



Caminos y Calles 1

PERFIL LONGITUDINAL



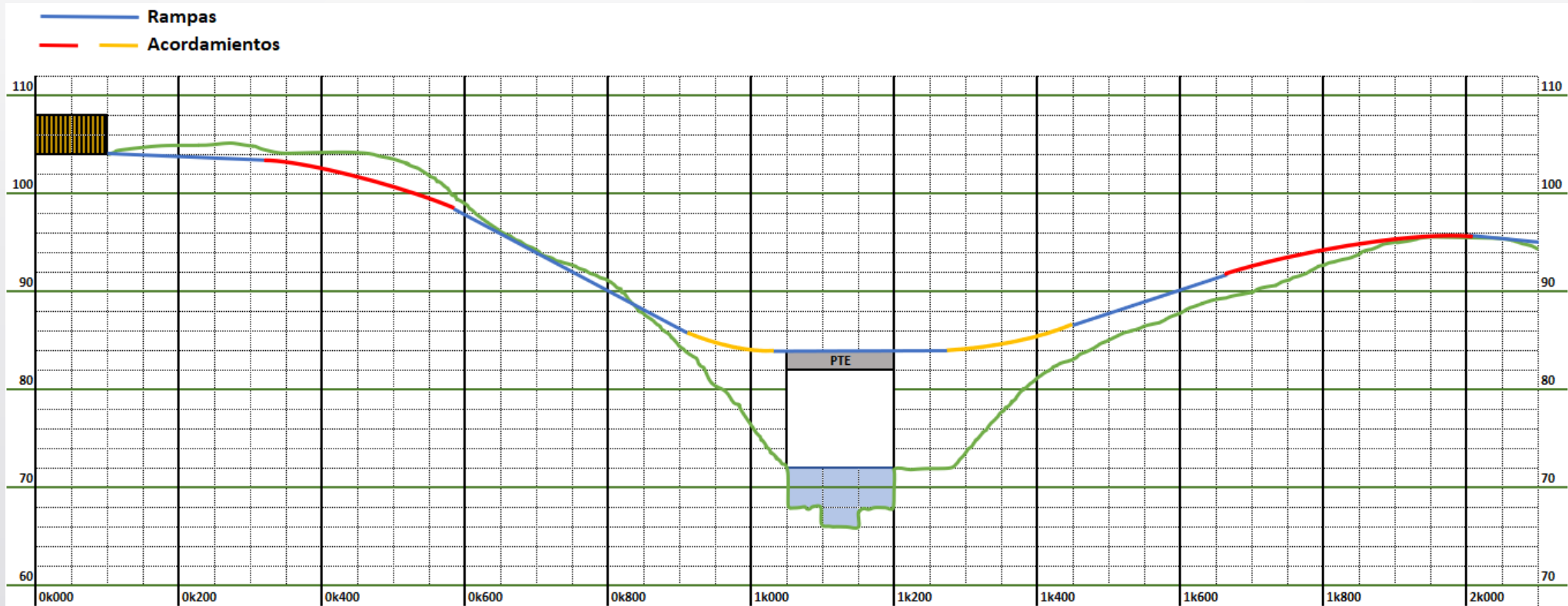


Perfil Longitudinal

La segunda visión del diseño geométrico corresponde a la definición de la altimetría del camino, lo que constituye el **Perfil Longitudinal** que estará compuesto por:

- Tramos con pendiente constante, también llamadas **rampas**, sea de ascenso o descenso según el sentido de circulación de los vehículos.
- Tramos de transición entre dos rampas de distinta pendiente, también llamados **acordamientos verticales**.
- La sucesión de rampas y acordamientos debe permitir una circulación con **seguridad y confort a velocidad constante**, resultando un diseño geométrico que supere los obstáculos del terreno con **razonable economía** y en **armonía con el paisaje**.

Perfil Longitudinal





Diseño de rampas

Los distintos tipos de vehículos tienen capacidades de operación muy diferentes:

- **Automóviles:**
 - Es de aceptación general que la mayoría de los vehículos de pasajeros pueden superar pendientes del 4 al 5% sin una pérdida de velocidad apreciable respecto a la normalmente desarrollada en trazado horizontal.
 - En condiciones de flujo libre, un 3% de pendiente en ascenso tiene un efecto despreciable sobre la velocidad de los automóviles, comparada con la velocidad en horizontal. Rampas más pronunciadas, generan una disminución de la velocidad a medida que aumenta el grado de ascenso.
 - En rampas descendentes las velocidades serán ligeramente más altas que en horizontal, salvo en condiciones especiales.



Diseño de rampas

- **Camiones:**

- El efecto de las pendientes en la velocidad de los camiones es mucho más pronunciado que para los automóviles.
- En condiciones de flujo libre, la velocidad promedio de los camiones en trazado horizontal es aproximadamente igual a la de los automóviles (dentro de los límites legales de conducción).
- Los camiones generalmente incrementan su velocidad hasta un 5% en rampas descendentes, así como la disminuyen un 7% o más en rampas ascendentes .
- En rampas ascendentes la velocidad máxima que puede mantener un camión dependerá de la longitud de la rampa y su pendiente, así como de la relación peso/potencia del vehículo.

- **Autobuses:**

- Normalmente sus condiciones de operación son intermedias entre las de los automóviles y los camiones.

Rampas - Pendiente máxima

- **Pendiente máxima**

Es la mayor pendiente admitida en el proyecto. Se empleará cuando sea imprescindible desde el punto de vista económico, para salvar obstáculos importantes, siempre que no se supere la longitud crítica.

En esta tabla se resumen las pendientes máximas recomendadas en la sexta guía de GDHS para cada categoría de camino y según la topografía del terreno circundante.

Pendientes máximas de Proyecto

Tipo de vía	Tipo de terreno	Velocidad de diseño (km/h)									
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Principales (arterias)	Llano	-	-	-	-	5%	4%	4%	3%	3%	3%
	Ondulado	-	-	-	-	6%	5%	5%	4%	4%	4%
	Montañoso	-	-	-	-	7%	7%	6%	6%	5%	5%
Secundarias (colectoras)	Llano	-	-	7%	7%	7%	6%	6%	5%	-	-
	Ondulado	-	-	9%	8%	8%	7%	7%	6%	-	-
	Montañoso	-	-	10%	10%	10%	9%	9%	8%	-	-
Terciarias (locales)	Llano	8%	7%	7%	7%	7%	6%	6%	-	-	-
	Ondulado	11%	11%	10%	10%	9%	8%	7%	-	-	-
	Montañoso	16%	15%	14%	13%	12%	10%	10%	-	-	-



Rampas - Pendiente mínima

- **Pendiente mínima**

La pendiente mínima se define atendiendo las exigencias que tenga el **drenaje longitudinal**, sea en cunetas o contra cordones.

En terraplenes la pendiente longitudinal puede ser nula siempre que el pavimento esté correctamente conformado para drenar lateralmente.

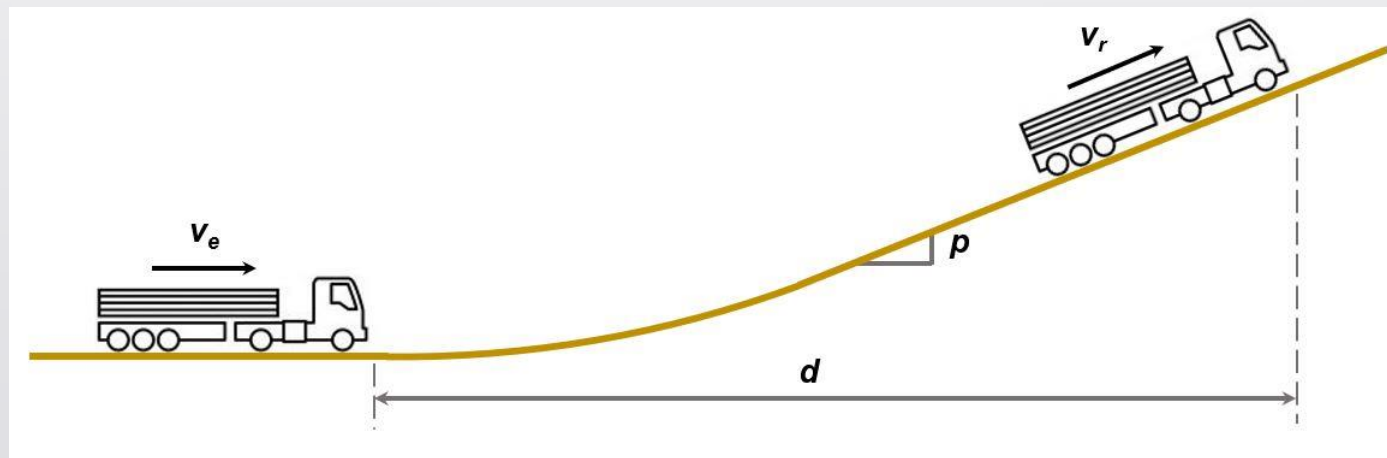
En desmontes se recomienda una pendiente mínima de 0,50% para garantizar el buen escurrimiento de las cunetas. En tramos cortos o con cunetas revestidas se puede admitir hasta un mínimo de 0,35%. Si resulta imposible alcanzar estas pendientes, se deberá profundizar la cuneta.

En calzadas con cordones laterales la pendiente mínima será de 0,50%, pudiéndose llegar a valores de 0,30% con pavimentos de alta calidad, correcta terminación y subrasante firme.

Rampas - Condiciones en ascenso

- Rampas en ascenso

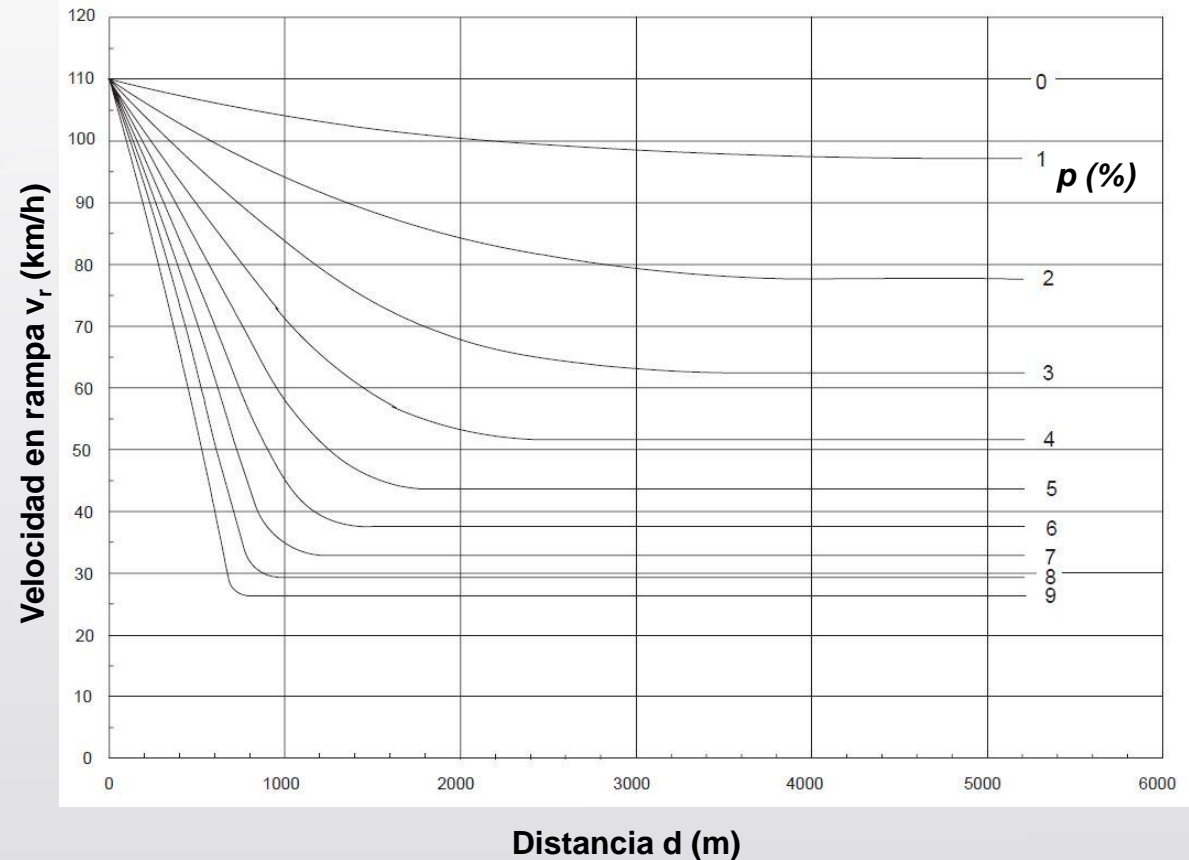
Los camiones reducen su velocidad al ingresar en una rampa de ascenso. Esta reducción dependerá del **tipo de camión** (por su relación peso/potencia en estado cargado), su **velocidad de entrada** a la rampa (v_e), la **pendiente** (p) de la misma y la **distancia recorrida** (d).



Rampas - Condiciones en ascenso

- Rampas en ascenso

Debe limitarse la **reducción de velocidad** de los camiones al ingresar en rampas de ascenso.

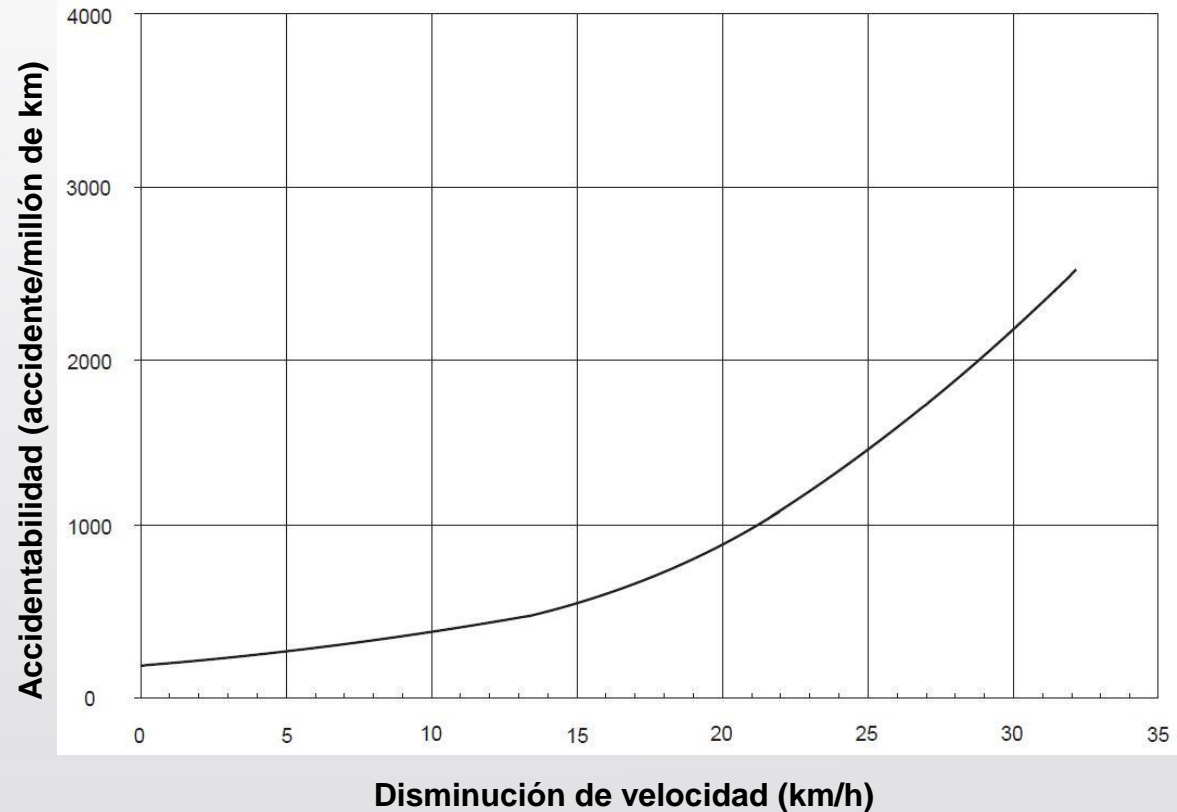


Camión pesado típico (120 kg/kW - 200 lb/hp)

Rampas - Condiciones en ascenso

- **Rampas en ascenso**

Se recomienda limitar a unos **15 km/h** la reducción de velocidad de los camiones en rampas ascendentes, basándose en la **evidencia experimental de accidentes** en adelantamientos.



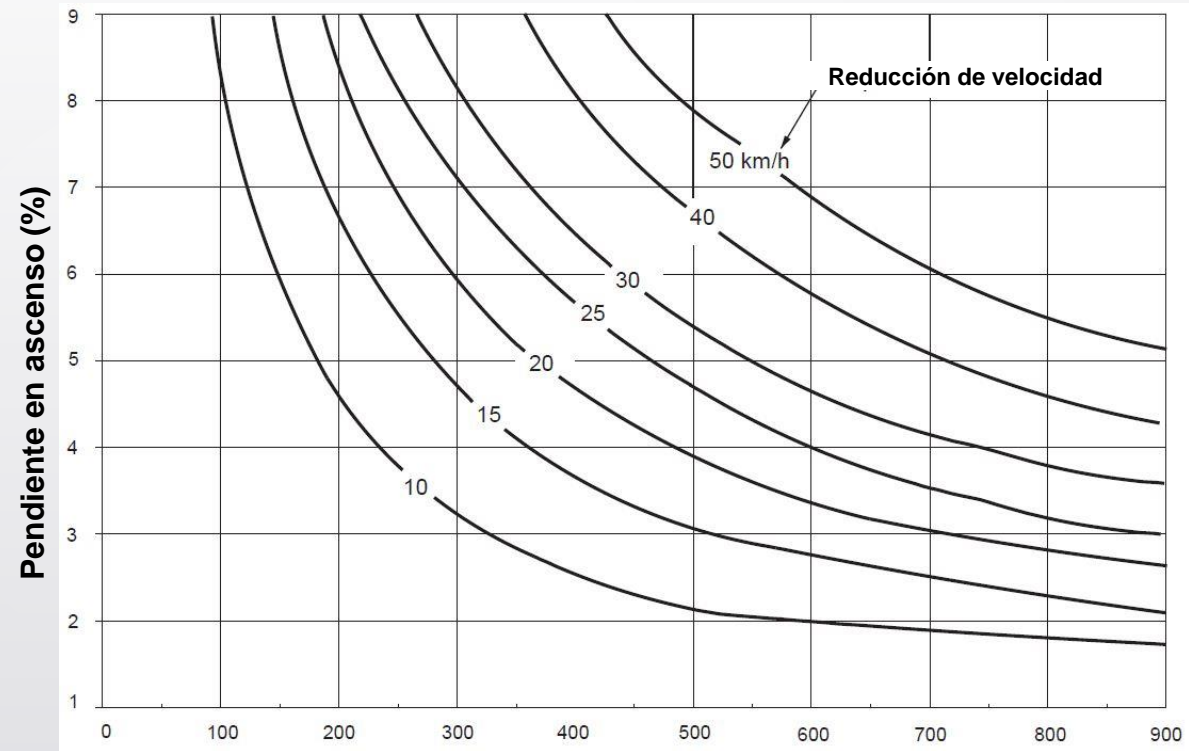
Camión pesado típico (120 kg/kW - 200 lb/hp)

Rampas - Longitud crítica

- **Longitud crítica**

Es la **distancia** recorrida por el camión tipo en la rampa considerada, **hasta perder 15 km/h** desde la velocidad de diseño.

Si la rampa se hace muy extensa, al alcanzar dicha longitud crítica debe reducirse la pendiente o agregar un carril adicional para el ascenso de camiones (tercer carril).



Longitud de rampa crítica (m) - con ve 110 km/h

Camión pesado típico (120 kg/kW - 200 lb/hp)

Rampas - Tercer carril o carril de trepada





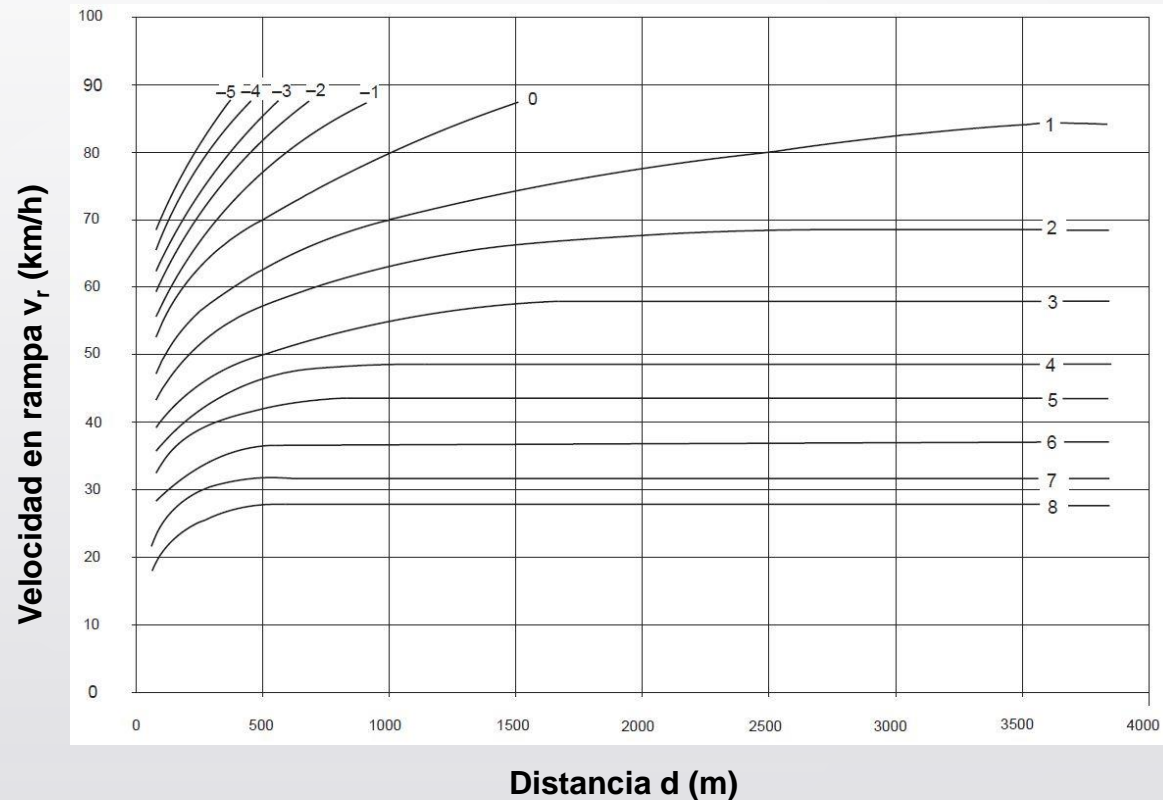
Rampas - Condiciones para un tercer carril

- Atendiendo consideraciones económicas, la adición de un tercer carril en una rampa de ascenso se considerará **justificable cuando** se cumplan los siguientes **tres criterios**:
 - El volumen de tráfico de camiones en la rampa supera los 20 veh/h.
 - El volumen de tráfico de restantes vehículos en la rampa supera los 200 veh/h.
 - Se verifica alguna de las siguientes tres condiciones:
 - La longitud de la rampa supera la longitud crítica
 - Los flujos vehiculares se combinan reduciendo el nivel de servicio dos o más niveles
 - El nivel de servicio cae por debajo del nivel de servicio D
- Aunque no se cumplan estas condiciones, también podrá agregarse un tercer carril si en el terreno **se observa una alta accidentalidad** por adelantamientos dificultosos.

Rampas - Aceleraciones

- **Aceleraciones**

La capacidad de aceleración de vehículos pesados también debe atenderse para definir **donde finalizar un tercer carril**, la **longitud de sendas de aceleración** en la salida de intersecciones, etc.



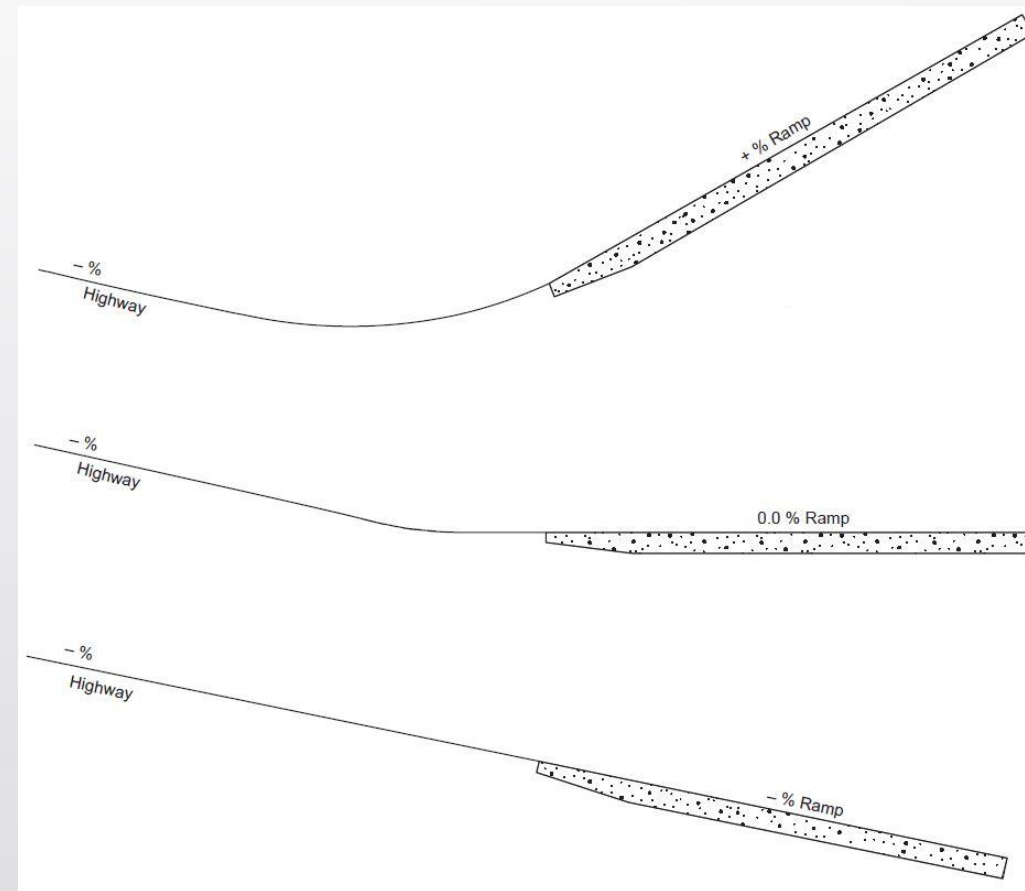
Camión pesado típico (120 kg/kW - 200 lb/hp)

Rampas - Vehículos fuera de control

- **Rampas de escape**

Se instalan en tramos donde los vehículos pesados enfrentan **largos descensos**, con pendientes moderadas o fuertes, con importante **carga en el sistema de frenos**.

La detención de camiones con los frenos averiados se logra combinando la pendiente y el material de rodadura en la salida.



Rampas - Vehículos fuera de control





Acordamientos - Distancias de visibilidad

- En la conducción vial es esencial la capacidad de los conductores de ver hacia adelante para permitir una operación segura y eficiente. Siendo, además, conductores con **habilidades diversas** y operando **vehículos con variadas prestaciones**.
- En primer lugar todo proyecto debe garantizar una **distancia de visibilidad** suficientemente larga para asegurar que, cuando sea necesario, los conductores puedan **evitar embestir un objeto inmóvil e inesperado** que aparezca en su trayecto. Todo esto circulando a la velocidad de diseño, en condiciones de seguridad y confort.
- Caminos o carreteras de dos carriles también deben ofrecer una distancia de visibilidad suficiente para permitir el **adelantamiento de vehículos**, sin interferir con la operación de los vehículos que se aproximen en sentido contrario.



Acordamientos - Visibilidad y Detención

- **Distancia de Visibilidad (S_v):**

En el sentido de circulación que corresponda, es la máxima longitud del camino donde geoméricamente es posible **visualizar sin interrupciones el propio camino o un objeto** posado sobre él.

- **Distancia para Detención (S_d):**

En el sentido de circulación que corresponda, es la mínima longitud del camino necesaria para que el conductor logre una **detención en condiciones de seguridad y control**, al ocurrir un **evento inesperado**. Esta distancia tiene dos componentes:

- **Distancia de reacción:** distancia recorrida por el vehículo durante el transcurso del tiempo de percepción-reacción del conductor.
- **Distancia de frenado:** distancia recorrida por el vehículo durante el frenado del mismo, desde el inicio de la reacción hasta la detención del vehículo.

Acordamientos - Detención

- El **tiempo de percepción-reacción** (T_r) depende de diversos factores. Para el diseño se asume un tiempo de 2,5 s.
- La **condición de frenado** con seguridad y control puede definirse adoptando una tasa de desaceleración (a_c) apropiada, sugerida de 3,4 m/s².
- La fórmula de cálculo de S_d resulta entonces la siguiente, con resultados que dependen de v , T_r y a_c .

Distancia para detención a nivel (m)

Veloc. de diseño (km/h)	Distancia reacción (m)	Distancia frenado (m)	Distancia detención	
			Cálculo (m)	Adoptado (m)
20	13,9	4,6	18,5	20
30	20,9	10,3	31,2	35
40	27,8	18,4	46,2	50
50	34,8	28,7	63,4	65
60	41,7	41,3	83,0	85
70	48,7	56,2	104,9	105
80	55,6	73,4	129,0	130
90	62,6	92,9	155,5	160
100	69,5	114,7	184,2	185
110	76,5	138,8	215,2	220
120	83,4	165,2	248,6	250
130	90,4	193,9	284,2	285

AASHTO GDHS 2011

$$S_d = \underbrace{0,278 T_r \cdot v}_{\text{reacción}} + \underbrace{0,039 \frac{v^2}{a_c}}_{\text{frenado}} \quad \text{con } [S_d] = m ; [v] = km/h ; [T_r] = s ; [a_c] = m/s^2$$

Acordamientos - Detención

- En algunas situaciones se corrigen estas distancias para detención considerando las **pendientes en la zona de frenado**.
- Una pendiente en descenso incrementa la distancia de frenado y a la inversa ocurre en una pendiente en ascenso.
- La componente correspondiente al frenado se corrige considerando la pendiente **g** de la rampa (con signo) según la siguiente fórmula.

$$\frac{v^2}{254 \left(\frac{a_c}{9,81} \pm \frac{g}{100} \right)}$$

con $[v] = \text{km/h}$; $[g] = \%$; $[a_c] = \text{m/s}^2$

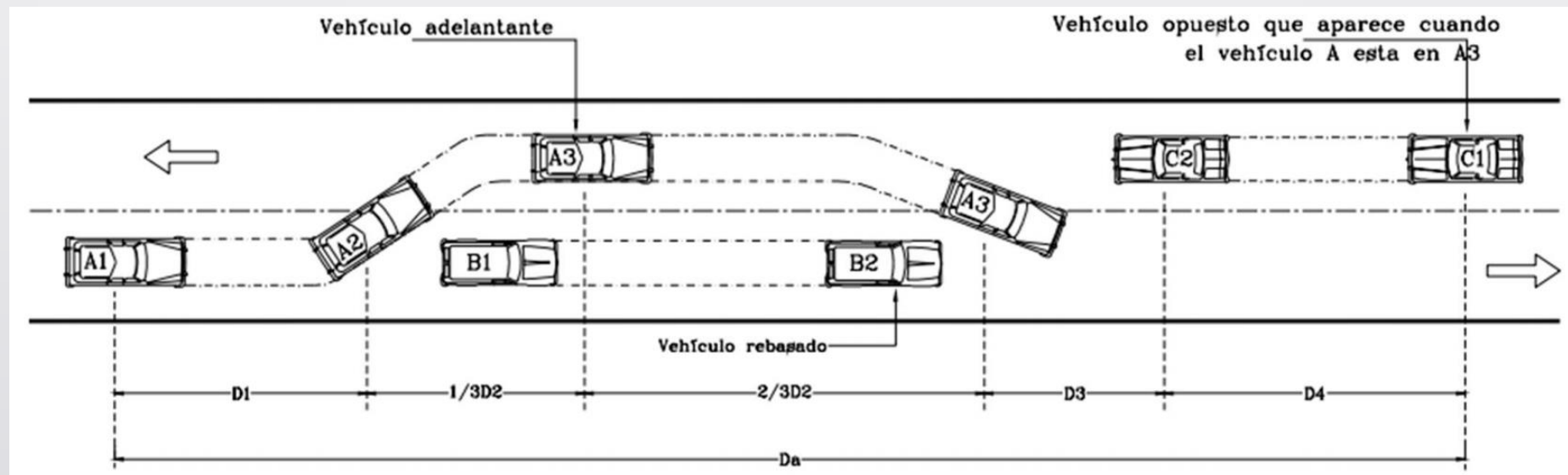
Distancia para detención en pendiente (m)

Veloc. de diseño (km/h)	Distancia de detención (m)					
	En descenso			En ascenso		
	3%	6%	9%	3%	6%	9%
20	19	20	21	19	18	18
30	33	34	35	31	30	29
40	48	50	53	45	44	43
50	66	70	74	61	59	58
60	87	92	97	80	77	75
70	110	116	124	100	97	93
80	136	144	154	123	118	114
90	164	174	187	148	141	136
100	194	207	223	175	167	160
110	227	243	263	203	194	186
120	263	282	305	234	223	214
130	301	323	350	268	254	243

AASHTO GDHS 2011

Acordamientos - Adelantamiento

- En un camino de dos carriles, para realizar un adelantamiento en condiciones seguras el conductor debe visualizar una distancia suficiente por delante, libre de tráfico, para poder iniciar y completar el adelantamiento **sin entrar en conflicto** con un vehículo circulando en sentido contrario que aparezca durante la maniobra.



Acordamientos - Adelantamiento

- En una opción analítica, la mínima **distancia de visibilidad para adelantamiento (S_a)** en condiciones seguras puede definirse asignando tiempos e inter-distancias mínimas para cada fase de la maniobra.
- De este modo resultan distancias mínimas muy largas, que imponen condiciones de diseño muy exigentes.

Distancia de visibilidad para adelantamiento (m)

Component of passing maneuver	Speed range (km/h)			
	50-65	66-80	81-95	96-110
	Average passing speed (km/h)			
	56.2	70.0	84.5	99.8
Initial maneuver:				
a = average acceleration ^a	2.25	2.30	2.37	2.41
t ₁ = time (sec) ^a	3.6	4.0	4.3	4.5
d ₁ = distance traveled	45	66	89	113
Occupation of left lane:				
t ₂ = time (sec) ^a	9.3	10.0	10.7	11.3
d ₂ = distance traveled	145	195	251	314
Clearance length:				
d ₃ = distance traveled ^a	30	55	75	90
Opposing vehicle:				
d ₄ = distance traveled	97	130	168	209
Total distance, d ₁ + d ₂ + d ₃ + d ₄	317	446	583	726

AASHTO GDHS 2001

Acordamientos - Adelantamiento

- Más recientemente, basándose en **mediciones en campo** se acordaron nuevas distancias mínimas que ofrecen una operación segura con mínimos accidentes.
- **En Uruguay**, en rutas nacionales, se asume como distancia de visibilidad para adelantamiento, el **doble de la distancia de visibilidad para detención**.
- Esto resulta en valores por debajo de los valores recomendados por AASHTO hasta 2001, pero cercanos a los recomendados a partir de 2011.

Distancia de visibilidad para adelantamiento (m)

Veloc. de diseño (km/h)	Velocidad de operación (km/h)		Distancia adelant. (m)	Distancia adelant. (m)
	veh B	veh A		
30	11	30	120	
40	21	40	140	
50	31	50	160	
60	41	60	180	
70	51	70	210	
80	61	80	245	260
90	71	90	280	320
100	81	100	320	370
110	91	110	355	440
120	101	120	395	500
130	111	130	440	570

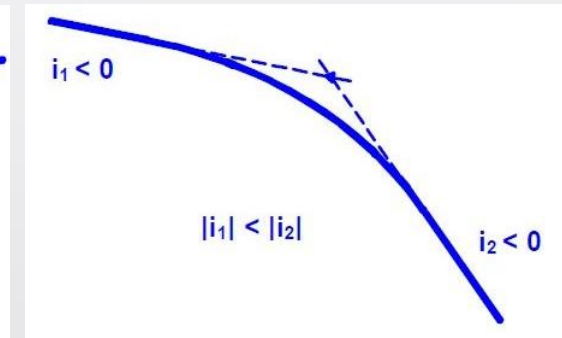
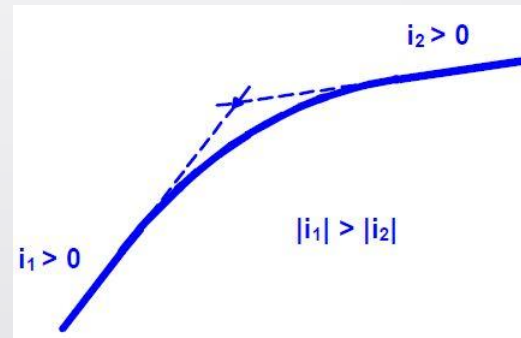
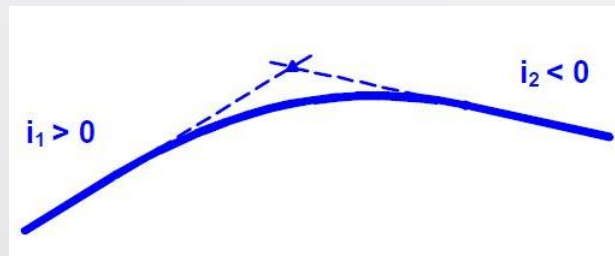
AASHTO GDHS 2011

UY

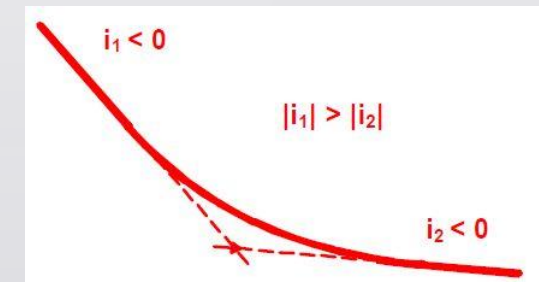
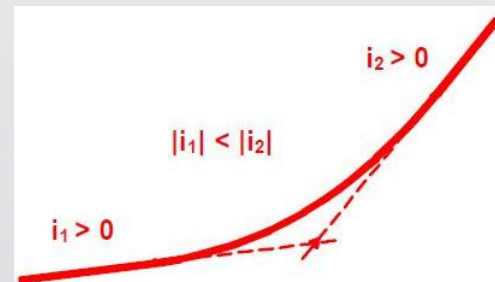
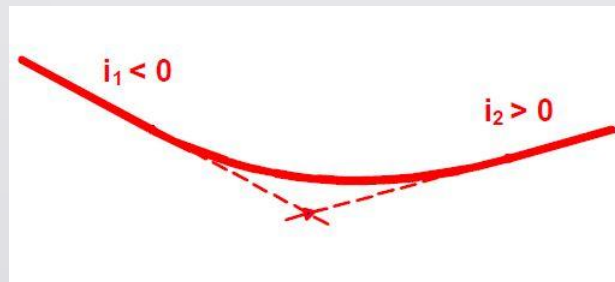
Acordamientos - Curvas verticales

- Para acordar gradualmente dos rampas consecutivas con pendientes i_1 e i_2 , se emplean **curvas verticales** que pueden ser en cresta (acordamientos **convexos**) o en valle (acordamientos **cóncavos**).

En cresta o convexos



En valle o cóncavos



Acordamientos - Curvas verticales



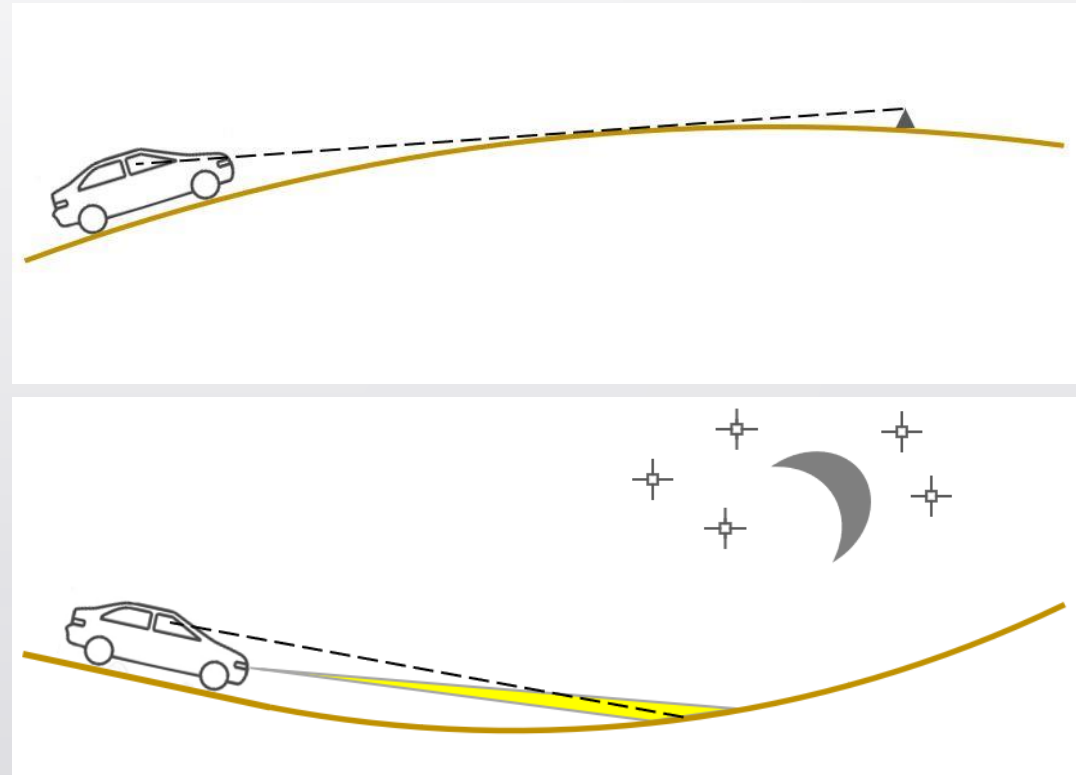
Convexos



Cóncavos

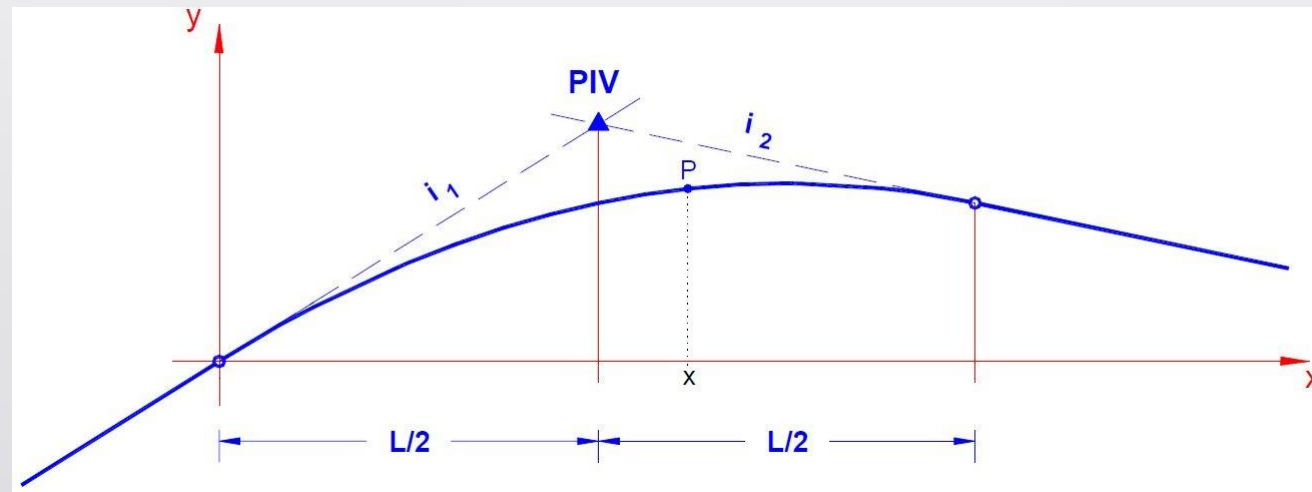
Acordamientos - Curvas verticales

- Las curvas verticales deben ser de aplicación simple, de **diseño seguro y comfortable**, de apariencia agradable y que permitan un adecuado drenaje.
- La exigencia fundamental en los acordamientos verticales **convexos** es proporcionar amplias distancias de **visibilidad**, sea para la detención o para adelantamientos seguros.
- En acordamientos **cóncavos** se agregan condiciones de **apariciencia o estética**.



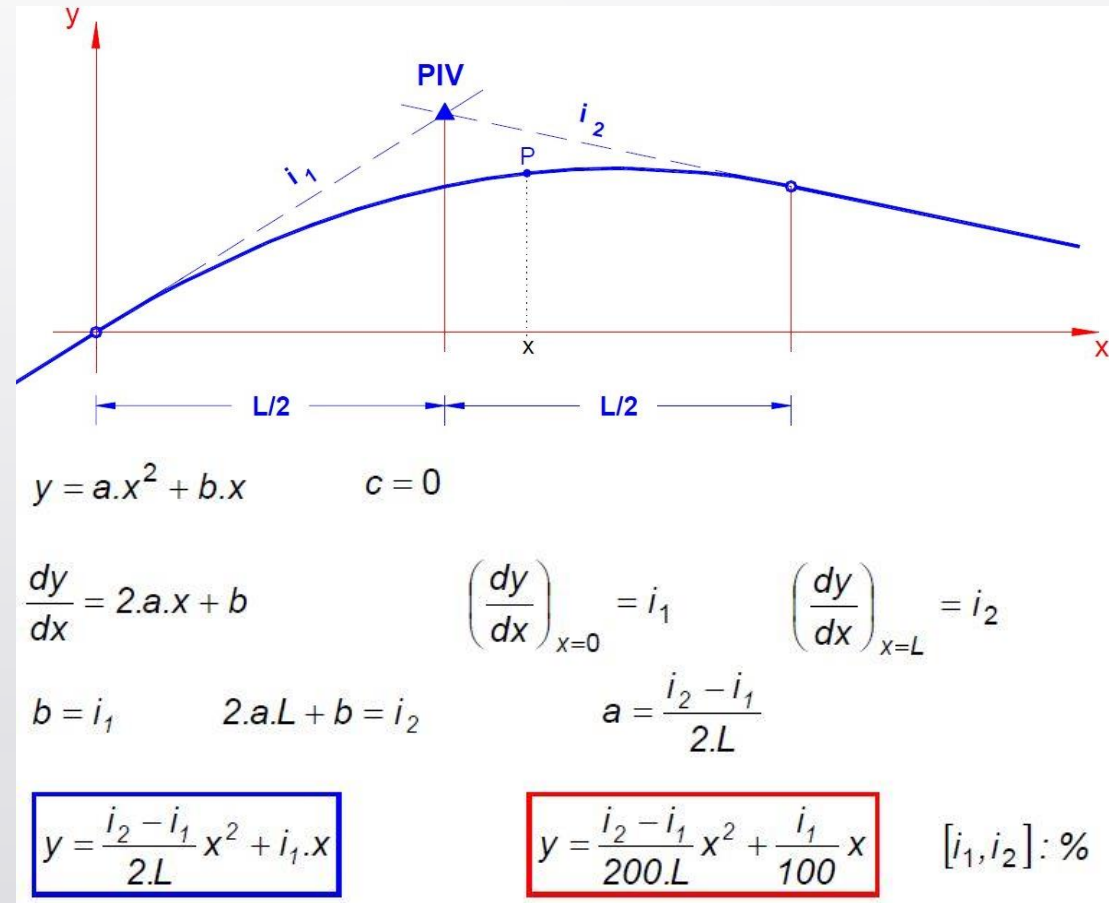
Acordamientos - Uso de la parábola

- Para el diseño geométrico se adopta un **arco de parábola** simple, **de eje vertical**, centrado en la vertical por la intersección de sus tangentes.
- Así como en las curvas horizontales el diseño demandaba definir el radio **R** mínimo, en los acordamientos verticales el diseño exige definir la mínima longitud **L** del acordamiento bajo distintas exigencias.



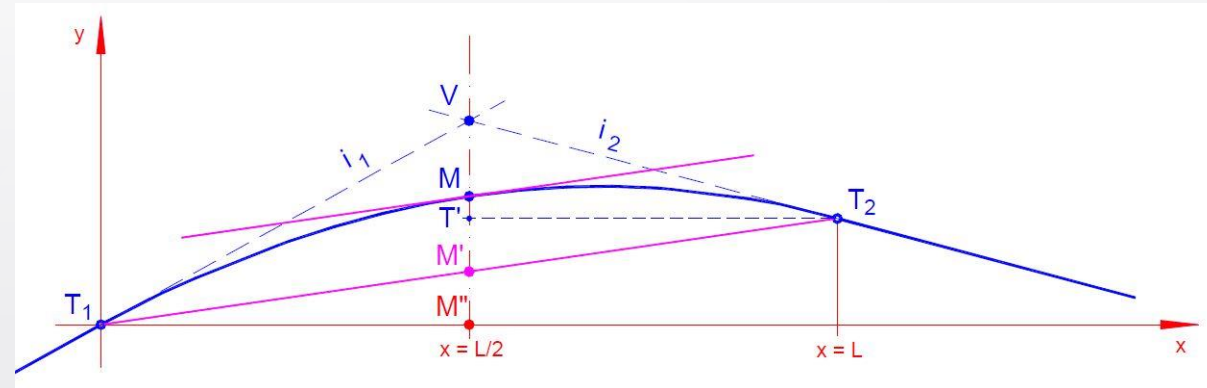
Acordamientos - Uso de la parábola

- Esta parábola tiene la conocida expresión cuadrática, con coeficientes resueltos por derivación.
- Se debe observar que la derivada segunda es una **constante** igual a $\frac{i_2 - i_1}{100 L}$
- Esto significa que en cualquier punto de la parábola la **variación de pendiente es constante** para un vehículo circulando a velocidad constante.



Acordamientos - Propiedades de la parábola

- Otras propiedades geométricas de la parábola son también interesantes, además de haber sido de gran practicidad cuando no existían los software de diseño-dibujo actuales.



$$\text{coef.ang.} \overline{T_1 T_2} = \frac{(i_1 + i_2)}{2}$$

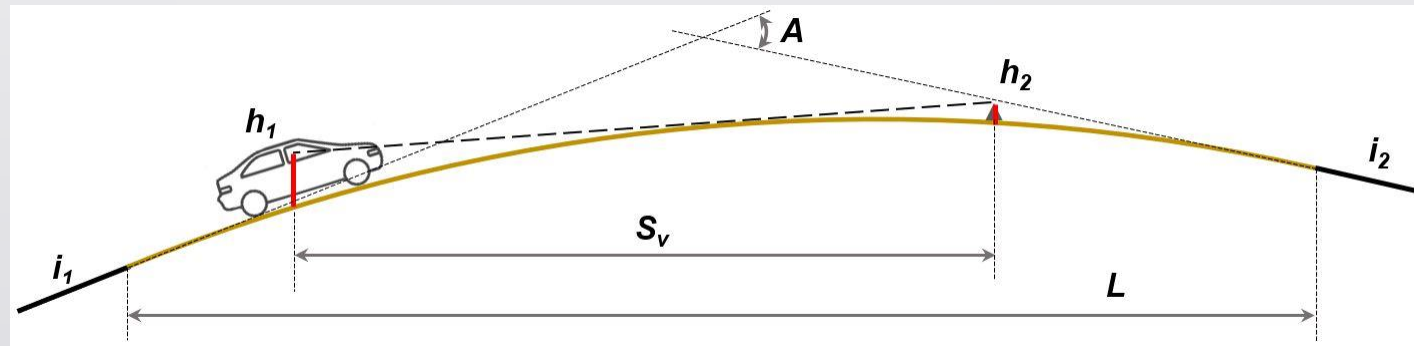
$$\overline{MM'} = \overline{VM} = \frac{1}{2} \cdot \overline{VM'}$$

$$\left(\frac{dy}{dx} \right)_{x=L/2} = \frac{(i_1 + i_2)}{2}$$

$$= \text{coef.ang.} \overline{T_1 T_2}$$

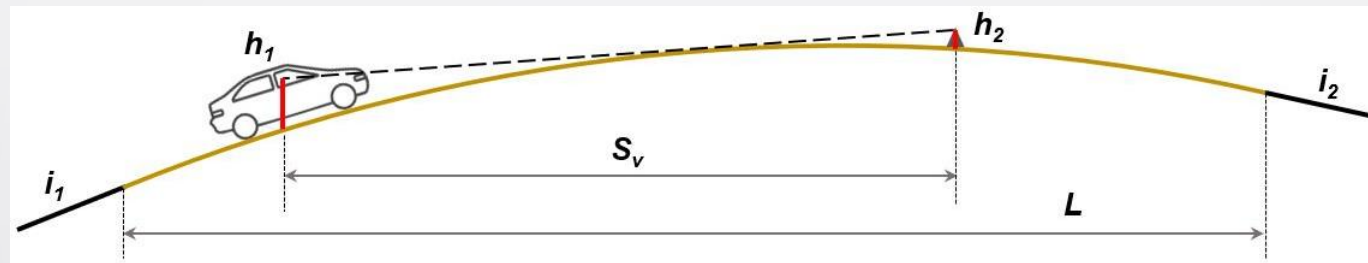
Acordamientos convexos - Longitud mínima

- En acordamientos convexos la **longitud mínima** surge imponiendo un mínimo a la distancia de visibilidad (S_v) del conductor de un automóvil frente a un **obstáculo** de altura h_2 .
- Para resolver esta condición geométrica se asume que el conductor tiene su visión a una altura h_1 sobre el pavimento y se analizan dos situaciones distintas, según S_v sea menor o mayor que la longitud L del acordamiento.

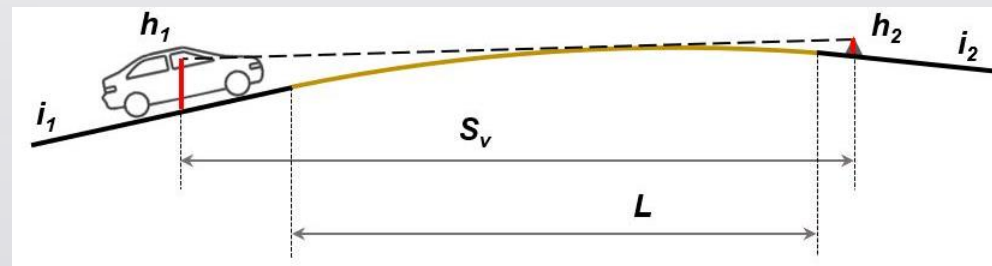


Acordamientos convexos - Longitud mínima

- Cuando el quiebre de pendientes **A** entre ambas rampas es importante, ocurre el caso de **L** mayor a **S_v**.



- Con un quiebre de pendientes pequeño, un acordamiento corto (siendo **L** menor a **S_v**) igualmente debe contar con la visibilidad necesaria.



Acordamientos convexos - Longitud mínima

- La resolución de ambas condiciones geométricas resulta en las siguientes fórmulas.

$$\left. \begin{array}{l} L = \frac{A \cdot S_v^2}{200 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2} \quad \text{cuando } S_v < L \\ L = 2 S_v - \frac{200 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A} \quad \text{cuando } S_v > L \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{siendo } A = |i_1 - i_2| \\ \text{y con } [L; S_v; h_1; h_2] = m ; [A] = \% \end{array}$$

- Finalmente, en una **tercera situación**, el quiebre de pendientes **A** puede ser tan pequeño que la visibilidad del conductor ya no es la principal preocupación, sino evitar un “salto” entre rampas producto de la velocidad del vehículo. En estos casos la **condición de confort** resulta más exigente que la de seguridad.



Acord. convexos - Longitud mínima absoluta

- La **longitud mínima absoluta** (L_{ma}) de un acordamiento convexo asegurará una distancia de visibilidad igual a la distancia de detención ($S_v = S_d$) frente a un **obstáculo inmóvil de altura h_2** .
- La altura h_1 de la visual del conductor en un automóvil estándar se ha determinado en 1,08 m. La altura h_2 en cambio requiere una definición práctica con consecuencias económicas.
- Inicialmente se asumió $h_2 = 0,15$ m, generando el diseño de acordamientos con gran visibilidad, previniendo el choque contra **obstáculos de poca altura** como troncos, animales muertos, cargas caídas de camiones, etc.
- Posteriormente AASHTO cambió su recomendación para $h_2 = 0,60$ m, atendiendo que era mucho más **frecuente el accidente por “alcance”**, es decir el choque con un vehículo detenido en el mismo carril (este h_2 intenta representar la altura de las luces de freno traseras de un automóvil).

Acord. convexos - Longitud mínima absoluta

- Tomando $h_1=1,08$ y $h_2=0,60$ la longitud **mínima absoluta** de acordamiento queda definida entonces con:

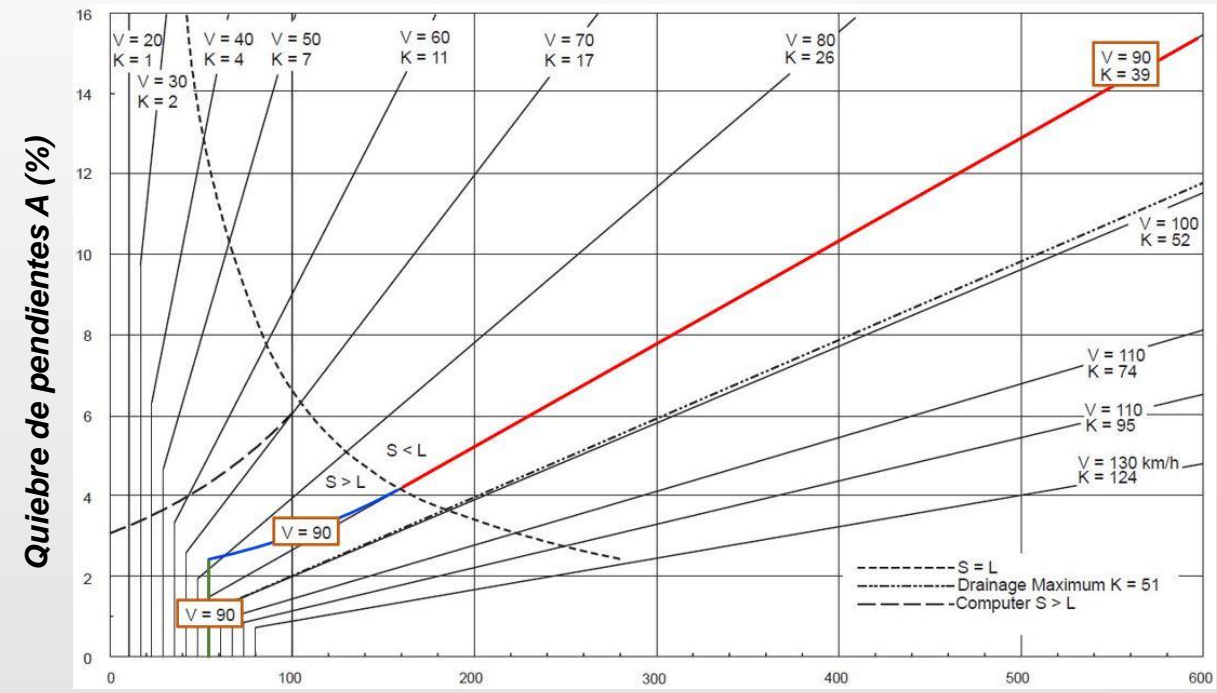
$$L_{ma} = \frac{A \cdot S_d^2}{658}$$

para $S_d < L$

$$L_{ma} = 2 S_d - \frac{658}{A}$$

para $S_d > L$

- Con quiebres de pendiente pequeños, la longitud mínima de acordamiento dependerá de la velocidad de diseño v : $L_{ma} = 0,6v$ con $[L_{ma}] = m$; $[v] = km/h$



Longitud mínima absoluta para acordamientos convexos (m)

AASHTO GDHS 2011

Acord. convexos - Longitud mínima absoluta

- Usualmente en un proyecto se define la constante **K** mínima para acordamientos, que depende de **v** a través de la distancia de detención.

$$K_{ma} = \frac{L_{ma}}{A} = \frac{S_d^2}{658}$$

- Este **K_{ma}** representa el mínimo de metros de acordamiento por cada 1% de quiebre de pendientes.
- Luego, en todos los acordamientos se controla simultáneamente:

$$L \geq K_{ma} \cdot A \quad \text{y} \quad L \geq 0,6 v$$

K mínimo absoluto para acordamientos convexos - K_{ma}

Veloc. de diseño (km/h)	Distancia de detención (m)	K mínimo de acordamiento			
		con h ₂ = 0,15		con h ₂ = 0,60	
		Cálculo	Adoptado	Cálculo	Adoptado
20	20	1,0	1	0,6	1
30	35	3,0	4	1,9	2
40	50	6,1	7	3,8	4
50	65	10,4	11	6,4	7
60	85	17,8	18	11,0	11
70	105	27,1	28	16,8	17
80	130	41,5	42	25,7	26
90	160	62,9	63	38,9	39
100	185	84,1	85	52,0	52
110	220	118,9	119	73,6	74
120	250	153,6	154	95,0	95
130	285	199,6	200	123,4	124

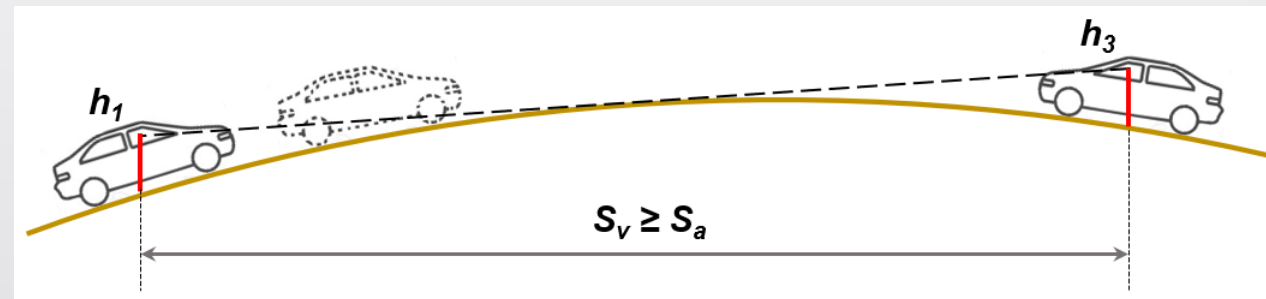
AASHTO GDHS 2011

critero anterior

AASHTO GDHS 2011

Acord. convexos - Longitud mínima deseable

- Cuando las condiciones de diseño lo permitan, es **deseable** que la mayoría de los acordamientos ofrezcan la **posibilidad de adelantar** con seguridad.
- Para asegurar esa condición, la distancia de visibilidad debe ser mayor o igual a la distancia S_a de visibilidad para adelantamiento ya analizada.
- **De no ser posible** se deberá **prohibir el adelantamiento** (línea amarilla).



- La exigencia geométrica para el acordamiento es matemáticamente igual a la anterior, asumiendo una distancia de visibilidad igual a S_a y adoptando una h_3 altura de obstáculo a visualizar.



Acord. convexos - Longitud mínima deseable

- Para definir la altura h_3 las recomendaciones de ASSHTO asumen el percentil 85% de altura de un vehículo liviano (1,33 m) menos una holgura que representa la porción de la altura de un vehículo que necesita verse para poder identificarlo como tal (0,25 m).
- Resulta $h_3 = 1,08$, que al ser el mismo valor que para h_1 , entonces iguala las condiciones de visibilidad para el vehículo que circula en sentido contrario al que realiza el adelantamiento.
- Estas definiciones resultan también aceptables para la **conducción nocturna**, ya que en la noche la luminosidad de los faros de un vehículo circulando en sentido contrario puede verse desde una distancia mayor a la necesaria para reconocer un vehículo durante el día.

Acord. convexos - Longitud mínima deseable

- Con $h_1 = h_3 = 1,08$ la longitud **mínima deseable** de acordamiento queda definida entonces con:

$$L_{md} = \frac{A \cdot S_a^2}{864} \quad \text{para } S_a < L$$

$$L_{md} = 2 S_a - \frac{864}{A} \quad \text{para } S_a > L$$

- Si el proyecto se desarrolla dentro de una geografía desfavorable, no siempre será posible lograr acordamientos que permitan adelantar manteniendo la economía del proyecto.
- Si esta restricción resulta muy frecuente será recomendable agregar **carriles adicionales de adelantamiento** en ubicaciones bien elegidas.

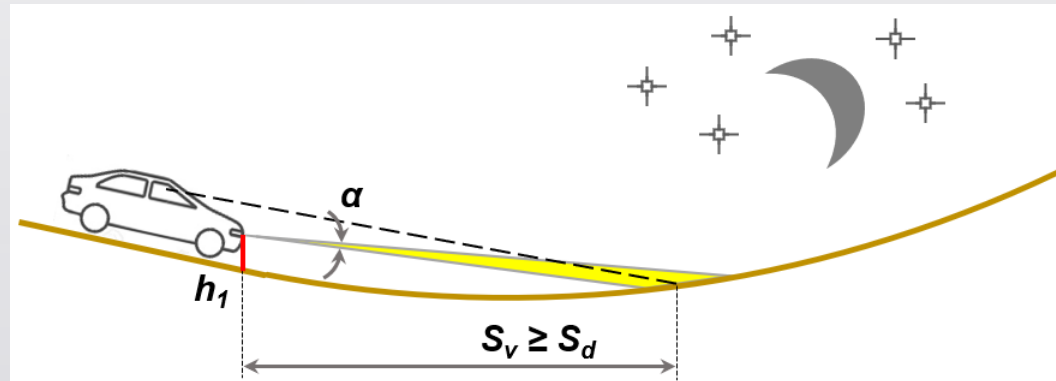
K mínimo deseable para acordamientos convexos - K_{md}

Veloc. de diseño (km/h)	Distancia adelant. (m)	K mínimo con $h_3 = 1,08$	
		Cálculo	Adoptado
30	120	16,7	17
40	140	22,7	23
50	160	29,6	30
60	180	37,5	38
70	210	51,0	51
80	245	69,5	69
90	280	90,7	91
100	320	118,5	119
110	355	145,9	146
120	395	180,6	181
130	440	224,1	224

AASHTO GDHS 2011

Acordamientos cóncavos - Longitud mínima

- De forma similar que en los convexos, en los acordamientos cóncavos la **primera condición** impuesta es que la distancia de visibilidad (S_v) del conductor sea mayor o igual a la distancia de detención (S_d).
- Pero, en los acordamientos cóncavos el límite de visibilidad no lo genera la obstrucción del camino sino la condición de **circulación nocturna**.
- Esta condición se simula asumiendo que los faros del vehículo se ubican a una altura h_1 e iluminan con un ángulo de divergencia α .



Acord. cóncavos - Distancia mínima iluminada

- La resolución geométrica resulta en las siguientes fórmulas, vinculando la longitud L del acordamiento con la visibilidad S_v que el mismo permite.

$$\left. \begin{array}{l}
 L = \frac{A \cdot S_v^2}{200 (h_1 + S_v \tan \alpha)} \quad \text{cuando } S_v < L \\
 L = 2 S_v - \frac{h_1 + S_v \tan \alpha}{A} \quad \text{cuando } S_v > L
 \end{array} \right\} \begin{array}{l}
 \text{siendo } A = |i_1 - i_2| \\
 \text{y con } [L; S_v; h_1] = m ; [A] = \%
 \end{array}$$

- Con una altura h_1 de 0,60 m, un ángulo de divergencia α de 1° y $S_v = S_d$ queda definida la longitud mínima de acordamiento según este criterio.

$$L = \frac{A \cdot S_d^2}{120 + 3,5 S_d} \quad \text{para } S_d < L \quad L = 2 S_d - \frac{120 + 3,5 S_d}{A} \quad \text{para } S_d > L$$

- Luego, en todos los acordamientos se controla simultáneamente:

$$L \geq K_{mc} \cdot A \quad \text{y} \quad L \geq 0,6 v$$

Acord. cóncavos - Distancia mínima iluminada

K mínimo para
acordamientos cóncavos - K_{mc}

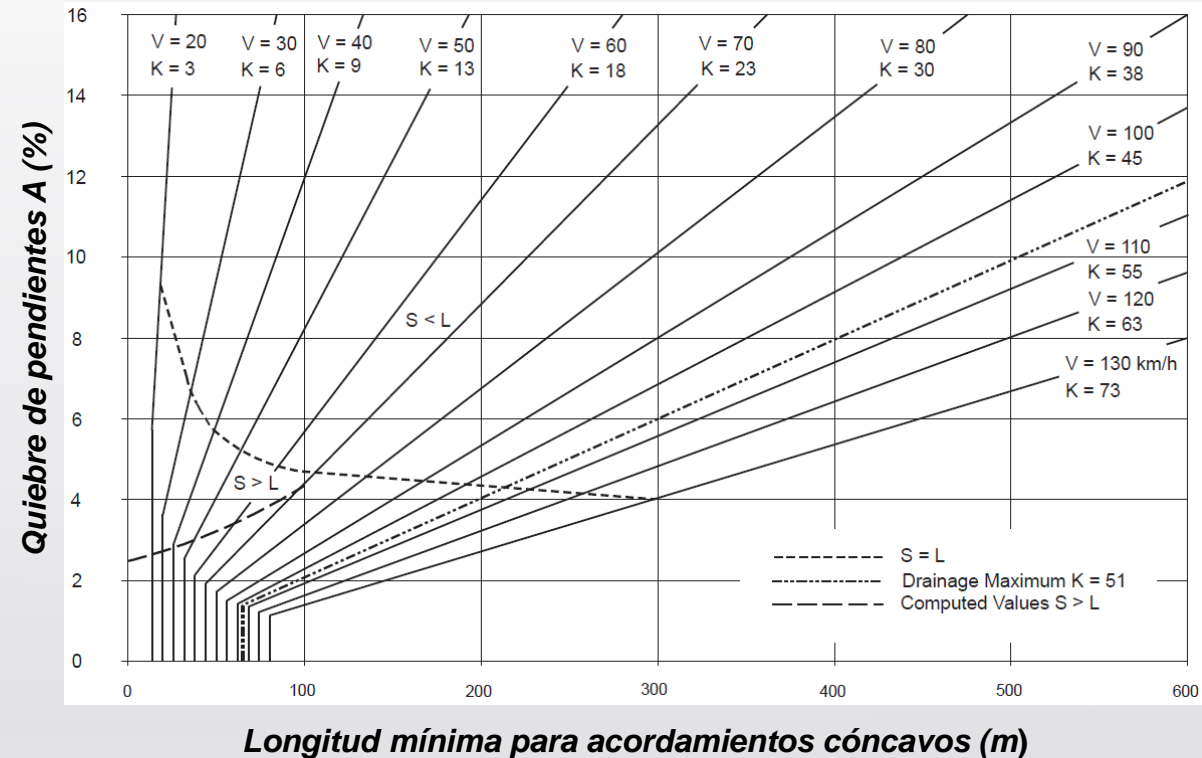
Veloc. de diseño (km/h)	Distancia detención (m)	<i>K</i> mínimo con $h_1=0,60 / \alpha=1^\circ$	
		Cálculo	Adoptado
20	20	2,1	3
30	35	5,1	6
40	50	8,5	9
50	65	12,2	13
60	85	17,3	18
70	105	22,7	23
80	130	29,5	30
90	160	37,7	38
100	185	44,7	45
110	220	54,5	55
120	250	63,0	63
130	285	72,9	73

AASHTO GDHS 2011

$$K_{mc} = \frac{L_{mc}}{A} = \frac{S_d^2}{120 + 3,5 S_d}$$

con $[L; S_d]=m ; [A]=\%$

AASHTO GDHS 2011



Acord. cóncavos - Otras longitudes mínimas

- Para la definición de los acordamientos cóncavos se consideran otras condiciones adicionales, a saber:
 - **Confort:** en acordamientos cóncavos a la aceleración gravitacional se suma la centrífuga, pudiendo generarse una sensación desagradable sobre los pasajeros (efecto “montaña rusa”). Limitando la aceleración agregada a $0,3 \text{ m/s}^2$ resulta una mínima longitud según la siguiente fórmula, que es muy inferior a la exigida según el primer criterio de distancia iluminada.

$$L \geq \frac{A \cdot v^2}{395}$$

- **Apariencia:** una regla empírica establece **$K = 30$** como mínimo para evitar una apariencia desagradable de los acordamientos cóncavos. Comparando con el criterio de visibilidad, **ambos criterios coinciden para una velocidad de diseño de 80 km/h**. En otras palabras, este tercer criterio se impone solo en proyectos con velocidad de diseño medias a bajas.

$$L \geq 30 A$$



Otros aspectos a considerar

- Otras condiciones a considerar vinculadas a los acordamientos son:

Drenaje longitudinal:

- La altimetría más simple para el drenaje longitudinal en desmontes con acordamientos convexos será aquella que **acompaña la altimetría del camino**.
- En tal situación, para prevenir el posible desborde de cunetas dentro del desmonte se debe limitar la extensión del trazado con pendiente nula o muy baja, lo que ocurre cuando las rampas extremas tienen pendientes de distinto signo.
- La práctica recomienda que desde el punto con pendiente nula se alcance un 0,3% de pendiente en no más de 15 m, lo que equivale a un **K mínimo de 50**.
- Esta condición puede obviarse si se opta por separar la altimetría del drenaje y el camino, lo que en la práctica se denomina **profundización de cunetas**.
- En acordamientos cóncavos se prestará similar atención al drenaje longitudinal solo en caso de contar con una sección transversal con cordones, especialmente en zonas urbanas.



Otros aspectos a considerar

- Otras condiciones a considerar:

Maniobras y visibilidad para vehículos pesados:

- Todo el desarrollo teórico expuesto se enfoca en las maniobras de detención y adelantamiento para vehículos livianos y de pasajeros, considerando su distancias de frenado, alturas de visual, dimensiones de obstáculos, etc.
- Es obvio que en la conducción de vehículos pesados la mayoría de estos parámetros son diferentes. Sin embargo, la práctica demuestra que un diseño apropiado para vehículos livianos brinda **condiciones de seguridad suficientes también para vehículos pesados.**
- Por ejemplo, un vehículo pesado puede necesitar una mayor distancia para el frenado pero esto se compensa al contar con una mayor visibilidad debido a una mayor altura de visual, mayor alcance de iluminación de los faros, etc.
- También sucede que normalmente un vehículo pesado realiza pocos adelantamientos y para ello suele esperar a contar con condiciones ideales.



Controles generales del alineamiento vertical

Al desarrollar el diseño altimétrico de un trazado deben tenerse en consideración ciertas recomendaciones generales, a saber:

- 1) En todos los casos, se adopta 25 m como **distancia mínima absoluta entre acordamientos sucesivos** y 50 m como mínima deseable.
- 2) Si bien la rasante debe acompañar la topografía del terreno, un ajuste demasiado ceñido a éste producirá perfiles con sucesivas curvas verticales de parámetros mínimos, haciendo la circulación molesta y peligrosa por la pérdida de visibilidad en longitudes apreciables del camino.
- 3) Es preferible una rasante de pendientes suaves, con tramos extendidos y cambios graduales, que una línea con numerosos quiebres y pequeñas longitudes en pendiente. Los valores definidos de máxima pendiente y longitud crítica son extremos y de la manera en que se apliquen y acomoden al terreno dependerá la buena calidad y apariencia general del proyecto.



Controles generales del alineamiento vertical

- 4) Deberá evitarse el construir una curva vertical cóncava de parámetro mínimo a continuación de una rasante descendente de longitud apreciable pues esto puede inducir a los vehículos (sobre todo a los pesados) a velocidades excesivas que hagan peligrosa la circulación.
- 5) Generalmente debe evitarse el proyectar dos acordamientos verticales con curvatura del mismo sentido, separados por una pequeña longitud de pendiente uniforme, especialmente en aquellas hondonadas donde la visión completa de ambas curvas cóncavas resultará desagradable. En lo posible se proyectará, en sustitución, una sola curva vertical más tendida y con desarrollo más amplio.
- 6) Cuando se diseñen dos curvas verticales opuestas de parámetros mínimos, una a continuación de la otra, deberá proveerse un tramo de pendiente uniforme entre ellas de longitud no menor a **0,3 v**, a efectos de evitar un cambio brusco de aceleración vertical.



Controles generales del alineamiento vertical

- 7) Es preferible, especialmente en caminos con baja velocidad de diseño, sustituir las pendientes sostenidas y de gran longitud por pendientes más empinadas en el fondo y más suaves en la cima, o realizar quiebres frecuentes intercalando rampas suaves entre otras próximas a la pendiente máxima.
- 8) Cuando se deba proyectar una intersección a nivel sobre una rampa empinada es recomendable reducir la pendiente al cruzar la intersección, para favorecer la circulación de los vehículos que giran y reducir la posibilidad de accidentes. Siempre resulta preferible, por razones de visibilidad y seguridad, ubicar los empalmes en los valles mejor que en las crestas.
- 9) Para favorecer el replanteo de obra es conveniente adoptar longitudes de acordamientos verticales múltiplos de 5 o 10 m y preferiblemente no menores a los 50 m.



Coordinación de alineamientos

En cuanto a la coordinación entre el alineamiento horizontal y la altimetría del proyecto, pueden establecerse las siguientes recomendaciones:

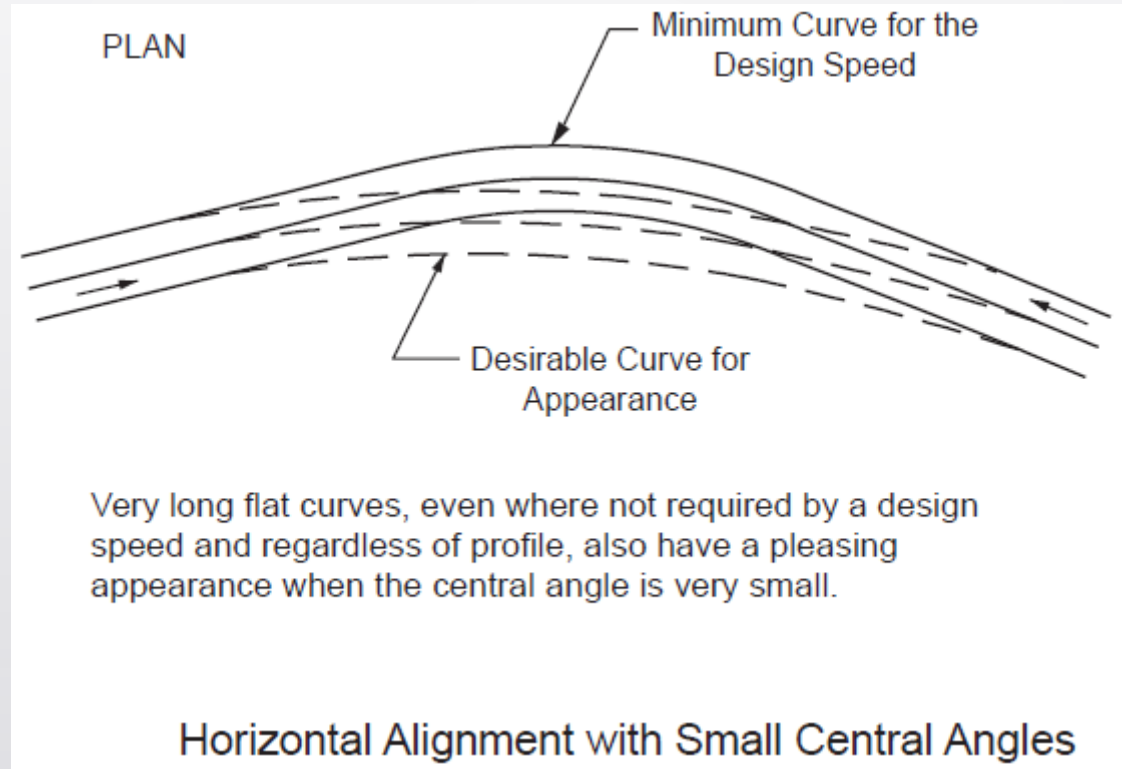
- 1) Desde el punto de vista estético es conveniente la superposición de curvas horizontales con verticales, ya que un desfase de ambas genera un aspecto distorsionado. Además en caminos o carreteras de dos carriles es importante lograr esta superposición, dado que de esta forma se agrupan los tramos con limitaciones de visibilidad para sobrepaso, posibilitando dicha maniobra en los tramos rectos de pendiente uniforme.
- 2) No deben proyectarse curvas de radio reducido al pie de pendientes descendientes pronunciadas, por razones estéticas y dado el aumento de velocidad que se produce en los vehículos pesados en el fondo de las rampas.



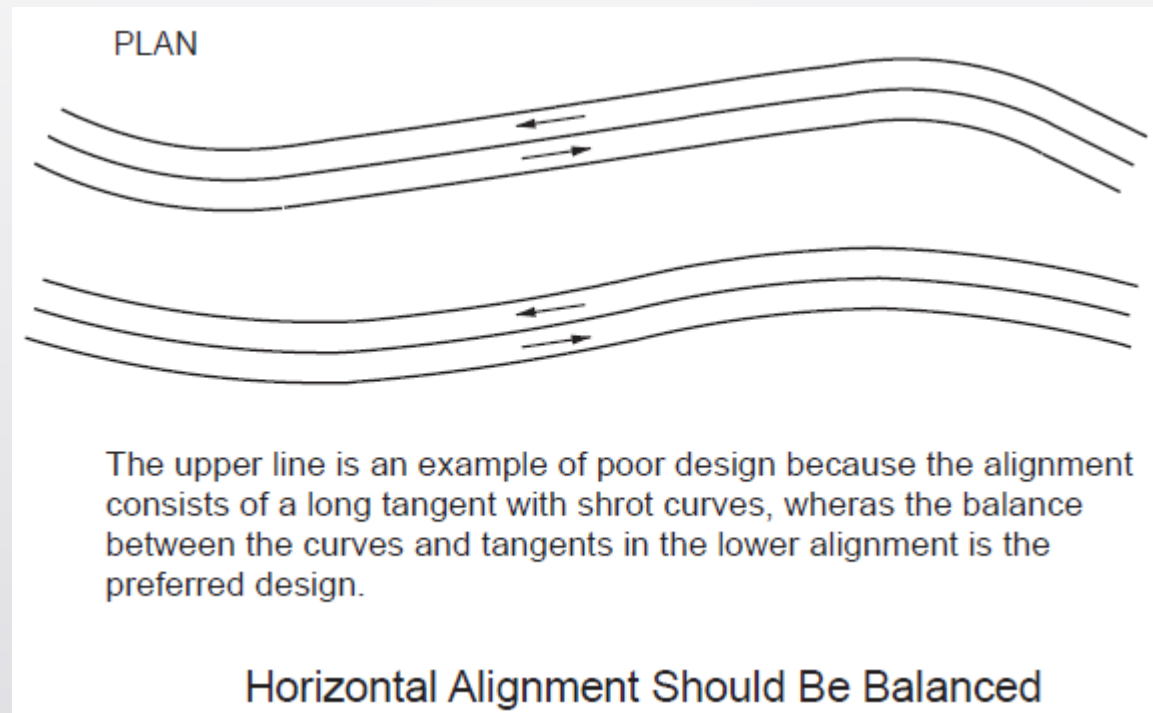
Coordinación de alineamientos

- 3) No deben introducirse curvas horizontales agudas al tope de acordamientos verticales convexos, ya que en tal caso el conductor no podrá percibir el cambio de alineación horizontal, especialmente en la noche. Cuando esto sea inevitable es conveniente que el desarrollo de la curva horizontal supere la longitud de la curva vertical, para que pueda apreciarse el cambio de dirección previo a quedar oculto por el acordamiento vertical.

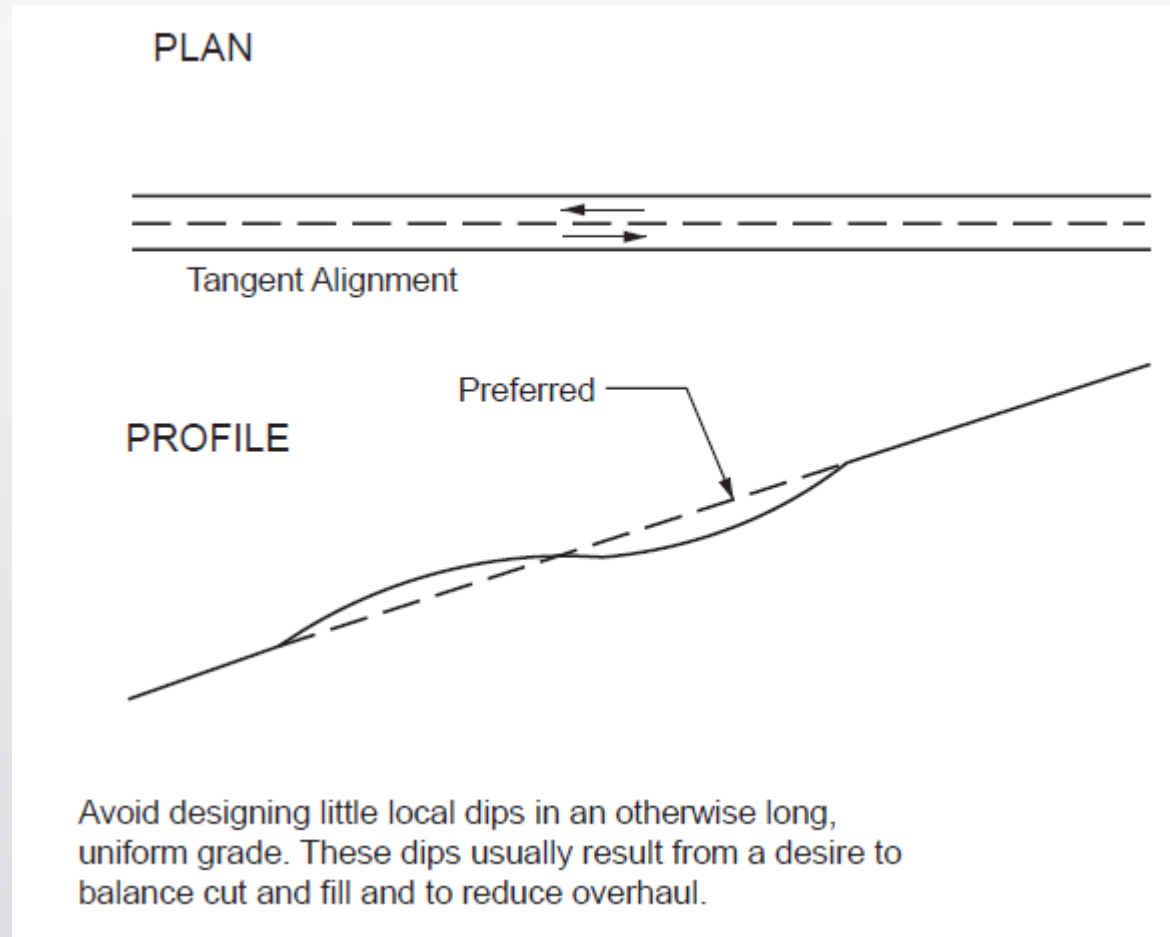
Apariencia y otros efectos



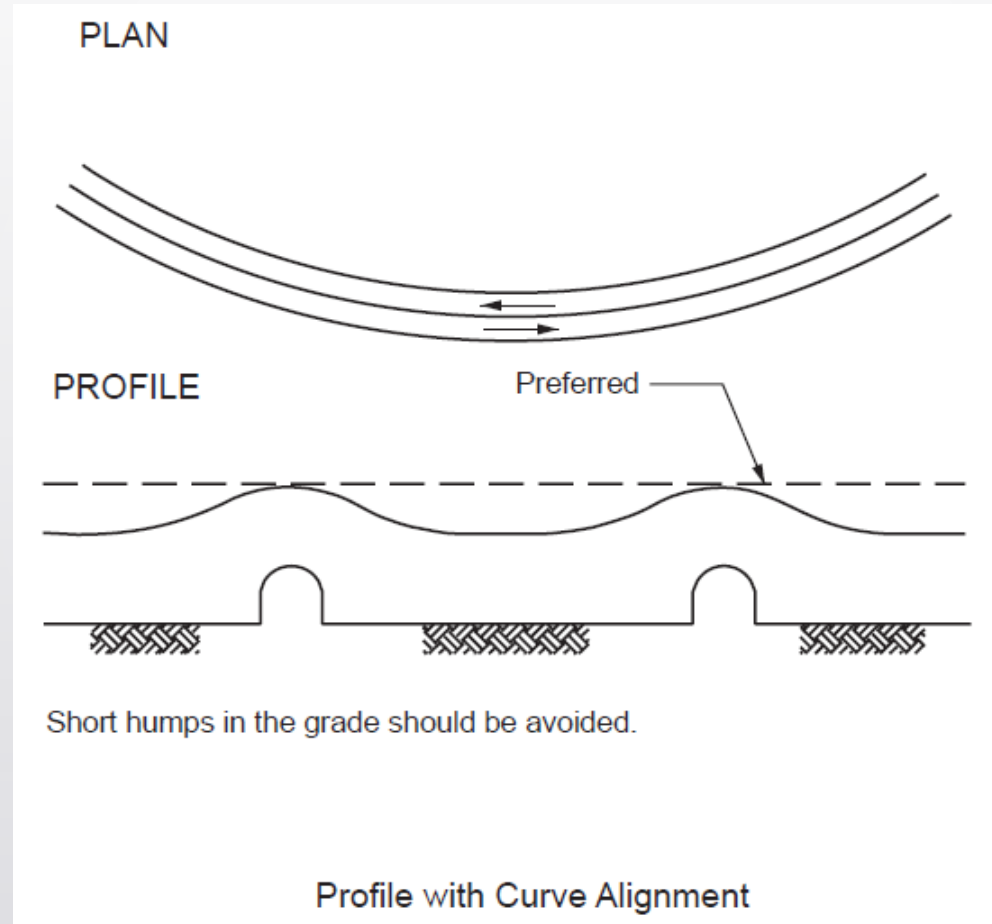
Apariencia y otros efectos



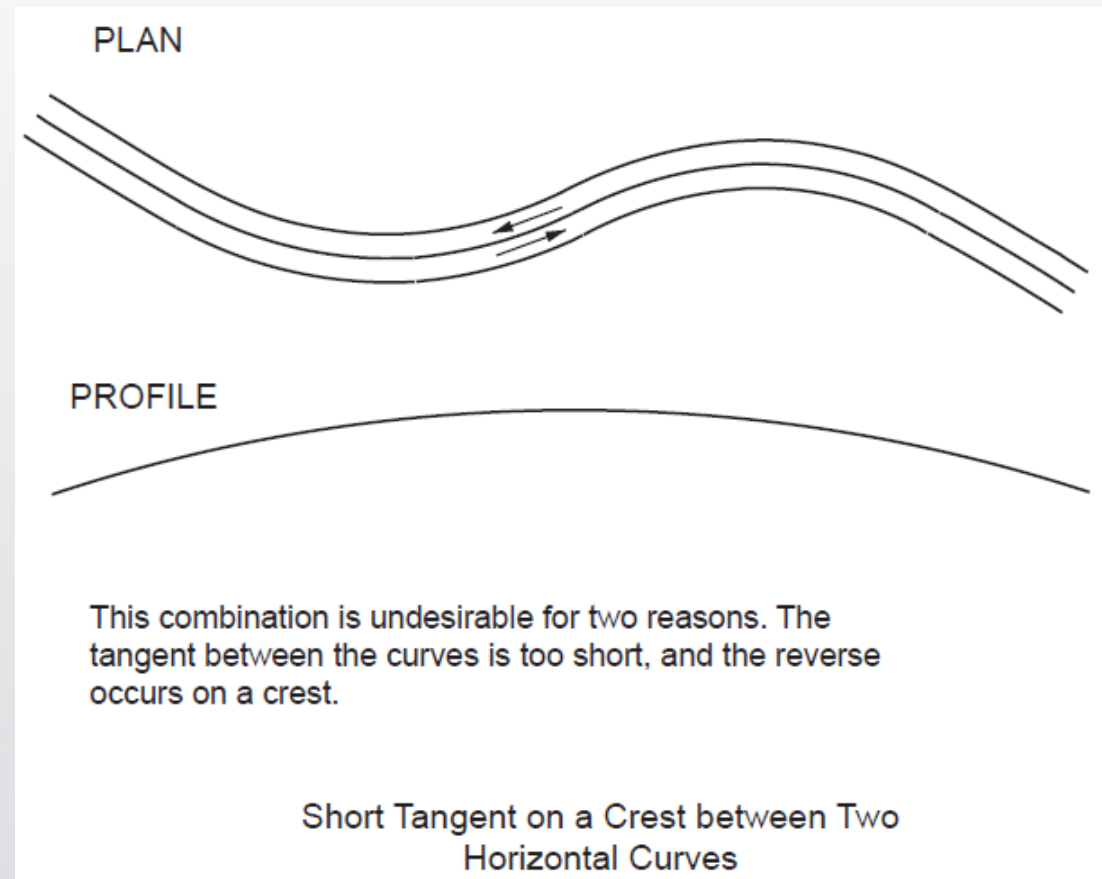
Apariencia y otros efectos



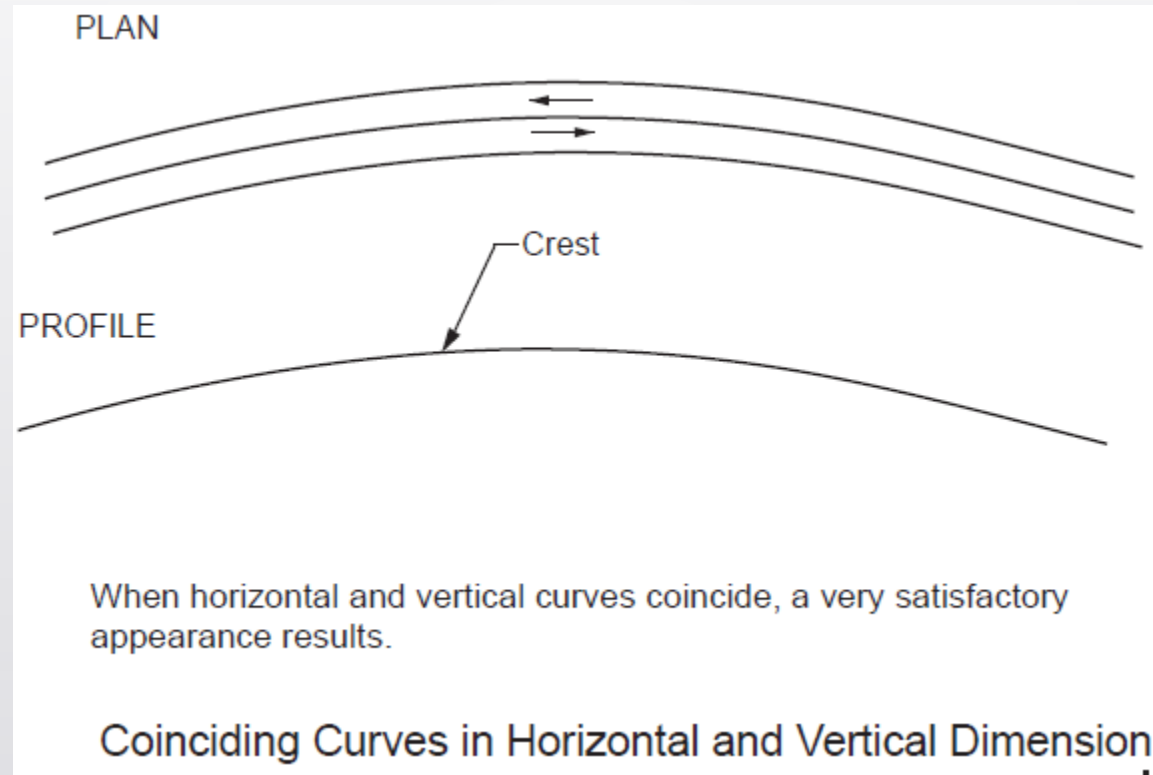
Apariencia y otros efectos



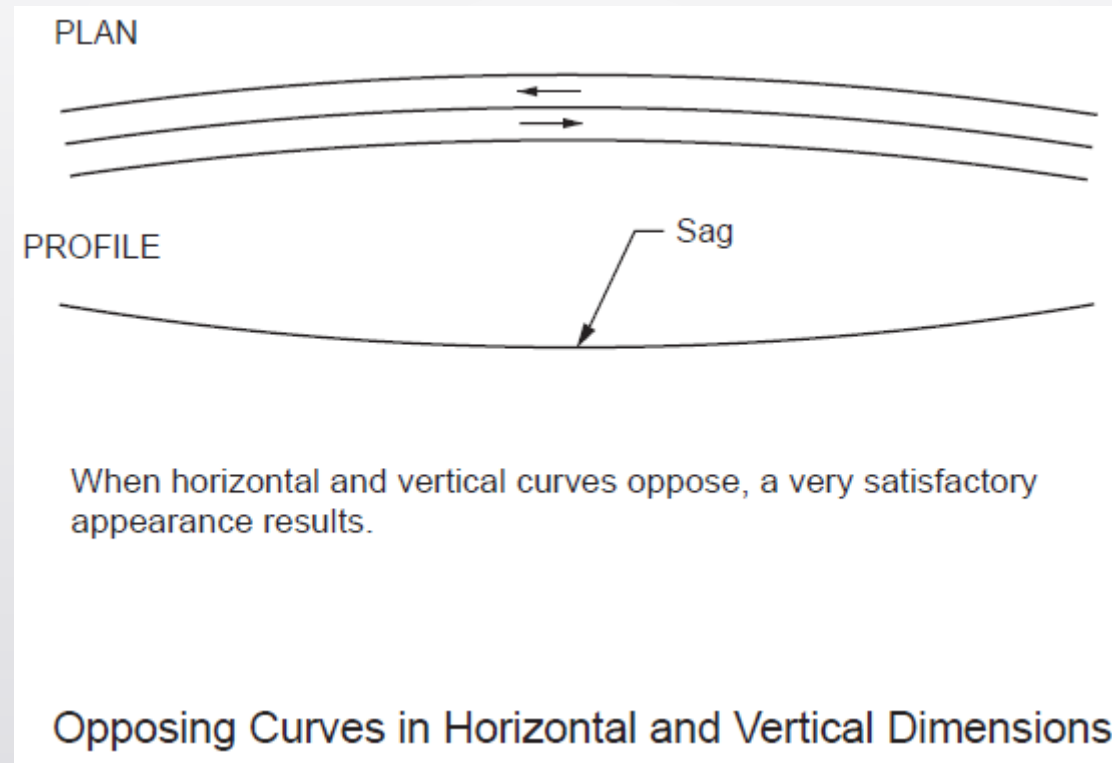
Apariencia y otros efectos



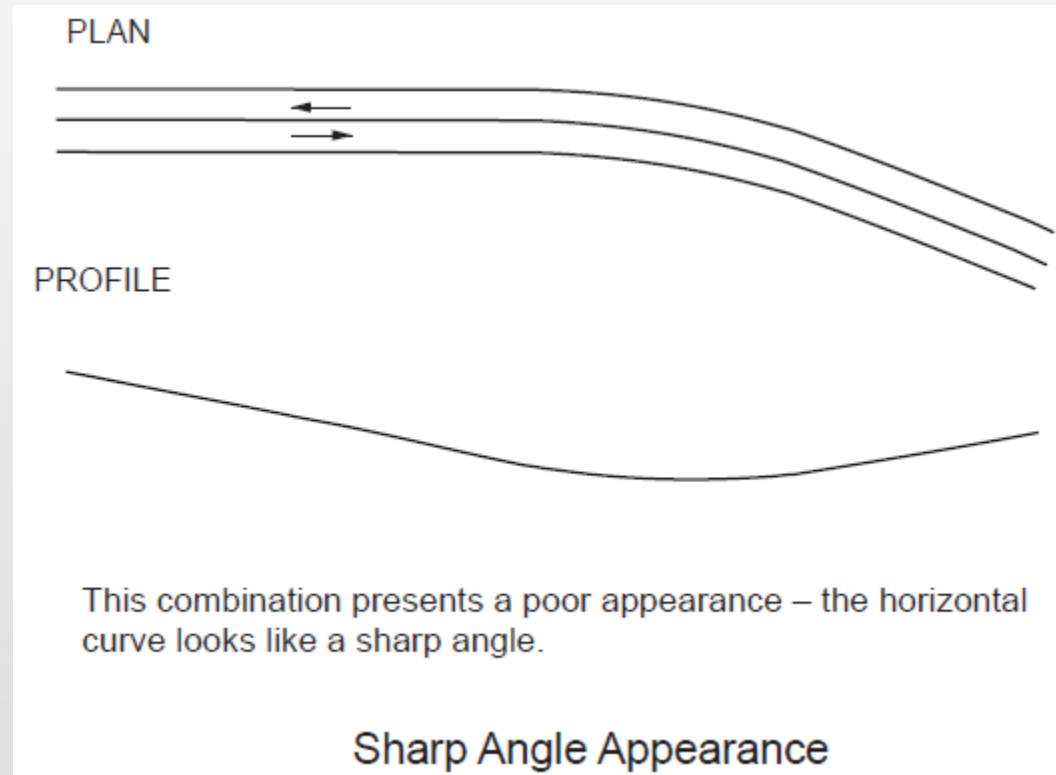
Apariencia y otros efectos



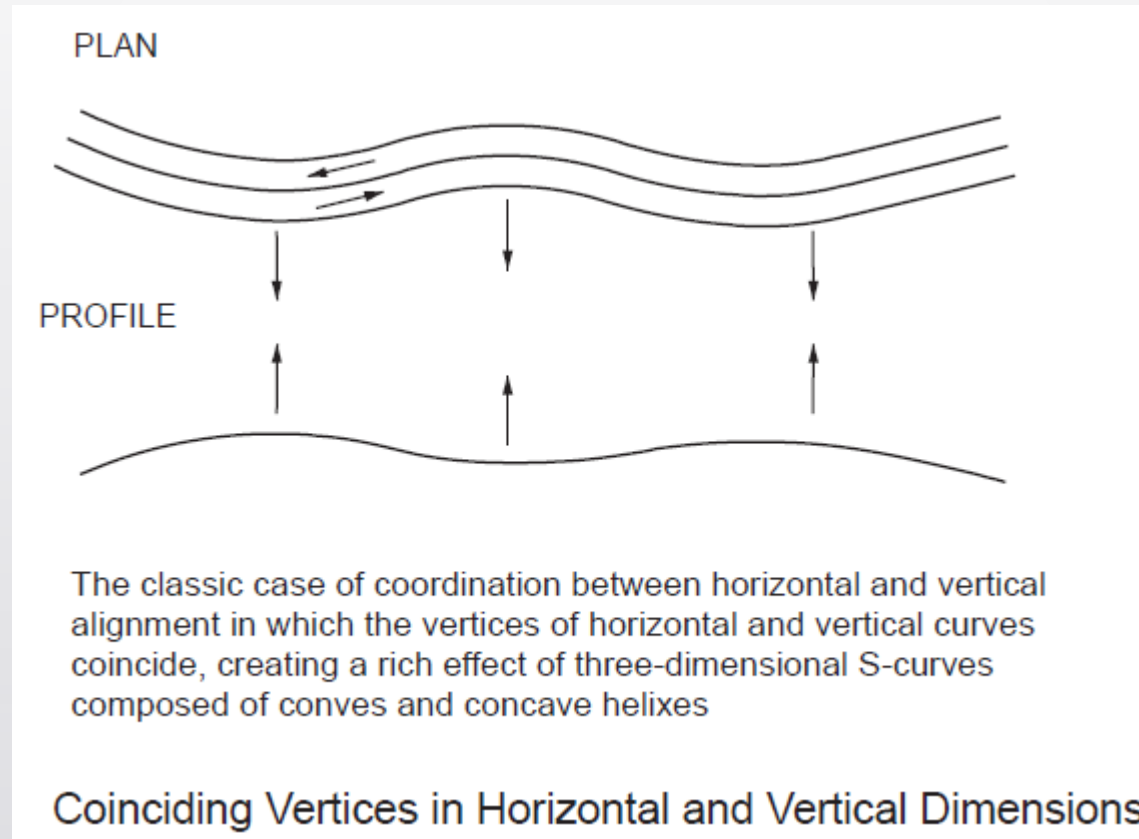
Apariencia y otros efectos



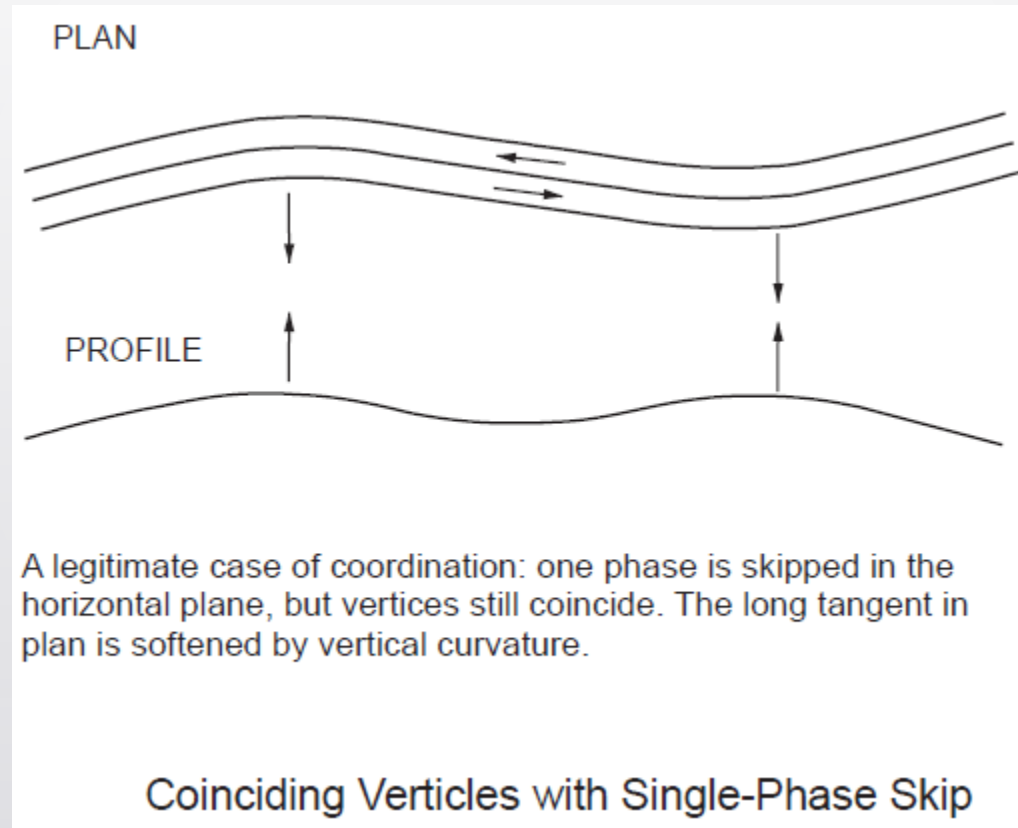
Apariencia y otros efectos



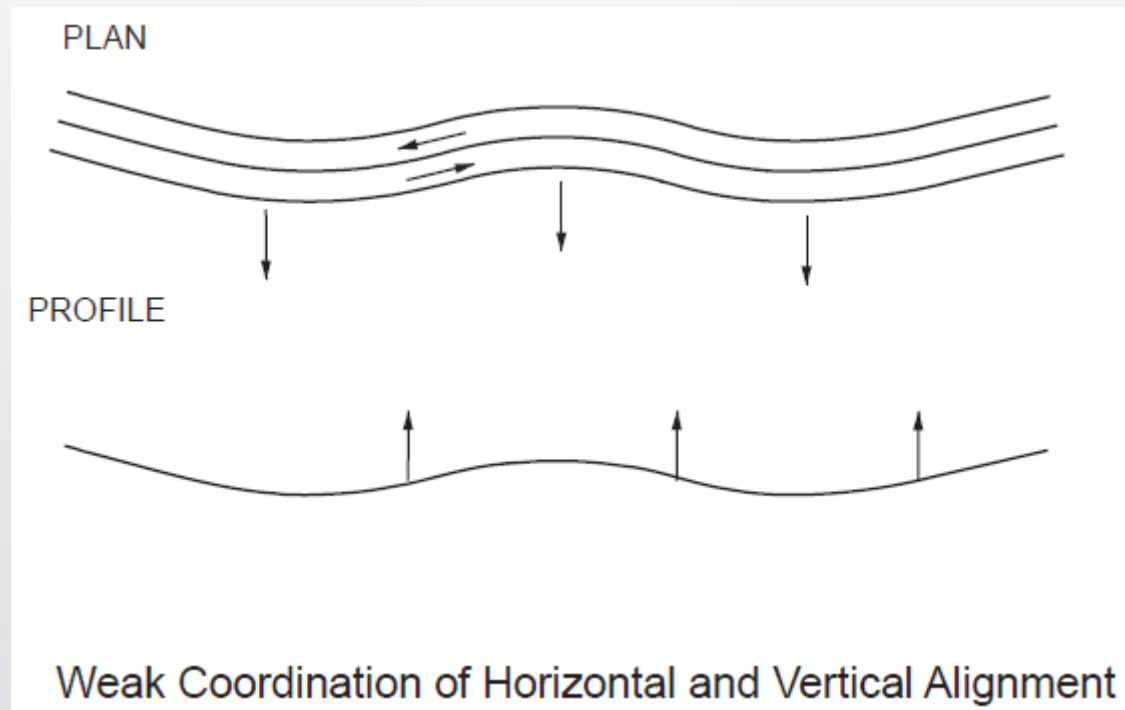
Apariencia y otros efectos



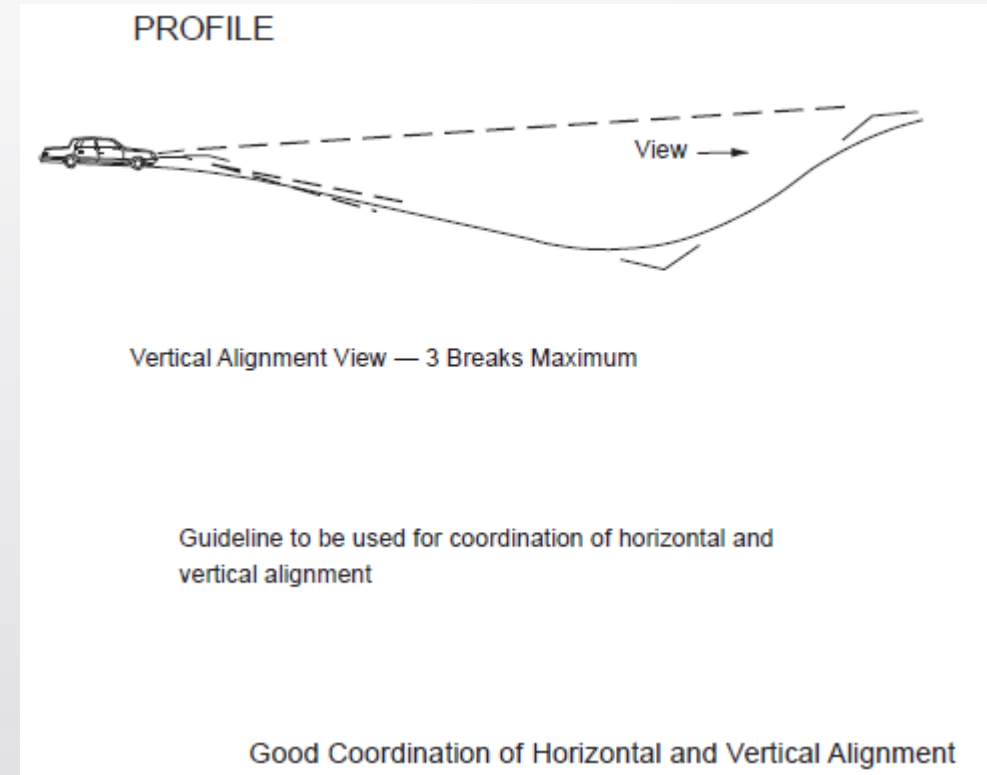
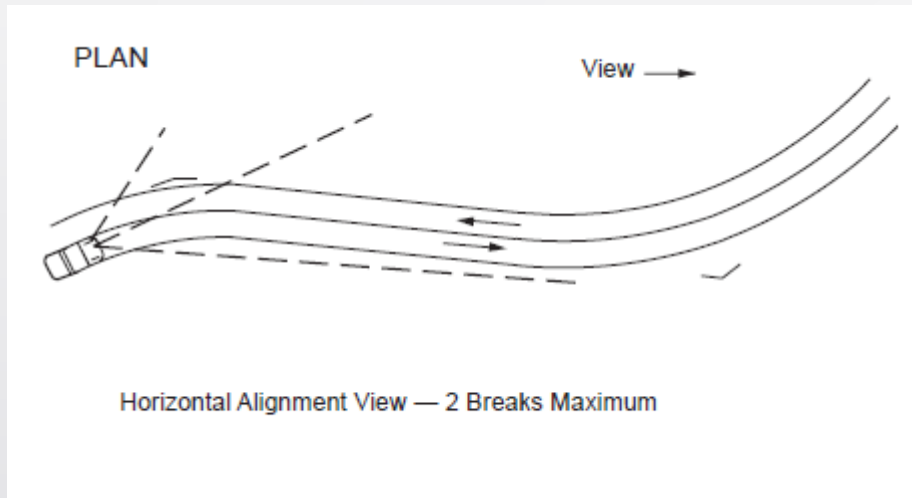
Apariencia y otros efectos



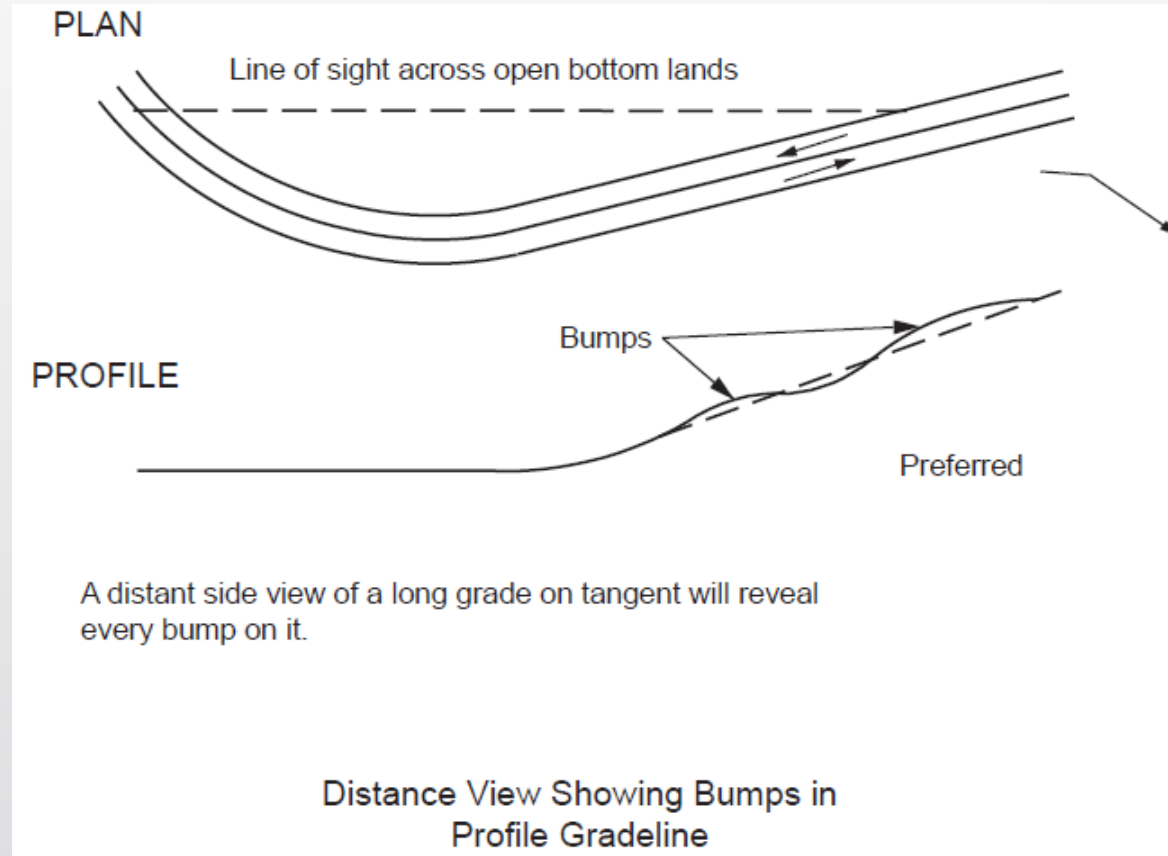
Apariencia y otros efectos



Apariencia y otros efectos



Apariencia y otros efectos



Apariencia y otros efectos

