está situado a unha altura de 1.10 m.

As interseccións deben deseñarse de xeito que a visibilidade de cruce dispoñible sexa igual ou superior a distancia de cruce mínima, sendo conveniente que supere a distancia de cruce desexable. En ámbolos dous casos considérase que existe visibilidade de cruce.

### 3. A traxectoria dos vehículos. Interacción roda-pavimento

Os vehículos que circulan polas estradas describen co seu movemento unha serie de traxectorias. Como non existe ningún sistema de guiado externo, os cambios de dirección materialízanse grazas ao contacto existente entre as rodas e o pavimento, que é o que fai efectivas as decisións tomadas polo condutor ao volante do vehículo. Por iso para deseñar correctamente o trazado dunha estrada é moi importante comprender ben como funciona a interacción roda-pavimento.

O momento crítico da circulación por estradas prodúcese no paso por unha curva, onde se produce un equilibrio entre unha serie de forzas, tal e como se pode apreciar na figura 3.1. Estas forzas son: a forza centrífuga ( $F_c$ ) provocada pola curva, que tende a despraza-lo vehículo cara ao exterior; o propio peso do vehículo ( $P$ ); e as forzas normais ( $N_1$ ,  $N_2$ ) e as forzas de rozamento transversal mobilizado ( $T_1$ ,  $T_2$ ) que aparecen na

superfície de contacto entre as rodas e o pavimento para contrarresta-las dúas primeiras. Ademais, para o estudo do equilibrio do vehículo é preciso considera-lo efecto do peralte ( $p$ ) — tanxente do ángulo ( $\alpha$ ) de inclinación transversal (figura 3.1) — que se introduce nas curvas circulares co obxectivo de compensa-lo efecto da forza centrífuga.

A partir do estudo do equilibrio de forzas ( $F_x$ ,  $F_z$ ) e momentos ( $M_G$ ) do vehículo da figura 3.1 chégase as seguintes expresións:

$$\sum F_x = T_1 + T_2 + P \operatorname{sen} \alpha - \frac{P \cdot V^2}{g \cdot R} \cos \alpha = 0$$

$$\sum F_z = N_1 + N_2 - P \cos \alpha - \frac{P \cdot V^2}{g \cdot R} \operatorname{sen} \alpha = 0$$

$$\sum M_G = (N_2 - N_1) \cdot \frac{b}{2} - (T_1 + T_2) \cdot h = 0$$

onde

- $\alpha$  inclinación transversal da sección
- $V$  velocidade de paso pola curva
- $R$  raio de curvatura da curva
- $g$  aceleración da gravidade
- $h$  altura do centro de gravidade do vehículo
- $b$  distancia entre os eixes das rodas do vehículo

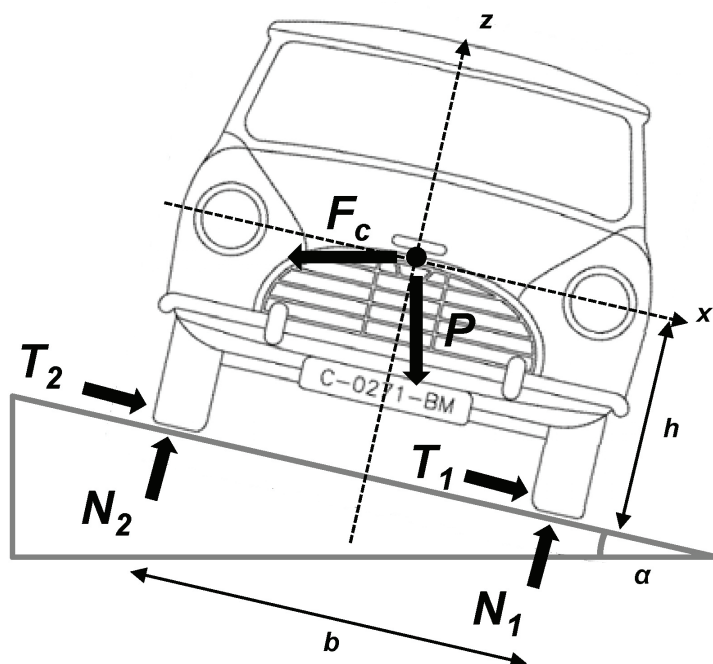


Figura 3.1: Equilibrio de forzas nun vehículo circulando por unha curva

As forzas de rozamento transversal en cada roda dependen á súa vez da forza normal e do coeficiente de rozamento transversal mobilizado

$$T = f_t \cdot N$$

onde

$f_t$  coeficiente de rozamento transversal mobilizado

Aceptando que ambas rodas mobilizan o mesmo rozamento (aínda que non soportan ambas a mesma forza normal) e traballando coas expresións anteriores chégase a seguinte fórmula que é a base do deseño das curvas circulares en estradas, como se verá posteriormente.

$$f_t + p = \frac{V^2}{g \cdot R} (1 - f_t \cdot p) \cong \frac{V^2}{g \cdot R}$$

## 4. Trazado en planta

### 4.1. Conceptos xerais

O trazado en planta dun treito de estrada componse da adecuada combinación de varias aliñacións que poden ser de tres tipos: rectas, curvas circulares e curvas de transición.

Para poder definilo é preciso establecer un eixe de referencia que represente un punto da sección transversal da estrada. Salvo xustificación, a norma de trazado 3.1-IC establece que se deben adopta-los seguintes eixes de referencia en función do tipo de estrada:

*Estradas de calzadas separadas:*

- centro da mediana, no caso de ter esta anchura constante ou con variación de anchura aproximadamente simétrica;
- borde interior da calzada a proxectar no caso de duplicacións;
- borde interior de cada calzada en calquera outro caso.

*Estradas de calzada única:*

- centro da calzada, sen ter en conta eventuais carrís adicionais

A continuación, analízanse unha por unha as características dos diferentes tipos de aliñacións en planta.

### 4.2. Rectas

A recta é un elemento que está indicado en estradas convencionais de dous carrís para obter suficientes oportunidades de adiantamento, e en calquera tipo de estrada para adaptarse a diversos condicionantes externos, como poden ser condicións urbanísticas, infraestruturas existentes, terreos chairros, etc.

#### 4.2.1. Lonxitude mínima e máxima

A norma de trazado 3.1-IC establece unha lonxitude mínima admisible para unha aliñación recta e unha lonxitude máxima desexable. A primeira ten por obxectivo proporcionar unhas condicións de acomodación e adaptación entre aliñacións. Pola contra, a segunda condición ten por finalidade evitar problemas relacionados co cansazo do condutor, posibles cegamentos ou excesos velocidade.

Estas lonxitudes determínanse en función da velocidade de proxecto e do tempo mínimo ou máximo de percorrido pola recta, de acordo coas seguintes expresións:

$$L_{\min.s} = 1.39 \cdot V_p$$

$$L_{\min.o} = 2.78 \cdot V_p$$

$$L_{\max} = 16.70 \cdot V_p$$

onde

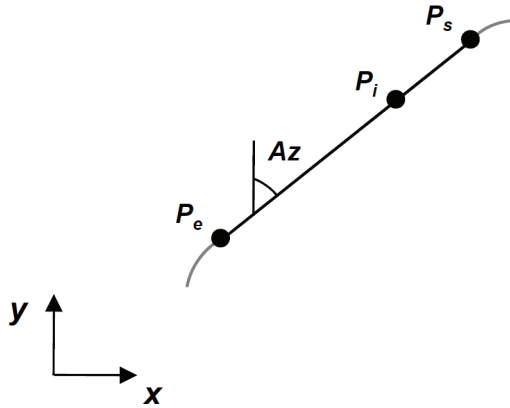
$L_{\min.s}$	lonxitude mínima (m) para trazados en "S" (aliñación recta entre aliñacións curvas con raios de curvatura de sentido contrario)
$L_{\min.o}$	lonxitude mínima (m) para o resto de casos (aliñación recta entre aliñacións curvas con raios de curvatura do mesmo sentido)
$L_{\max}$	lonxitude máxima (m)

Como se pode apreciar nas expresións anteriores, a lonxitude mínima varía en función das aliñacións anteriores e posteriores á recta. En aliñacións rectas entre curvas de sentido contrario considérase un tempo de circulación mínimo de 5 s, mentres que en curvas do mesmo sentido 10 s. A lonxitude máxima correspóndese cun tempo de circulación de 60 s.

#### 4.2.2. Definición xeométrica

No trazado dunha estrada é preciso establecer de xeito matemático as coordenadas dos puntos xeométricos por onde pasa cada aliñación, existindo puntos denominados como puntos singulares que teñen especial importancia. Estes puntos coinciden con cambios de aliñación, tanto en planta como en alzado, cambios de peralte, etc; e teñen especial relevancia para a materialización posterior do trazado no terreo.

As aliñacións rectas caracterízanse por ter un raio de curvatura infinito ( $R = \infty$ ) e un acimut constante ( $Az = cte$ ), entendéndose por acimut o ángulo que forma co Norte (eixe de coordenadas) a tanxente á aliñación no punto considerado (figura 4.1). Polo tanto, a súa xeometría queda perfectamente definida unha vez coñecidos o punto de entrada ( $P_e$ ) e o punto de saída da aliñación ( $P_s$ ).



**Figura 4.1: Definición xeométrica dunha aliñación recta**

Unha vez coñecidos estes puntos, pódense determinar as coordenadas de calquera punto intermedio de interese situado na recta a partir das seguintes expresións.

$$x_{P_i} = x_{P_e} + \overline{P_e P_i} \cdot \text{sen}(Az)$$

$$y_{P_i} = y_{P_e} + \overline{P_e P_i} \cdot \text{cos}(Az)$$

onde

$x_{P_i}$	abscisa do punto de interese
$x_{P_e}$	abscisa do punto de entrada
$y_{P_i}$	ordenada do punto de interese
$y_{P_e}$	ordenada do punto de entrada
$\overline{P_e P_i}$	distancia entre o punto de entrada e o punto de interese

### 4.3. Curvas circulares

As curvas circulares son un tipo de aliñación que se emprega no trazado para realizar cambios de dirección. Caracterízanse por ter un raio de curvatura constante ( $R = \text{cte}$ ) e un acimut que varía dun xeito lineal coa distancia percorrida. Ademais, xa se comentou anteriormente que para facilita-lo paso dos vehículos introdúcese ao longo do seu percorrido un determinado peralte para compensa-lo efecto da forza centrífuga.

#### 4.3.1. Raio mínimo e peralte

Na definición das curvas circulares o que se pretende é establecer os raios mínimos necesarios e os seus peraltes correspondentes para garanti-la comodidade e seguridade da circulación en función da velocidade de proxecto ( $V_p$ ) seleccionada. Ademais, no seu deseño deben considerarse

outros aspectos como a visibilidade de parada dispoñible na súa lonxitude ou a coordinación existente con outros elementos do trazado.

No apartado 3 da presente unidade didáctica, viuse que existe unha expresión matemática para representa-lo equilibrio dun vehículo percorrendo unha curva circular que depende da velocidade do vehículo, do raio de curvatura e do peralte da curva, e do rozamento transversal mobilizado. Esta expresión pódese reformular do seguinte xeito:

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

onde

- V<sub>c</sub> velocidade de paso pola curva (km/h)
- R raio da curva (m)
- f<sub>t</sub> coeficiente de rozamento transversal mobilizado
- p peralte (%)

Polo tanto, coñecido o raio e o peralte da curva, pódese determina-la velocidade a que se pode circular pola curva en función do rozamento transversal mobilizado.

Para que a circulación se produza nunhas condicións de comodidade e seguridade é preciso limita-lo valor deste último. A norma de trazado 3.1-IC establece uns valores límite que non deben superarse en función da velocidade específica (V<sub>e</sub>) de paso pola curva (táboa 4.1).

**Táboa 4.1: Coeficiente de rozamento transversal (Norma 3.1-IC)**

V <sub>e</sub> (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
f <sub>t</sub>	0.180	0.166	0.151	0.137	0.122	0.113	0.104	0.096	0.087	0.078	0.069	0.060

Polo que respecta ao peralte, a norma establece o valor que debe empregarse en función do raio da curva circular e do grupo o cal pertence a estrada, de acordo coas seguintes expresións, onde o peralte (p) exprésase en porcentaxe (%):

Grupo 1

$$250 \leq R \leq 700 \rightarrow p = 8$$

$$700 \leq R \leq 5000 \rightarrow p = 8 - 7.3 \cdot (1 - 700/R)^{1.3}$$

$$5000 \leq R < 7500 \rightarrow p = 2$$

$$7500 \leq R \rightarrow \text{bombeo}$$

## Grupo 2

$$50 \leq R \leq 350 \rightarrow p = 7$$

$$350 \leq R \leq 2500 \rightarrow p = 7 - 6.08 \cdot (1 - 350/R)^{1.3}$$

$$2500 \leq R < 3500 \rightarrow p = 2$$

$$3500 \leq R \rightarrow \text{bombeo}$$

Como pode apreciarse nas expresións anteriores, o peralte a adoptar nas curvas circulares está limitado, aínda que a disposición de peraltes maiores (para o mesmo valor do raio da curva) significaría un incremento da velocidade de paso. Esta limitación faise para evitar problemas relacionados co paso dos vehículos máis lentos, posibles escorregamentos por presenza de neve ou xeadas, e dificultades construtivas derivadas do establecemento de inclinacións transversais elevadas.

En curvas circulares con raios de curvatura elevados establécese unha inclinación transversal mínima denominada bombeo (verase en profundidade en vindeiros apartados). Isto faise tamén en aliñacións rectas, e a súa finalidade é facilita-la rápida evacuación das augas superficiais recollidas pola plataforma.

A partir das expresións anteriores pódese determina-lo raio mínimo e o peralte que se precisan para poder circular con comodidade e seguridade en función da velocidade específica ( $V_e$ ) desexada. Esta velocidade debe ser igual ou superior á velocidade de proxecto ( $V_p$ ) establecida para o treito de estrada considerado.

### 4.3.2. Definición xeométrica

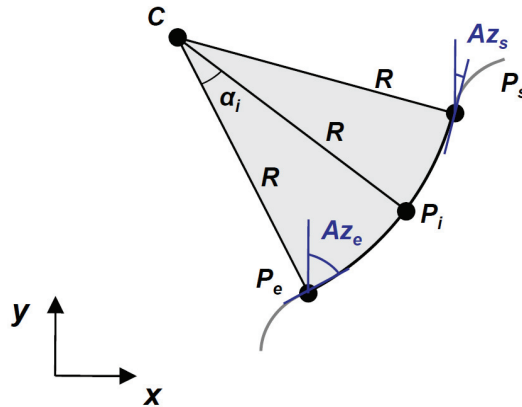
A definición xeométrica das curvas circulares é algo máis complicada ca correspondente ás aliñacións rectas (figura 4.2). Coñecidos os puntos de entrada ( $P_e$ ) e de saída ( $P_s$ ), e o raio da curva circular ( $R$ ), pódese determinar calquera punto de interese situado na curva circular a partir das seguintes expresións.

$$x_{P_i} = x_{P_e} + R \cdot \text{sen}(\alpha_i) \cdot \text{sen}(Az_e) - R \cdot (1 - \cos(\alpha_i)) \cdot \cos(Az_e)$$

$$y_{P_i} = y_{P_e} + R \cdot \text{sen}(\alpha_i) \cdot \cos(Az_e) + R \cdot (1 - \cos(\alpha_i)) \cdot \text{sen}(Az_e)$$

onde

$x_{P_i}$	abscisa do punto de interese
$x_{P_e}$	abscisa do punto de entrada
$y_{P_i}$	ordenada do punto de interese
$y_{P_e}$	ordenada do punto de entrada
$R$	raio de curvatura
$\alpha_i$	ángulo entre o punto de entrada e o punto de interese
$Az_e$	acimut do punto de entrada
$Az_s$	acimut do punto de saída



**Figura 4.2: Definición xeométrica dunha curva circular**

#### 4.3.3. Desenvolvemento angular mínimo

O desenvolvemento angular (variación de acimut entre os puntos de entrada e saída) de toda curva circular debe ser igual ou maior aos 20 gonios (grados centesimais), aínda que se poden aceptar valores entre 20 e 9 gonios, e so excepcionalmente inferiores aos 9 gonios.

### 4.4. Curvas de transición

As curvas de transición empréganse para enlazar aliñacións rectas con curvas circulares (salvo curvas circulares de raio moi grande). Introdúcense no trazado co obxectivo de evita-las discontinuidades de curvatura e de peralte que se producirían se se enlazasen directamente estas dúas tipoloxías. Ao longo da curva de transición, tanto a curvatura coma o peralte varían de xeito gradual dende un valor nulo na aliñación recta até un valor finito na curva circular.

A introdución de curvas de transición no trazado incrementa a comodidade da condución e mellora a seguridade da circulación.

#### 4.4.1. A clotoide

A norma de trazado 3.1-IC establece a necesidade de adoptar como curva de transición a clotoide. Esta curva correspóndese coa traxectoria que describe un vehículo que circula a unha velocidade constante, xirando o seu condutor o volante a unha velocidade angular tamén constante. Responde a unha lei de curvaturas lineal coa distancia percorrida, de acordo a seguinte expresión:

$$\frac{1}{R} = \frac{R_o}{R} = \frac{L}{L_o}$$

onde

- R raio de curvatura nun punto da clotoide
- L lonxitude da clotoide entre o punto de curvatura nula ( $R = \infty$ ) e o punto de raio R
- $R_0$  raio da curva circular contigua
- $L_0$  lonxitude total da clotoide

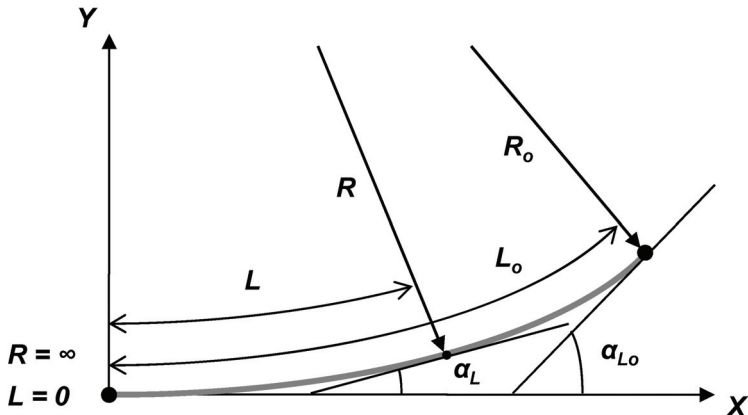
A partir da expresión anterior, obtense a ecuación intrínseca da clotoide, válida para calquera punto pertencente á clotoide:

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

onde

- A parámetro característico da clotoide

Na seguinte figura (figura 4.3) represéntase unha clotoide no seu sistema de coordenadas intrínseco (X,Y) que ten o seu orixe de coordenadas no punto de curvatura nula ( $R = \infty$ ) da clotoide e o seu eixe de abscisas coincidente coa tanxente a clotoide na orixe. Cada punto pertencente a clotoide caracterízase polo seu raio de curvatura (R), a súa lonxitude (L) e o ángulo que forma a súa tanxente co eixe de abscisas ( $\alpha_L$ ).



**Figura 4.3: Representación xeométrica dunha clotoide**

#### 4.4.2 Definición xeométrica

A definición matemática dos puntos que pertencen a unha clotoide é bastante máis complexa que a correspondente aos dous casos anteriores. A partir da ecuación intrínseca da clotoide e aplicando a análise diferencial pódese obter unha expresión para o ángulo  $\alpha_L$ :

$$\alpha_L = \frac{L^2}{2 \cdot A^2} = \frac{L}{2 \cdot R}$$

As coordenadas de calquera punto da clotoide no sistema (X,Y) calcúlanse empregando as solucións en serie das integrais de Fresnel. Pódense resolver a partir do ángulo  $\alpha_L$  ou da lonxitude L, segundo as seguintes expresións:

Solución en  $\alpha_L$ :

$$X = A\sqrt{2\alpha_L} \cdot \left( 1 - \frac{\alpha_L^2}{10} + \frac{\alpha_L^4}{216} - \frac{\alpha_L^6}{9360} \dots \right)$$

$$Y = A\sqrt{2\alpha_L} \cdot \left( \frac{\alpha_L}{3} - \frac{\alpha_L^3}{42} + \frac{\alpha_L^5}{1320} - \frac{\alpha_L^7}{75600} \dots \right)$$

Solución en L:

$$X = L \cdot \left( 1 - \frac{(L/A)^4}{40} + \dots \right)$$

$$Y = L \cdot \frac{(L/A)^2}{6} \cdot \left( 1 - \frac{(L/A)^4}{56} + \dots \right)$$

Para valores pequenos do ángulo  $\alpha_L$  pódense empregar as seguintes expresións simplificadas, nas que se considera exclusivamente o primeiro termo da solución en L:

$$X \approx L$$

$$Y \approx \frac{L^3}{6 \cdot A^2}$$

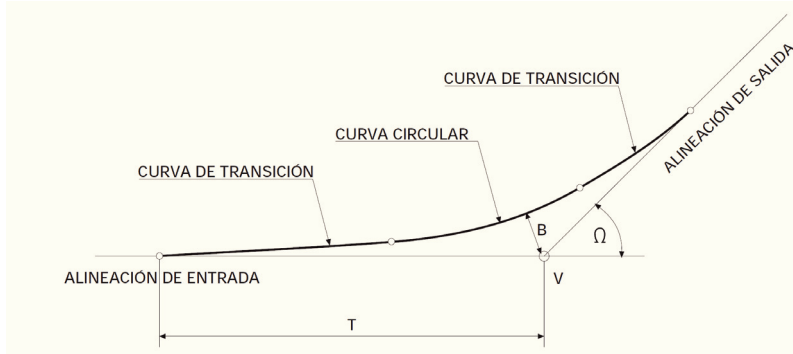
De acordo con esta aproximación, a clotoide pódese representar mediante unha parábola cúbica de ecuación:

$$Y \approx \frac{X^3}{6 \cdot A^2}$$

#### 4.4.3. Parámetros de inserción

A inserción no trazado dunha clotoide (ou outra tipoloxía de curva de transición) require a existencia de coincidencia na posición, na tanxencia e na curvatura nos puntos de contacto coas aliñacións contiguas. Estes puntos de contacto entre aliñacións denomínanse *tanxente de entrada* ou

*tanxente de saída* segundo o sentido da marcha se a aliñación contigua é unha recta, ou *tanxente común* se a aliñación contigua é unha curva circular. Na seguinte figura (figura 4.4) pódese apreciar o caso máis común de inserción de clotoides para enlazar dúas aliñacións rectas cunha curva circular.



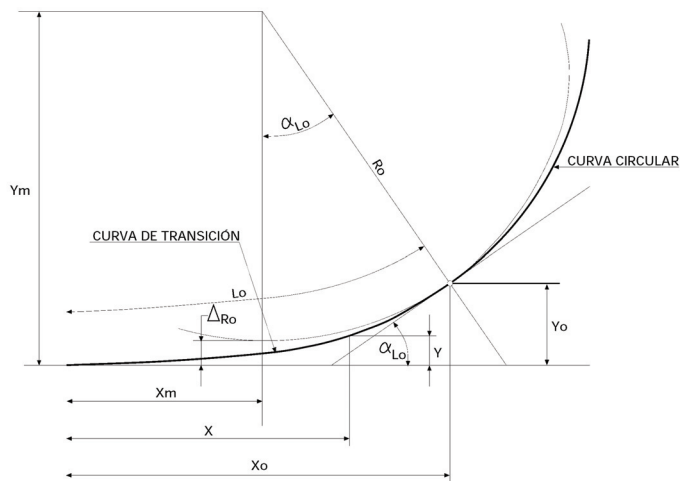
**Figura 4.4: Inserción de clotoides entre aliñacións rectas (Norma 3.1 - IC)**

Para enlazar unha aliñación recta con unha curva circular mediante unha curva de transición (figura 4.5) é preciso determina-los seguintes parámetros de inserción:

*Abscisa do centro* ( $X_m$ ): posición do centro da curva circular, referida ao sistema de coordenadas intrínsecas da clotoide ( $X, Y$ ).

*Recuamento* ( $\Delta R_o$ ): separación necesaria entre a curva circular e a aliñación recta para poder introduci-la curva de transición. O centro da curva circular de radio  $R_o$  debe situarse a unha distancia vertical  $R_o + \Delta R_o$  da aliñación recta.

*Desenvolvemento angular* ( $\alpha_{L_o}$ ): diferenza de acimut entre os dous extremos da curva de transición, ángulo de desviación entre a aliñación recta e a tanxente á clotoide no punto de tanxencia coa curva circular.



**Figura 4.5: Parámetros de inserción dunha clotoide (Norma 3.1 - IC)**

Ademais dos parámetros de inserción anteriores, tamén teñen importancia as seguintes variables que aparecen nas figuras 4.4 e 4.5:

$R_0$	raio da curva circular contigua
$L_0$	lonxitude total da curva de transición
$X_0, Y_0$	coordenadas do punto de unión da clotoide coa curva circular
$X_m, Y_m$	coordenadas do centro da curva circular
$\Omega$	ángulo entre as rectas tanxentes a dúas clotoides consecutivas nos seus puntos de inflexión
$V$	vértice, punto de intersección das rectas tanxentes a dúas clotoides consecutivas nos seus puntos de inflexión
$T$	tanxente, distancia entre o vértice e o punto de inflexión dunha clotoide
$B$	bisectriz, distancia entre o vértice e a curva circular

Os parámetros de inserción e varias das variables definidas anteriormente obtéñense a partir das seguintes expresións xerais:

$$X_m = X_0 - R_0 \cdot \text{sen}(\alpha_{L_0})$$

$$Y_m = Y_0 + R_0 \cdot \text{cos}(\alpha_{L_0})$$

$$\Delta R_0 = Y_0 + R_0 \cdot \text{cos}(\alpha_{L_0}) - R_0 = Y_0 - R_0 \cdot [1 - \text{cos}(\alpha_{L_0})]$$

$$T = (R_0 + \Delta R_0) \cdot \tan\left(\frac{\Omega}{2}\right) + X_m$$

$$B = \frac{R_0 + \Delta R_0}{\text{cos}\left(\frac{\Omega}{2}\right)} - R_0$$

Nos casos onde o ángulo  $\alpha_{L_0}$  sexa suficientemente pequeno as coordenadas do punto de unión ( $X_0, Y_0$ ) da clotoide coa curva circular pódense obter coas expresións aproximadas do apartado anterior, facilitando o cálculo de varios dos parámetros de inserción:

$$X_m \approx \frac{X_0}{2}$$

$$\Delta R_0 \approx \frac{Y_0}{4}$$

#### 4.4.3. Lonxitude mínima e máxima

A lonxitude da clotoide límtase entre un valor mínimo e un valor máximo. O valor mínimo imponse pola necesidade de que a clotoide teña unha lonxitude suficiente para evitar incomodidades derivadas da variación do peralte e da aceleración centrífuga sen compensar, e por consideracións de percepción visuais.

##### 4.4.3.1 Lonxitude mínima por variación do peralte

Na curva de transición o peralte pasa dun valor nulo na recta a un valor constante na curva circular. Polo tanto, o peralte debe variar entre estes valores ao longo da curva de transición (verase no seguinte apartado como se debe facer esta transición). En xeral, a variación realízase dun xeito lineal de acordo coa seguinte expresión:

$$\frac{dp}{dL} = \frac{p_o}{L_o}$$

onde

p            peralte no punto da clotoide de lonxitude L  
p<sub>o</sub>          peralte da curva circular

A norma establece que a variación do peralte non debe supera-lo 4% por segundo para a velocidade específica (V<sub>e</sub>) da curva circular, o que se pode expresar do seguinte xeito,

$$\frac{dp}{dt} = \frac{dp}{dL} \cdot \frac{dL}{dt} = \frac{p_o}{L_o} \cdot \frac{V_e}{3.6} \leq 4\%$$

obtendo a seguinte expresión para a lonxitude mínima da clotoide

$$L_{\min} = \frac{V_e \cdot p_o}{14.4}$$

##### 4.4.3.2 Lonxitude mínima por variación da aceleración centrífuga sen compensar

Tal e como se viu anteriormente (apartado 3), a circulación dun vehículo por unha curva circular caracterízase pola aparición dunha forza centrífuga que se compensa en parte polo efecto do peralte, e en parte polo rozamento transversal mobilizado. Isto pódese expresar tamén en termos de aceleracións:

$$a_c = a_{cc} + a_{csc}$$

onde

$a_c$	aceleración centrífuga
$a_{cc}$	aceleración centrífuga compensada polo peralte
$a_{csc}$	aceleración centrífuga sen compensar

Do mesmo xeito que o peralte, a aceleración centrífuga sen compensar ( $a_{csc}$ ) varía ao longo da curva de transición entre un valor nulo na aliñación recta até un valor constante na curva circular de acordo coa seguinte expresión:

$$a_{csc} = g \cdot f_t = \frac{V^2}{3.6^2 \cdot R} - \frac{g \cdot p}{100}$$

A variación temporal deste parámetro durante o paso pola curva de transición debe limitarse tamén para garanti-la comodidade da circulación. Esta variación denomínase co parámetro J [m/s<sup>3</sup>] que pode expresarse do seguinte xeito:

$$J = \frac{d(a_{csc}(L))}{dt} = \frac{d(a_{csc}(L))}{dL} \cdot \frac{dL}{dt} = g \cdot \frac{df_t(L)}{dL} \cdot \frac{V}{3.6} = 2.725 \cdot V \cdot \frac{df_t(L)}{dL}$$

Este parámetro depende á súa vez da variación ao longo da curva de transición do coeficiente de rozamento transversal mobilizado. No caso de que a curva de transición sexa unha clotoide, a variación do peralte se faga dun xeito lineal, e a velocidade de paso sexa igual a velocidade específica da curva, pódese supoñer que a variación do coeficiente de rozamento transversal mobilizado tamén é lineal. Polo tanto pódese supoñer válida a seguinte expresión:

$$\frac{df_t(L)}{dL} = \frac{f_t}{L_o}$$

A partir das últimas expresións chégase a seguinte fórmula para a lonxitude mínima da clotoide, en función da variación temporal da aceleración centrífuga sen compensar (J), a velocidade específica ( $V_e$ ), o raio ( $R_o$ ) e o peralte ( $p_o$ ) da curva circular:

$$L_{min} = \frac{2.725 \cdot V_e}{J} \cdot \left[ \frac{V_e^2}{127 \cdot R_o} - \frac{p_o}{100} \right] = \frac{V_e}{46,656 \cdot J} \cdot \left[ \frac{V_e^2}{R_o} - 1.27 \cdot p_o \right]$$

Para determinar esta lonxitude a norma de trazado 3.1-IC establece unha serie de valores admisibles do parámetro J en función da velocidade específica (táboa 4.2). Os valores máximos poderán empregarse en casos suficientemente xustificadas nos que os aspectos económicos prevalezan sobre a perda de comodidade na circulación.

**Táboa 4.2: Valores admisibles do parámetro J  
(Norma 3.1-IC)**

V <sub>o</sub> (km/h)	Ve < 80	80 ≤ Ve < 100	100 ≤ Ve < 120	120 ≤ Ve
J (m/s <sup>3</sup> )	0.5	0.4	0.4	0.4
J <sub>máx</sub> (m/s <sup>3</sup> )	0.7	0.6	0.5	0.4

#### 4.4.3.3 Lonxitude mínima por percepción visual

Ademais das condicións anteriores relacionadas coa comodidade da circulación, débense cumprir outras limitacións relativas a percepción visual dos condutores, de xeito que a presenza da curva de transición sexa facilmente perceptible para eles. Para iso impóñense uns valores mínimos para o desenvolvemento angular ( $\alpha_{Lo}$ ) da curva de transición e o recuamento ( $\Delta R_o$ ) da curva circular.

O desenvolvemento angular da clotoide ( $\alpha_{Lo}$ ) debe ser igual ou superior a 1/18 radiáns, e polo tanto:

$$\alpha_{Lo} = \frac{L_o}{2 \cdot R_o} \Big|_{rad} \geq \frac{1}{18} \rightarrow L_{min} = \frac{R_o}{9}$$

Á súa vez, o recuamento ( $\Delta R_o$ ) da curva circular debe ser igual ou superior a 0.5 m, o que implica:

$$\Delta R_o \approx \frac{Y_o}{4} \approx \frac{L_o^3}{24 \cdot A^2} = \frac{L_o^2}{24 \cdot R_o} \geq 0.50 \rightarrow L_{min} = \sqrt{12 \cdot R_o} = 2\sqrt{3 \cdot R_o}$$

Por último, a norma recomenda que o desenvolvemento angular ( $\alpha_{Lo}$ ) sexa tamén igual ou superior á quinta parte do ángulo  $\Omega$  existente entre as rectas tanxentes a dúas clotoides consecutivas nos seus puntos de inflexión (Figura 4.4).

$$\alpha_{Lo} = \frac{100}{\pi} \cdot \frac{L_o}{R_o} \Big|_g \geq \frac{\Omega}{5} \Big|_g \rightarrow L_{min} = \frac{\pi \cdot \Omega}{500} \cdot R_o$$

#### 4.4.3.4 Lonxitude máxima

Non é recomendable aumentar de xeito significativo a lonxitude da clotoide unha vez cumprida a lonxitude mínima por aspectos de percepción visual dos condutores, e posibles problemas de drenaxe superficial por insuficiencia de inclinación transversal da plataforma. A lonxitude máxima de cada curva de transición non debe ser superior a 1,5 veces a súa lonxitude mínima.

#### 4.5. Coordinación entre elementos do trazado

O trazado en planta está composto pola adecuada combinación das aliñacións presentadas anteriormente. As combinacións poden ser de diverso tipo: aliñacións rectas enlazadas mediante curva circular provista de clotoides, curvas circulares do mesmo sentido enlazadas con clotoides, curvas de sentido contrario enlazadas por clotoides, etc.

Para que o resultado desta combinación de aliñacións sexa un trazado en planta que garanta a comodidade e a seguridade é preciso cumprir unha serie de condicións de coordinación entre os seus elementos recollidas na norma 3.1-IC. Estas condicións fan referencia a os seguintes aspectos:

- relación entre raios de curvatura de curvas circulares consecutivas con ou sen recta intermedia;
- necesidade de empregar clotoides contiguas a unha curva circular simétricas sempre que sexa posible;
- causas xustificativas para non empregar clotoides;
- desenvolvementos mínimos de treitos en curva.

#### 4.6. Transición do peralte

A inclinación transversal dunha estrada varía ao longo do seu trazado entre valores constantes correspondentes ás curvas circulares (peralte) e os treitos rectos ou curvas de raio elevado (bombeo). Esta variación da inclinación transversal coñécese como transición do peralte.

En termos xerais, a transición realízase de xeito lineal nas curvas de transición, pero é preciso establecer como materializar esa transición en función das diferentes combinacións de aliñacións que poidan xurdir.

Fundamentalmente, a transición debe facerse atendendo a tres criterios: características dinámicas aceptables para os vehículos, rápida evacuación das augas da calzada e sensación estética agradable.

A transición do peralte defínese de xeito gráfico mediante os diagramas de curvatura e de peralte (figura 1.2). No diagrama de curvaturas represéntase ao longo do trazado en planta a curvatura das súas aliñacións co seu signo (positivo, curva a dereita; negativo, curva a esquerda).

En coordinación co diagrama de curvaturas amósase o diagrama de peraltes, onde se representa de xeito relativo a posición das cotas correspondentes aos dous bordes da calzada, quedando perfectamente definida a inclinación transversal de cada sección da estrada.

Nesta unidade explícase como debe facerse a transición do peralte cando se enlaza unha aliñación recta cunha curva circular mediante unha clotoide. Na norma de trazado 3.1-IC recóllense outros casos mais complexos.

O primeiro que debe facerse é o que se coñece como esvaecemento do bombeo. Consiste na eliminación progresiva do bombeo da recta en sentido contrario ao peralte definitivo da curva circular. Isto debe realizarse na aliñación recta, xusto antes da tanxente de entrada da clotoide, nunha lonxitude máxima de 40 m para estradas do grupo 1 e 20 m para estradas do grupo 2.

En función do bombeo da recta pódense dar tres casos diferentes

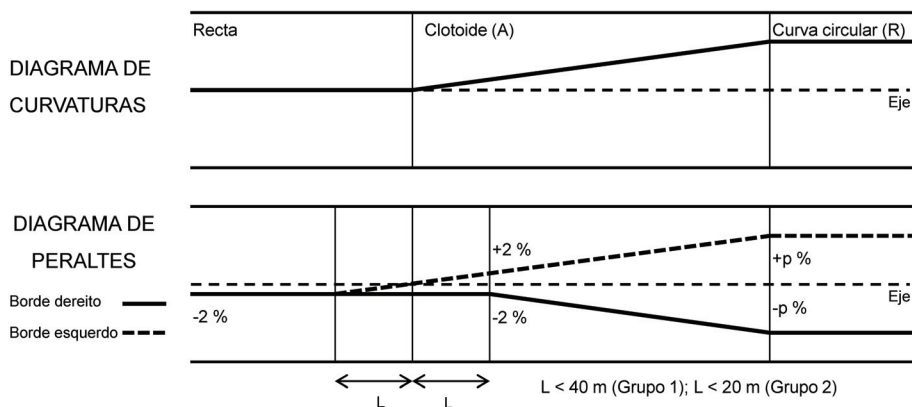
*Plataforma con dúas pendentes:* manterase o bombeo no lado da plataforma con inclinación no mesmo sentido que o peralte posterior da curva, esvaecéndose no lado con sentido contrario ao peralte.

*Calzada con pendente única do mesmo sentido co peralte posterior:* manterase o bombeo ata a tanxente de entrada da clotoide.

*Calzada con pendente única de sentido contrario co peralte posterior:* esvaecerase o bombeo de toda a plataforma.

Unha vez esvaecido o bombeo, realízase a transición do peralte. Isto farase de xeito lineal dende a tanxente de entrada na clotoide (peralte nulo) ata o peralte correspondente a curva circular sempre que se cumpra a seguinte condición: *debe acadarse o 2% de peralte nunha lonxitude máxima de 40 m para estradas do grupo 1 e 20 m para estradas do grupo 2.*

Na figura 4.6 amósase este caso. Na recta realízase o esvaecemento do bombeo do lado contrario ao peralte posterior (borde esquerdo). Unha vez esvaecido o bombeo, a transición do peralte realízase de xeito lineal entre o punto de peralte nulo ata o inicio da curva circular. Obsérvase como o borde dereito que xa ten inclinación no mesmo sentido ca curva circular mantén o 2% de bombeo ata que o outro borde acada ese valor, momento no que comezan a aumenta-la súa inclinación ambos bordes de xeito coordinado.

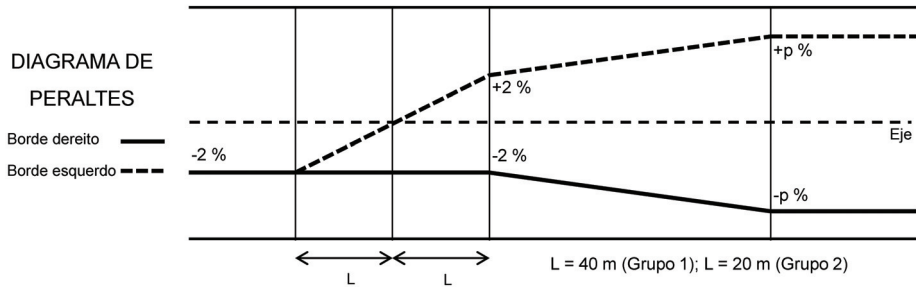


**Figura 4.6: Transición do peralte de xeito lineal nun único treito**

Se a condición anterior non se puidese cumprir, a transición do peralte debe facerse de xeito lineal en dous treitos (figura 4.7):

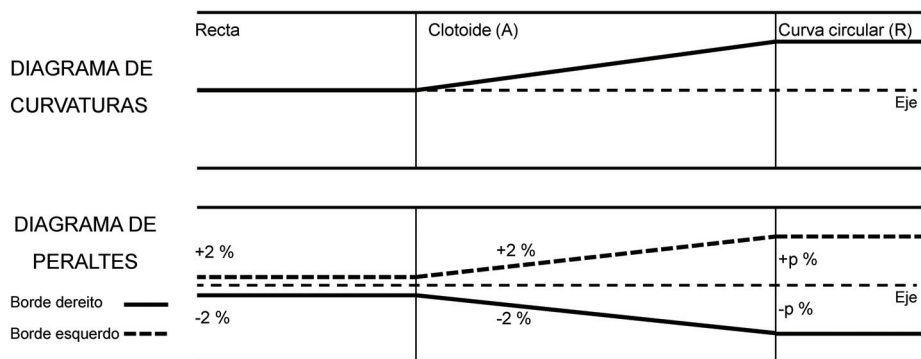
1) Dende a tanxente de entrada na clotoide (peralte nulo) ata chegar ao 2% de peralte nunha lonxitude máxima de 40 m para estradas do grupo 1 e 20 m para estradas do grupo 2.

2) Dende o punto anterior de peralte igual ao 2%, ata o valor correspondente á curva circular, o peralte aumentará de xeito lineal.



**Figura 4.7: Transición do peralte de xeito lineal en dous treitos**

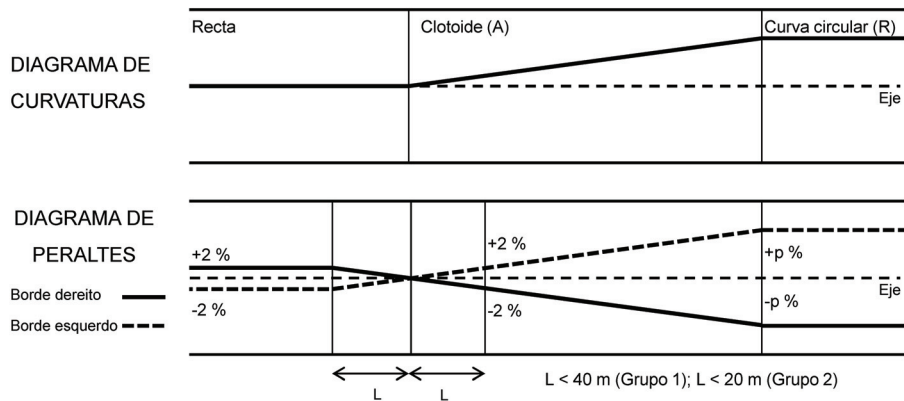
Na figura 4.8 preséntase un caso de transición de peralte cunha calzada con pendente única na zona recta do mesmo sentido co peralte posterior. Neste caso mantense a inclinación transversal ata o punto de tanxencia da clotoide onde comeza a transición do peralte.



**Figura 4.8: Transición de peralte, calzada de inclinación única do mesmo sentido co peralte posterior**

Por último, na figura 4.9 preséntase un caso de transición de peralte cunha calzada con pendente única na zona recta de sentido contrario ao peralte da curva posterior. Neste caso debe esvaecerse o bombeo de toda a plataforma antes de chegar ao punto de tanxencia da clotoide onde comeza a transición do peralte.

De novo, a transición do peralte farase a partir da tanxente de entrada nun único treito ou en dous, dependendo de se é posible cumprir a condición de acadarse o 2% de peralte nunha lonxitude máxima de 40 m para estradas do grupo 1 e 20 m para estradas do grupo 2.



**Figura 4.9: Transición de peralte, calzada de inclinación única de sentido contrario ao peralte posterior**

Xa se viu anteriormente que a variación do peralte era unha das condicións a ter en conta na determinación da lonxitude mínima das clotoides. A variación do peralte non debía supera-lo 4% por segundo para a velocidade específica ( $V_e$ ) da curva circular.

Ademais, a norma establece un valor máximo da inclinación de calquera dos bordos da calzada con relación ao eixe de xiro do peralte. Este valor máximo determinase mediante a seguinte expresión:

$$ip_{\max} = 1.8 - 0.01 \cdot V_p$$

onde

- $ip_{\max}$  máxima inclinación de calquera borde da calzada respecto ao eixe da mesma (%)
- $V_p$  velocidade de proxecto (km/h)

Esta limitación tradúcese na necesidade de comprobar que os diferentes treitos de variación do peralte teñen unha lonxitude suficiente, superior a un valor mínimo definido pola seguinte expresión:

$$L_{\min} = \frac{p_f - p_i}{ip_{\max}} \cdot B$$

onde

- $L_{\min}$  lonxitude mínima do treito de transición do peralte (m)
- $p_f$  peralte final co seu signo (%)
- $p_i$  peralte inicial co seu signo (%)
- $B$  distancia do borde da calzada ao eixe de xiro do peralte (m)

## 5. Trazado en alzado

### 5.1. Conceptos xerais

O trazado en alzado dunha estrada defínese mediante a súa rasante. Esta relaciona a distancia percorrida (s) ao longo do trazado en planta coa súa cota (z), ambas con respecto a uns orixes de referencia establecidos previamente.

O parámetro básico na definición xeométrica do trazado en alzado é a inclinación da rasante (i), definida en cada punto da mesma como a tanxente do ángulo que forma a recta tanxente á rasante coa horizontal. En estradas, a inclinación da rasante exprésase en tanto por cen (%):

$$i(\%) = 100 \cdot \frac{dz}{ds}$$

Se a inclinación dun treito, no sentido da marcha, é positiva ( $i > 0$ ) denomínase rampla, e no caso oposto ( $i < 0$ ) pendente. En función da variabilidade da inclinación da rasante pódemos ter dous tipos de elementos: rasantes uniformes, de inclinación constante; e acordos verticais, de inclinación variable, empregados para enlazar rasantes uniformes de distinta inclinación. Á súa vez, os acordos poden ser convexos (presentan un punto alto) ou cóncavos (presentan un punto baixo).

No deseño do trazado en alzado deben terse en conta de xeito prioritario as características funcionais de seguridade e comodidade. Para iso debe garantirse unha visibilidade dispoñible adecuada, a non existencia de treitos con problemas de percepción visual que deriven en perdas de trazado, e unha variación continua e gradual dos parámetros.

Neste caso, a norma 3.1-IC establece que se deben adopta-los seguintes eixes de referencia en función do tipo de estrada:

#### *Estradas de calzadas separadas:*

- o eixe pode ser común para ambas calzadas ou diferente para cada unha delas. En xeral, coincidirá co borde interior mais próximo á mediana;
- se existise previsión de aumento de carrís a costa da mediana, considerarase a conveniencia de adopta-lo eixe tendo en conta a sección transversal ampliada;

#### *Estradas de calzada única:*

- eixe físico da calzada, marca viaria de separación de sentidos de circulación.

### 5.2. Valores máximos e mínimos

A inclinación da rasante non debe acadar valores moi elevados por diversos motivos. En treitos en rampla, inclinacións elevadas provocan que os vehículos pesados teñan que reduci-la súa velocidade, diminuíndo a

calidade da circulación. Ademais, teñen que facer un maior esforzo tractor, provocando maiores esforzos no pavimento que poden resultar en deformacións considerables.

Por outra banda, para poder mante-la velocidade desexada en ramplas fortes é preciso incrementa-lo consumo en combustible dos vehículos, aumentando o custo do desprazamento e a contaminación atmosférica. No caso particular dos túneles, para neutraliza-las emisións dos vehículos, principalmente os pesados, é preciso dispor de sistemas de ventilación intensa dun custo elevado.

Tampouco se deben deseñar treitos en pendente con inclinación elevada, xa que poden inducir velocidades excesivas, principalmente en vehículos lixeiros, mentres que os vehículos pesados vense obrigados a reduci-la súa velocidade para mante-lo control do vehículo e non requentar en exceso os freos.

Por último, a rasante debe ter unha inclinación lonxitudinal superior a un valor mínimo para garantir unha correcta evacuación das augas superficiais da plataforma e evitar zonas de drenaxe superficial problemáticas.

#### 5.2.1. Valores máximos

Os valores máximos a empregar deberíanse determinar a partir dun estudo económico que analizase os custos de construción e explotación para cada caso concreto. Con todo, a norma de trazado 3.1-IC tipifica uns valores máximos dependendo da categoría da estrada e da velocidade de proxecto.

**Táboa 5.1: Valores máximos de inclinación da rasante para estradas de calzadas separadas (Norma 3.1-IC)**

$V_p$ (km/h)	Rampla (%)	Pendente (%)
120	4	5
100	4	5
80	5	6

Os valores da táboa 5.1 pódense incrementar un punto porcentual (1%) en casos suficientemente xustificados, nos que se teña feito un estudo económico da súa repercusión nos custos de explotación. Se as calzadas están situadas ao mesmo nivel, os valores que se deben ter en conta son os correspondentes a unha rampla.

**Táboa 5.2: Valores máximos de inclinación da rasante para vías para automóviles (antigas vías rápidas) (Norma 3.1-IC)**

$V_p$ (km/h)	Inclinación máxima (%)	Inclinación excepcional (%)
100	4	5
80	5	6

No caso de terse previsto futuras duplicacións da calzada, non se poderán empregar los valores excepcionais recollidos na táboa 5.2.

**Táboa 5.3: Valores máximos de inclinación da rasante para estradas convencionais (Norma 3.1-IC)**

$V_p$ (km/h)	Inclinación máxima (%)	Inclinación excepcional (%)
100	4	5
80	5	7
60	6	8
40	7	10

En estradas convencionais, os valores excepcionais recollidos na táboa 5.3 poden incrementarse un punto porcentual (1%) en casos xustificados, ou ben pola complexidade do terreo, ou por baixa intensidade de tráfico, cando a IMD sexa inferior a 3000 veh/día.

### 5.2.2. Valores mínimos

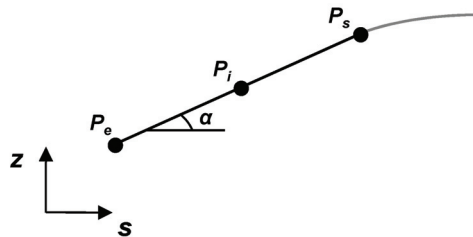
Anteriormente, fíxose referencia á necesidade de ter unha inclinación mínima da rasante para evacuar as augas superficiais. A norma de trazado 3.1-IC establece que a inclinación da rasante non debe ser inferior ao 0.5%, salvo en casos excepcionais nos que se aceptarán valores non inferiores ao 0.2%. En todo caso, a inclinación da liña de máxima pendente en calquera punto da plataforma non debe ser inferior ao 0.5%.

### 5.2.3. Lonxitudes de rasante

Aínda que se poden empregar no deseño das estradas os valores máximos de inclinación recollidos anteriormente, non é conveniente manter estes valores en lonxitudes moi elevadas. Independentemente da categoría da estrada e da súa velocidade de proxecto, non se poden dispoñer ramplas nin pendentes de inclinación máxima en lonxitudes superiores a 3000 m, salvo en casos suficientemente xustificados. Ademais desta condición, establécese unha lonxitude mínima para ramplas e pendentes. Esta lonxitude correspóndese con 10 s de circulación á velocidade de proxecto (lonxitude medida entre vértices).

### 5.3. Rasantes uniformes

As rasantes uniformes caracterízanse por ter unha inclinación lonxitudinal constante entre o seu punto de entrada ( $P_e$ ) e o seu punto de saída ( $P_s$ ), definida pola tanxente do ángulo  $\alpha$  (figura 5.1).



**Figura 5.1: Definición xeométrica dunha rasante uniforme**

A partir de calquera punto coñecido ( $P_i$ ) pertencente á rasante, pódese defini-la súa ecuación do seguinte xeito:

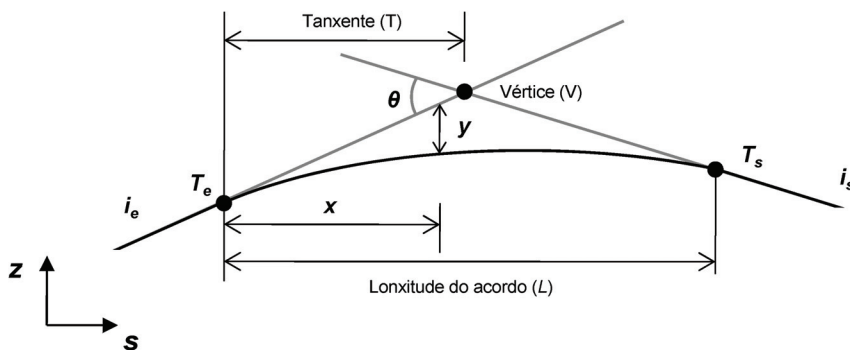
$$z = z_{P_i} + \frac{i}{100} \cdot (s - s_{P_i})$$

onde

$z$	cota (m)
$z_{P_i}$	cota do punto de referencia da rasante (m)
$s$	posición lonxitudinal (m)
$s_{P_i}$	posición lonxitudinal do punto de referencia da rasante (m)
$i$	inclinación da rasante expresada en %

### 5.4. Acordos verticais

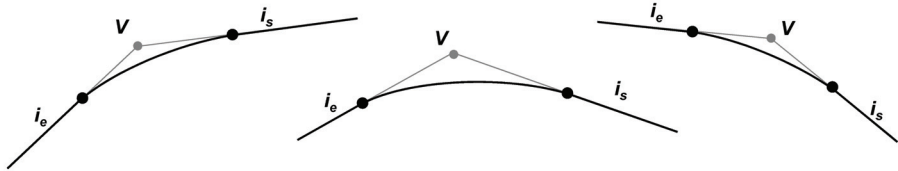
Os acordos verticais empréganse para enlazar rasantes uniformes de distinta inclinación (figura 5.2) mediante unha variación suficientemente suave da inclinación entre o punto de tanxencia coa rasante de entrada ( $T_e$ ) e o punto de tanxencia coa rasante de saída ( $T_s$ ).



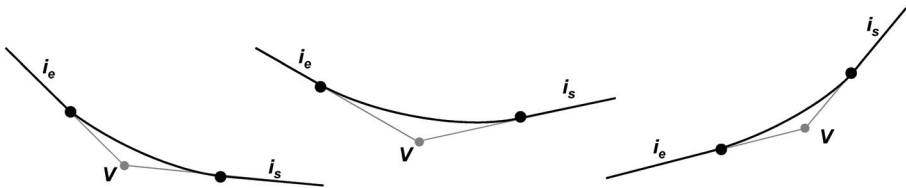
**Figura 5.2: Elementos dun acordo vertical**

Na figura anterior defínense varios elementos característicos dun acordo vertical: a lonxitude do acordo ( $L$ ), que se corresponde coa distancia horizontal entre os puntos de tanxencia; o vértice ( $V$ ), punto de corte imaxinario entre a rasante de entrada e de saída do acordo; a tanxente ( $T$ ), distancia entre calquera das tanxentes e o vértice; e, por último, a diferenza alxébrica de inclinacións  $\theta = i_s - i_e$ . Se a diferenza de inclinacións é negativa ( $\theta < 0$ ) o acordo é convexo, e no caso contrario ( $\theta > 0$ ) cóncavo (figura 5.3).

Acordos convexos ( $\theta < 0$ )



Acordos cóncavos ( $\theta > 0$ )



**Figura 5.3: Acordos convexos e cóncavos**

#### 5.4.1 Definición xeométrica

A curva que se emprega para a definición xeométrica dos acordos verticais é a parábola de eixe vertical, xa que proporciona unha variación lineal da inclinación lonxitudinal entre a tanxente de entrada e saída do acordo. Os puntos pertencentes a parábola cumpren a seguinte ecuación:

$$y = \frac{x^2}{2 \cdot K_v}$$

onde

- x distancia horizontal entre a tanxente de entrada ( $T_e$ ) e o punto de interese pertencente ao acordo (m)
- y distancia vertical entre a recta de prolongación da rasante de entrada e o punto de interese pertencente ao acordo (m)
- $K_v$  parámetro característico do acordo (m)

O parámetro  $K_v$  determina a xeometría do acordo, podendo ser mais ou menos suave en función do seu valor. A partir das rasantes uniformes pódese coñecer a posición do vértice ( $V$ ) e o valor do ángulo  $\theta$ .

Con este último valor e o valor de  $K_V$  determínase a lonxitude do acordo (L) mediante a seguinte expresión:

$$K_V = \frac{L}{\theta}$$

É importante ter en conta que o ángulo  $\theta$  pode ser positivo ou negativo, e polo tanto, para que a lonxitude (L) sexa positiva, o parámetro  $K_V$  ten que te-lo mesmo signo que  $\theta$ . Polo tanto, un  $K_V$  negativo implica un acordo convexo ( $\theta < 0$ ) e un  $K_V$  positivo implica un acordo cóncavo ( $\theta > 0$ ).

Unha vez coñecida a lonxitude do acordo e a posición do vértice pódense situa-las tanxentes de entrada e de saída do acordo nas rasantes uniformes, xa que ambas equidistan do vértice, cumpríndose que a tanxente (T) e igual a metade da lonxitude do acordo (L).

#### 5.4.2. Valores mínimos e desexables do parámetro $K_V$

A selección do parámetro  $K_V$  dun acordo vertical depende por unha banda das condicións de visibilidade no acordo, e por outra, de consideracións estéticas.

En primeiro lugar, é preciso garantir que os condutores dispoñen de visibilidade suficiente. Neste caso, o valor necesario do parámetro  $K_V$  determínase mediante as seguintes expresións en función do tipo de acordo, xa que as condicións de visibilidade non son as mesmas en ámbolos dous casos (en acordos cóncavos considéranse condicións de circulación nocturna).

Acordos convexos:

$$K_V = \frac{D^2}{2 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$$

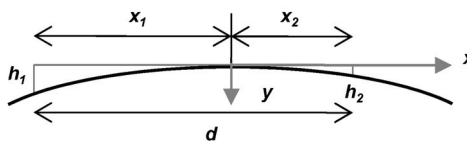


Figura 5.4

Acordos cóncavos:

$$K_V = \frac{D^2}{2 \cdot (h - h_2 + D \cdot \tan \alpha)}$$

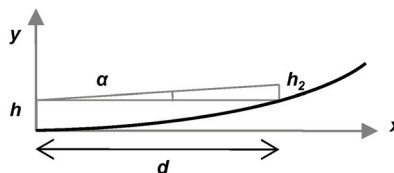


Figura 5.5

onde

- $h_1$  altura do punto de vista do condutor sobre a calzada (m)
- $h_2$  altura do obstáculo sobre a calzada (m)
- $h$  altura dos faros do vehículo (m)
- $\alpha$  ángulo que forma o raio de luz de maior pendente do cono de luz dos faros co eixe lonxitudinal do vehículo
- $D$  visibilidade necesaria (m)

No caso de comproba-la existencia de visibilidade de parada, os parámetros a empregar nas expresións anteriores son:  $h_1 = 1,10$  m;  $h_2 = 0,20$  m;  $h = 0,75$  m;  $\alpha = 1^\circ$ . Introducindo como visibilidade necesaria (D) a distancia de parada ( $D_p$ ) mínima (obtida para  $V = V_p$ ) obtense o valor mínimo do parámetro  $K_V$ , mentres que empregando o valor de distancia de parada recomendable (obtida para  $V = V_p + 20$ ), obtense o valor desexable do parámetro  $K_V$ .

No caso de querer comprobarse a dispoñibilidade de visibilidade de adiantamento en acordos convexos, considérase  $h_1 = h_2 = 1,10$  m.

**Táboa 5.4: Valores mínimos e desexables de  $K_V$  (Norma 3.1-IC)**

$V_p$ (km/h)	Mínimo (m)		Desexable (m)	
	$K_V$ convexo	$K_V$ cóncavo	$K_V$ convexo	$K_V$ cóncavo
120	15276	6685	30780	9801
100	7125	4348	15276	6685
80	3050	2636	7125	4348
60	1085	1374	3050	2636
40	303	568	1085	1374

Ademais, tendo en conta consideracións estéticas, a lonxitude do acordo vertical debe cumpri-la seguinte condición:

$$L \geq V_p$$

onde

L lonxitude do acordo vertical (m)  
 $V_p$  velocidade de proxecto (km/h)

Se esta condición non se cumpre cos valores obtidos anteriormente por condicións de visibilidade, o valor a empregar do parámetro  $K_V$  obterase mediante a seguinte expresión

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

onde

$K_V$  parámetro característico do acordo (m)  
 $V_p$  velocidade de proxecto (km/h)  
 $\theta$  diferenza alxébrica de inclinacións

## 5.5. Coordinación entre planta e alzado

Polo momento, establecéronse por separado as condicións básicas de deseño dos elementos que compoñen o trazado en planta e o trazado en alzado. Con todo, isto non é suficiente xa que é preciso comprobar que existe unha correcta coordinación entre os dous trazados, garantindo unha circulación cómoda e segura. Basicamente, o que se persegue é evitar situacións de perda de trazado durante a conducción. Este efecto sucede cando un condutor que circula por unha estrada pode ver, nun determinado intre, dous treitos de estrada non consecutivos, pero non pode ver o treito situado no medio dos dous anteriores.

A norma de trazado 3.1-IC establece que é preciso ter en conta as seguintes condicións para conseguir unha correcta coordinación entre os dous trazados para toda clase de estradas:

- os puntos de tanxencia dun acordo vertical coincidente cunha curva circular en planta deben estar situados dentro da clotoide e o mais lonxe posible do punto de radio infinito, e dicir, da recta;
- en treitos onde sexa previsible a aparición de xeo, a liña de máxima pendente será igual ou menor do 10%;
- en estradas con velocidade de proxecto  $\leq 60$  km/h e en estradas de características reducidas, cumprírase sempre que sexa posible a condición,

$$K_v = \frac{100 \cdot R_o}{p_o}$$

e se non fose posible,

$$\frac{K_v}{R_o} \geq 6$$

onde

$K_v$	parámetro característico do acordo (m)
$R_o$	raio da curva circular (m)
$p_o$	peralte da curva circular (%)

Ademais destas condicións, a norma recolle unha serie de combinacións de aliñacións en planta e alzado que non se deben empregar para garantir unha correcta percepción da estrada polos condutores e evitar situacións de perda de trazado.

Cada unha delas está acompañada pola súa correspondente ilustración onde se amosa a percepción que tería un condutor circulando por unha estrada deseñada empregando esas combinacións, ilustrando o efecto que se pretende evitar.

## 6. Sección transversal

Ademais do trazado en planta e o trazado en alzado, é preciso deseña-la sección transversal da estrada para que quede perfectamente definida xeometricamente.

A selección dos seus elementos e as súas dimensións debe facerse tendo en conta a intensidade e a composición do tráfico previsto para a hora de proxecto do ano horizonte, situado 20 anos despois da entrada en servizo da estrada.

A intensidade horaria considerada na súa definición debe estar correctamente xustificada, non podendo ser superior a intensidade correspondente a hora de proxecto 30 ( $I_{30}$ ) nin inferior a intensidade correspondente a hora de proxecto 150 ( $I_{150}$ ).

### 6.1. Número de carrís

O número de carrís da estrada debe seleccionarse tendo en conta as condicións de tráfico comentadas anteriormente, o nivel de servizo desexado que non debe ser inferior aos valores mínimos establecidos para cada categoría de estrada (táboa 6.1), e no seu caso, os estudos económicos pertinentes.

Ademais destas consideracións de deseño, a norma de trazado 3.1-IC establece as seguintes condicións xerais que é preciso ter en conta:

En estradas de calzadas separadas:

- non se proxectarán mais de catro carrís por calzada nin menos de dous na sección transversal tipo. Non se terán en conta os carrís de cambio de velocidade ou de trenzado y os incluídos en confluencias y bifurcacións de autoestradas ou autopistas urbanas;
- onde se dispoñan dúas calzadas separadas para cada sentido de circulación, unha central e outra lateral, a calzada central conectarase so coa lateral salvo casos excepcionais onde poderá conectarse directamente con outras vías.

En estradas de calzada única:

- proxectaranse dous carrís por calzada, un para cada sentido de circulación;
- en ningún caso proxectaranse calzadas con dous carrís por sentido. Non se terán en conta os carrís adicionais nin os carrís de cambio de velocidade.

### 6.2. Dimensións dos seus elementos

Os elementos fundamentais ou constitutivos dunha sección transversal son os carrís, as beiravías e as bermas. As dimensións destes elementos corresponderanse coas recollidas na táboa 6.1.

**Táboa 6.1: Dimensións dos elementos da sección transversal (Norma 3.1-IC)**

Categoría de estrada	V <sub>p</sub> (km/h)	Carrís (m)	Beiravía (m)		Bermas (m)		Nivel de servizo ano horizonte	
			Exterior	Interior	Mínimo	Máximo		
Calzadas separadas	120	3.5	2.5	1.0 - 1.5	0.75	1.5	C	
	100	3.5	2.5	1.0 - 1.5	0.75	1.5	D	
	80	3.5	2.5	1.0	0.75	1.5	D	
Calzada única	Vías rápidas	100	3.5	2.5		0.75	1.5	C
		80	3.5	2.5		0.75	1.5	D
	Estradas convencionais	100	3.5	1.5 - 2.5		0.75	1.5	D
		80	3.5	1.5		0.75	1.5	D
		60	3.5	1.0 - 1.5		0.75	1.5	E
		40 IMD ≥ 2000	3.5	0.5		-	-	E
		40 IMD < 2000	3.0	0.5		-	-	E

Algunhas destas dimensións pódense modificar en certos casos, sempre que se cumpran unhas determinadas condicións establecidas na norma de trazado 3.1- IC.

### 6.3. A mediana

No caso de estradas de calzadas separadas, as dimensións da mediana deben fixarse en función dun estudo técnico e económico onde se considerarán os seguintes factores: raios en planta, visibilidade de parada, necesidade de futuras ampliacións, e outras consideracións de diverso tipo (estruturas, sinalización, drenaxe, expropiacións, etc)

Con todo, a norma de trazado 3.1-IC establece uns valores mínimos de anchura de mediana que se recollen na táboa 6.2.

**Táboa 6.2: Anchura mínima da mediana (Norma 3.1-IC)**

Caso	Con previsión de ampliación de carrís a expensas da mediana		Sen previsión de ampliación a expensas da mediana	Casos excepcionais debidamente xustificadas
	V <sub>p</sub> = 100 ou 120 km/h	V <sub>p</sub> = 80 km/h		
<b>Anchura mínima (m)</b>	10	9	2	1

## 6.4 Pendente transversal

Como se viu anteriormente noutros apartados, a sección transversal dunha estrada presenta unha inclinación transversal diferente dependendo do seu trazado en planta. No caso de aliñacións rectas ou curvas circulares de raio elevado, onde non é preciso introducir un peralte debido a consideracións dinámicas dos vehículos, establececese unha pendente transversal mínima denominada bombeo.

A finalidade do bombeo é facilita-la correcta e rápida evacuación das augas superficiais presentes na calzada, de xeito que a lonxitude que percorre a auga pola mesma sexa mínima.

O bombeo proxéctase de xeito diferente en función do número de calzadas, seguindo as seguintes indicacións da norma de trazado 3.1-IC:

En estradas de calzadas separadas:

- a calzada e as beiravías disporanse cunha mesma inclinación transversal mínima dun 2% cara un so lado (en zonas con intensidades de precipitación elevadas poderá xustificarse un aumento ata acadalo 2.5%);
- as bermas disporanse cunha inclinación transversal do 4% cara o exterior da plataforma.

En estradas de calzada única:

- a calzada e as beiravías disporanse cunha mesma inclinación transversal mínima dun 2% cara cada lado a partir do eixe da calzada (en zonas con intensidades de precipitación elevadas poderá xustificarse un aumento ata acadalo 2.5%);
- as bermas disporanse cunha inclinación transversal do 4% cara o exterior da plataforma.

No caso de curvas circulares ou curvas de transición, a inclinación transversal da calzada e das beiravías debe coincidir co peralte deseñado atendendo as condicións explicadas anteriormente.

Igualmente que nos casos anteriores as bermas disporanse cunha inclinación transversal do 4% cara o exterior da plataforma. Con todo, se o peralte supera este valor do 4%, a berma interior deberá ter unha inclinación transversal igual ao peralte.

## 6.5 Sobreancho en curvas

Outro aspecto a ter en conta no deseño da sección transversal é a necesidade de garanti-la correcta circulación dos vehículos en curvas circulares de raio reducido. Por iso, en aliñacións circulares de raio inferior aos 250 m, incrementase o ancho total dos carrís, introducindo un sobreancho que se determina mediante a seguinte expresión:

$$\text{sobreancho} = \frac{L^2}{2 \cdot R_h}$$

onde

- L lonxitude do vehículo, medida entre o seu extremo dianteiro e o eixe das rodas traseiras (m)  
Salvo casos excepcionais a xustificar:  $L = 9$  m
- $R_h$  raio do eixe da curva circular (m)

A introdución do sobreancho nos carrís debe facerse de xeito progresivo ao longo das clotoides, de xeito que se acade o sobreancho total ao inicio da curva circular. Isto debe facerse nunha lonxitude mínima de 30 m e nunca a costa dunha diminución do ancho das beiravías.

## 6.6 Altura libre

Xa para rematar este apartado dedicado a sección transversal recóllense (táboa 6.3) os valores tipificados pola norma de trazado 3.1-IC en relación coa altura libre mínima que debe manterse en relación con calquera punto da plataforma da estrada

**Táboa 6.3: Altura mínima (Norma 3.1-IC)**

Caso	Pasos superiores		Pasarelas, pórticos ou bandeirolas	Túneles
	Estradas interurbanas	Estradas urbanas		
Altura libre mínima (m)	5.30	5.00	5.50	5.00

## **AVALIACIÓN DA UNIDADE DIDÁCTICA**

---

- Na avaliación da aprendizaxe dos conceptos teóricos traballados na unidade didáctica terase en conta a resposta correcta das cuestións tipo test e as cuestións curtas formuladas nas probas de avaliación da materia: probas curtas de control feitas durante o curso e exames parciais.
- Na avaliación da aprendizaxe dos conceptos prácticos terase en conta a correcta formulación e resolución dos exercicios propostos nas probas de avaliación da materia.
- Nos seminarios interactivos valoraranse, por unha banda, a correcta execución dos exercicios por parte dos grupos e, por outra, os contidos, a estrutura e a claridade expositiva das resolucións.
- Valorarase tamén a entrega por parte dos alumnos dos exercicios adicionais propostos polo profesor como traballo complementario.
- Terase en conta a atención prestada durante as clases expositivas e os seminarios interactivos, e o interese amosado pola materia a través dos resumos entregados despois de cada sesión.
- Valorarase o anexo de trazado entregado polos grupos, tanto na súa versión provisional coma definitiva. Terase en conta, por unha banda, a súa correcta definición e, por outra, a estrutura e a capacidade de comunicación escrita reflectida nos documentos.

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

- 1.1: Exemplo de trazado en planta
- 1.2: Exemplo de trazado en alzado ou rasante dunha estrada
- 1.3: Exemplo de sección transversal para unha estrada convencional
  
- 3.1: Equilibrio de forzas nun vehículo circulando por unha curva
  
- 4.1: Definición xeométrica dunha aliñación recta
- 4.2: Definición xeométrica dunha curva circular
- 4.3: Representación xeométrica da clotoide
- 4.4: Inserción de clotoides entre aliñacións rectas (Norma 3.1 - IC)
- 4.5: Parámetros de inserción dunha clotoide (Norma 3.1 - IC)
- 4.6: Transición do peralte de xeito lineal nun único treito
- 4.7: Transición do peralte de xeito lineal en dous treitos
- 4.8: Transición de peralte, calzada de inclinación única do mesmo sentido co peralte posterior
- 4.9: Transición de peralte, calzada de inclinación única de sentido contrario ao peralte posterior
  
- 5.1: Definición xeométrica dunha rasante uniforme
- 5.2: Elementos dun acordo vertical
- 5.3: Acordos convexos e cóncavos
- 5.4: Visibilidade en acordos convexos
- 5.5: Visibilidade en acordos cóncavos

## ÍNDICE DE TÁBOAS

---

- 2.1: Categorías de estradas e velocidades de proxecto (Norma 3.1- IC)
- 2.2: Coeficiente de rozamento lonxitudinal (Norma 3.1-IC)
- 2.3: Distancia de adiantamento (Norma 3.1-IC)
- 2.4: Lonxitudes e aceleracións a considerar (Norma 3.1-IC)
  
- 4.1: Coeficiente de rozamento transversal (Norma 3.1-IC)
- 4.2: Valores admisibles do parámetro J (Norma 3.1-IC)
  
- 5.1: Valores máximos de inclinación da rasante para estradas de calzadas separadas (Norma 3.1-IC)
- 5.2: Valores máximos de inclinación da rasante para vías para automóviles (antigas vías rápidas) (Norma 3.1-IC)
- 5.3: Valores máximos de inclinación da rasante para estradas convencionais (Norma 3.1-IC)
- 5.4: Valores mínimos e desexables de  $K_v$  (Norma 3.1-IC)
  
- 6.1: Dimensións dos elementos da sección transversal (Norma 3.1-IC)
- 6.2: Anchura mínima da mediana (Norma 3.1-IC)
- 6.3: Altura mínima (Norma 3.1-IC)

## BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] KRAEMER, C. *et al* (2004): *Ingeniería de carreteras. Volumen I*, Madrid: Ed. McGraw-Hill.
- [2] *Ley 25/1988 de Carreteras*, Madrid: BOE del 30/7/1988, (rectificaciones BOE del 12/11/1988) texto consolidado.
- [3] *Lei 4/1994 de estradas de Galicia*, Santiago de Compostela: DOG nº 210, luns, 31 de outubro de 1994.
- [4] MINISTERIO DE FOMENTO (1999): *Norma 3.1-IC Trazado, de la Instrucción de Carreteras*, Madrid: O.M. 27 diciembre 1999 publicada no BOE nº 28 do 2 de febreiro de 2000.
- [5] *RD 1428/2003, de 21 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Circulación para la aplicación y desarrollo del texto articulado de la Ley sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial, aprobado por el Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo.*

### Citas de recursos en internet

- [6] AEC - Asociación Española de la Carretera  
<http://www.aecarretera.com/> [citado 15 mar 2012]
- [7] Carreteras y alguna cosa más  
<http://www.carreteros.org/> [citado 15 mar 2012]
- [8] Normativa técnica - Carreteras - Ministerio de Fomento  
[http://www.fomento.es/mfom/lang\\_castellano/direcciones\\_generales/%20%20carreteras/normativa\\_tecnica/](http://www.fomento.es/mfom/lang_castellano/direcciones_generales/%20%20carreteras/normativa_tecnica/) [citado 15 mar 2012]
- [9] Recursos docentes da materia de Camiños e Aeroportos da Universidade da Coruña  
[ftp://ceres.udc.es/assignaturas/ITS%20Caminos/2\\_Ciclo/Caminos\\_y\\_Aeropuertos/](ftp://ceres.udc.es/assignaturas/ITS%20Caminos/2_Ciclo/Caminos_y_Aeropuertos/) [citado 15 mar 2012]
- [10] Wikivia - La enciclopedia de la Carretera  
<http://www.wikivia.org/> [citado 15 mar 2012]



Unha colección orientada a editar materiais docentes de calidade e pensada para apoiar o traballo do profesorado e do alumnado de todas as materias e titulacións da universidade



Impreso en papel 100% reciclado e libre de cloro



SERVIZO DE NORMALIZACIÓN LINGÜÍSTICA

