

Metodología para Estimar Despeje Lateral en Alineamientos Horizontales Compuestos

Tomas Echaveguren¹, Sergio Vargas Tejeda², Alex Paredes³, Michel Perret³

¹Profesor Asistente – Departamento de Ingeniería Civil – Universidad de Concepción

²Profesor Asistente – Departamento de Ingeniería Civil – Universidad del Bio Bio

³Ingeniero Civil – Universidad de Concepción

Universidad de Concepción – Facultad de Ingeniería – Depto de Civil – P.O. Box 306, Correo 3, Concepción, Chile, E-mail: techaveg@udec.cl

RESUMEN

La provisión de visibilidad de parada es un criterio esencial del diseño geométrico. En curvas horizontales las normas de diseño lo consideran a través del despeje lateral. Este se define como la zona libre de obstáculos en la parte interior de la curva que permite una visibilidad de parada continua. El manual de carreteras de Chile, solo considera el despeje lateral máximo para una curva circular aislada. En este trabajo se propone una metodología para calcular las coordenadas de la envolvente de despeje lateral en curvas aisladas y compuestas. Se utilizó el método de Monte Carlo para simular el paso de un conductor que circula a la velocidad de diseño, específica y de operación a lo largo de una curva, a fin de identificar los parámetros que determinan la variabilidad del método desarrollado. Las aplicaciones desarrolladas mostraron que en la medida que exista mayor diferencia entre la velocidad específica y la de operación, mayor es el error en el cálculo de despeje lateral, recomendándose para ello utilizar siempre velocidad de operación para realizar la estimación.

Palabras Clave: Despeje Lateral, Distancia de Visibilidad de Parada, Método Monte Carlo.

ABSTRACT

An essential criterion to geometric design of highways is the stopping sight distance. In horizontal curves, the standards use the lateral clearance concept to provide it. It can be defined as the zone free of obstacles located in the internal side of an horizontal curve that always provide an adequate stopping sight distance. The standards of geometric design for highways of Chile calculate the maximum lateral clearance of an isolated circular curve. In this paper the authors develop a methodology to estimate lateral clearance in isolated and composed horizontal curves. The Monte Carlo method was used to simulate a driver running along horizontal curves to the design speed, specific speed and operational speed. The objective was to identify the main sources of variability. It was concluded that if exist a high difference between specific and operational speed, the lateral clearance can be under or over estimated in a 50 %. The authors recommend use the operational speed for estimating a realistic value of the lateral clearance.

Keywords: Lateral Clearance, Stopping Sight Distance, Monte Carlo Method.

1. INTRODUCCION

Uno de los criterios para la gestión de seguridad en el diseño de caminos y carreteras es la provisión de distancia de visibilidad (DV). Esta se define como la distancia que debe disponerse en una carretera o camino, tal que el conductor siempre tenga la visibilidad suficiente para realizar maniobras en forma segura. Este concepto está relacionado con la velocidad, las características dinámicas de los vehículos y la capacidad de los conductores para realizar maniobras, particularmente las maniobras de parada y de adelantamiento. Este artículo se aboca a la primera maniobra.

En el alineamiento vertical, la DV se considera explícitamente en el cálculo de curvas verticales. En el alineamiento horizontal en tanto, la provisión de visibilidad se considera eliminando los obstáculos laterales, tales como barreras, taludes, árboles u otros elementos, conformando así una zona despejada adyacente al radio interior de las curvas. De este modo el conductor que ingresa a una curva (o a un conjunto de curvas), siempre cuenta con la distancia de visibilidad necesaria.

1.1 Consideraciones Normativas

En Chile, las instrucciones de diseño geométrico consideran la visibilidad en curvas horizontales únicamente a través de la estimación de un máximo despeje lateral, el cual se localiza en el punto medio de la curva (sea esta curva circular o curva circular con arcos de enlace). Sin embargo, ésta práctica posee limitaciones:

- No permite estimar el desarrollo del despeje lateral. Esto impide por ejemplo, el diseño geométrico del desarrollo de taludes.
- Al considerar un valor asociado a una sola curva, no permite analizar la visibilidad en conjuntos de elementos geométricos tales como curva y contra curva.
- No considera la posición lateral del vehículo para maximizar la visibilidad provista por el trazado.

Normativas de países tales como Estados Unidos (AASHTO, 2001; CALTRANS 1995), de Canadá (TAC 1999), España (MOPTMA, 1999), Reino Unido (HMSO, 1993), Sud África (CSIR, 2001), Australia (Austroads, 2003), Nueva Zelanda (TRANSIT NZ, 2001) cuentan con métodos de cálculo similares a los descritos en el Manual de Carreteras de Chile.

1.2 Métodos de Cálculo Existentes

En la literatura se identificaron una serie de modelos que permiten resolver las limitaciones de los procedimientos utilizados en las normativas. Estos modelos se pueden clasificar como modelos de análisis de obstrucciones puntuales (Waissi y Cleveland, 1987;

Easa, 1991; Cronjé, 1995) y continuas (Hassan et al, 1995; Lovell, 2000).

Los métodos de Waissi y Cleveland (1987) y Easa (1991), calculan el despeje lateral para posiciones discretas del conductor fuera de la curva, en la tangente de entrada, dentro de la curva, en la tangente de salida. Así, determinan las coordenadas de las zona libre de obstáculos en cada una de las zonas antes señaladas.

Los métodos de Hassan et al (1995) y Lovell et al (2000), construyen modelos de elementos finitos en dos dimensiones de los trazados para determinar en forma continua los despejes laterales, lo cual permite calcular en cualquier configuración de un trazado los despejes laterales requeridos.

Si bien los métodos antes señalados resuelven las limitaciones descritas en sección 1.1, son de compleja utilización en la práctica de la ingeniería, dado que requieren numerosos cálculos con base en elementos finitos algunos y numerosas iteraciones otros. Asimismo, requieren que la distancia de parada sea conocida, lo cual incorpora incertidumbre si no se conocen adecuadamente las demandas reales de fricción y la velocidad de operación.

1.3 Objetivos y Enfoque Metodológico

En base a los antecedentes antes reseñados, el presente trabajo tiene por objetivo el proponer una metodología de fácil utilización que permita definir el despeje lateral en conjuntos de curvas horizontales tales como curvas con y sin arcos de enlace, curva y contra curva, etc., considerando las variables velocidad, localización del vehículo en el trazado, geometría horizontal del trazado y el cálculo de la distancia de visibilidad de parada.

La metodología permite estimar una envolvente de despeje lateral considerando la visibilidad de parada punto a punto en el trazado. Es aplicable a configuraciones de curvas aisladas y curvas de inflexión en S. Para cada una de estas configuraciones se desarrollaron ecuaciones de cálculo de despeje lateral para velocidades específicas entre 30 y 120 Km/h y radios de curvatura entre 50 y 1000 m.

Mediante simulación de Monte Carlo se analizó la estabilidad de la metodología respecto de la posición lateral del vehículo y de la velocidad de operación. Para el primer caso se consideró que la distribución de frecuencias de localización del conductor es asimilable a una distribución de probabilidades triangular, dado que esta distribución permite fijar los extremos de la localización exactamente en los bordes de la pista de circulación. Para el segundo caso, se utilizaron los modelos de velocidad de operación desarrollados por Echaveguren y Sáez (2001) y Echaveguren y Basualto (2003). Estos modelos describen la velocidad de operación a lo largo de una curva horizontal considerando el efecto de la presencia / ausencia de clotoides de enlace y el radio de curvatura.

2. METODOLOGÍA PROPUESTA

La metodología consiste en un procedimiento matemático deducido de la geometría de una curva circular y una curva circular con clotoide de enlace (ARA) para determinar el despeje lateral en un alineamiento horizontal compuesto. Los alineamientos horizontales compuestos que se estudiaron fueron los siguientes:

- 1.- Curva circular (R)
- 2.- Curva circular con clotoide de enlace (ARA)
- 3.- Curva S Tipo ARA - ARA (SARA) con Tangente de transición

La configuración 3 está formada por la unión de dos casos tipo 1 y/o 2, además de la incorporación de una tangente de transición (T) entre curvas. De este modo, la metodología propuesta resuelve las tres limitaciones de los métodos empleados en la normativa Chilena, señalados en la sección 1.1 de este trabajo.

2.1 Conceptos Preliminares

El mantener la distancia de visibilidad a lo largo de un alineamiento horizontal sinuoso es el objetivo fundamental de la metodología propuesta. Los aspectos fundamentales que deben ser considerados como variables explícitas de cálculo son la distancia de visibilidad, despeje lateral, línea de visibilidad, y obstrucciones puntuales y continuas. Estas variables se definen a continuación.

- **Distancia de Visibilidad de Parada:** Distancia que requiere un conductor para detener su vehículo ante un obstáculo, previsto o no, que se sitúe en el centro de su pista, considerando la altura del objeto y la de los ojos del conductor.
- **Despeje Lateral:** Zona interior adyacente a la pista de circulación libre de obstáculos que obstruyan la visibilidad, que permite a los conductores que enfrentan la curva, disponer de una visibilidad adecuada.
- **Línea de Visibilidad:** La línea imaginaria que une los puntos desde la posición del conductor con el punto que entrega la posición de un vehículo que se aproxima o que está situado en la pista contraria a la de circulación. Esta línea corresponde a la frontera de la zona de despeje lateral.
- **Obstrucción Puntual:** Elemento que interfiere la línea de visibilidad entre el conductor y un objeto, el cual produce que el conductor pierda parcialmente la visibilidad del trazado. por ejemplo, árboles, señalizaciones, postes.
- **Obstrucción Continua:** Elemento paralelo al alineamiento que interfiere la línea de visibilidad entre el conductor y un objeto, el cual produce que el conductor pierda parcial o totalmente la visibilidad del trazado. Por ejemplo, un muro de contención, un talud de corte, un cerco de gran altura.

2.2 Procedimiento de Cálculo

La estimación de la envolvente de despeje lateral requiere principalmente dos cálculos. Uno corresponde al cálculo de la distancia de visibilidad de parada de acuerdo a la geometría del trazado y a la velocidad. El otro, el cálculo de la envolvente de despeje lateral tomando como datos de entrada la geometría del trazado y la distancia de visibilidad de parada determinada en el paso anterior.

Para elaborar las expresiones se utilizó el análisis de Paredes (2003) complementado con los métodos actualmente vigentes en diversas normativas de países desarrollados (CSIR, 2001; Austroads, 2003; AASHTO, 2004; CALTRANS, 2006) y los procedimientos de cálculo de distancia de visibilidad de parada en alineamientos horizontales de Waisi y Cleveland (1987) y Easa (1991). Asimismo, se utilizó la aproximación de la clotoide desarrollada por Taiganidis y Kanellaidis (1999). Sobre ésta base, se construyeron los procedimientos de cálculo que se presentan en las Figuras 1 y 2. En los siguientes apartados se presentan las ecuaciones de cálculo requeridas.

2.2.1 Ecuaciones de Cálculo de Despeje Lateral

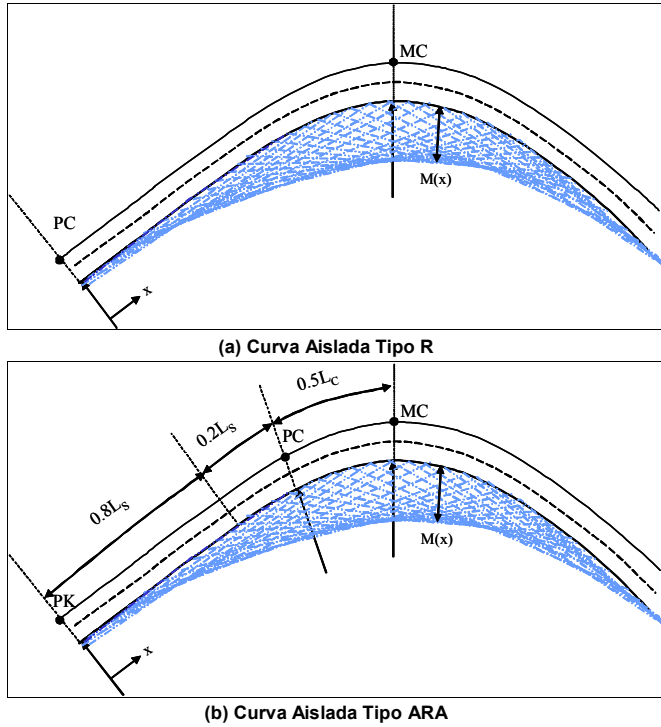


FIGURA 1: Variables de Cálculo de Despeje Lateral en Curvas Aisladas Tipo R y ARA

La ecuación 1 permite calcular el valor del despeje lateral $M(x)$ en cada posición de x en función de la distancia de visibilidad de parada (S), del radio de curvatura (R) y del desarrollo de la curva circular (L_C) para la configuración R. La velocidad de circulación (V) está implícita en la expresión de S .

Puesto que en general las curvas horizontales son simétricas, basta estimar el desarrollo del despeje lateral en un lado y luego replicarlo en el otro para obtener todos los puntos coordenados del despeje lateral.

$$M(x) = \frac{S^2}{4RL_C} x \quad ; \quad 0 \leq x \leq \frac{L_C}{2} \tag{1}$$

La ecuación 2 permite calcular los puntos coordenados de despeje lateral de acuerdo a la distancia de visibilidad de parada, y de la geometría de la curva para la configuración ARA. En esta expresión se incorpora un nuevo parámetro, que corresponde al desarrollo de la clotoide (L_S).

$$M(x) = \begin{cases} \frac{S^2}{12.6RL_S} x & ; \quad 0 \leq x \leq 0.8L_S \\ \frac{S^2}{R} \left[\frac{x}{3.4L_S} - 0.17 \right] & ; \quad 0.8L_S \leq x \leq L_S \\ \frac{S^2}{8R} & ; \quad L_S \leq x \leq L_S + L_C / 2 \end{cases} \tag{2}$$

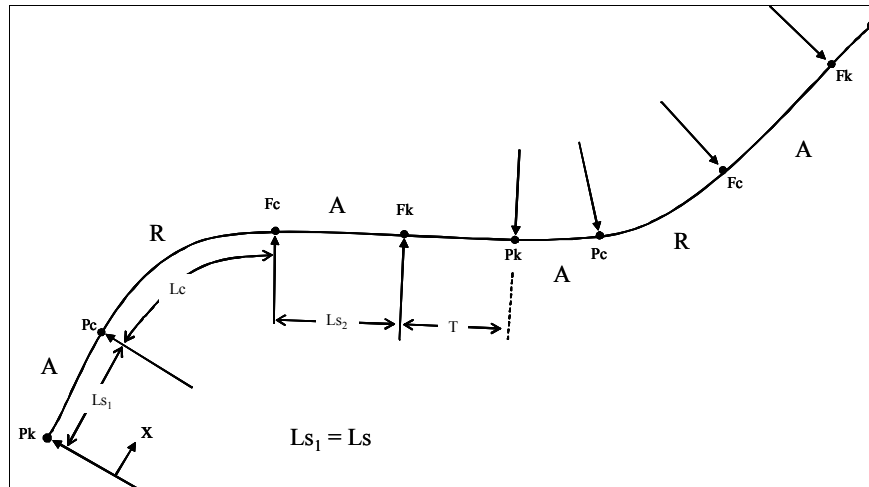


FIGURA 2: Variables de Cálculo de Despeje Lateral en Curvas Compuestas SARA

La expresión 3 se utiliza para la configuración SARA de la Figura 2, seleccionando el valor adecuado de la longitud de la Tangente de enlace (T) y las longitudes de desarrollo de las clotoides de la curva (L_{S1}). La ecuación asume que $L_{S1} = L_{S2}$.

$$M(x) = \begin{cases} \frac{S^2}{12.6RL_{S1}} x & ; \quad 0 \leq x \leq 0.8L_{S1} \\ \frac{S^2}{R} \left[\frac{x}{3.4L_{S1}} - 0.2 \right] & ; \quad 0.8L_{S1} \leq x \leq L_{S1} \\ \frac{S^2}{8R} & ; \quad L_{S1} \leq x \leq L_{S1} + L_C \\ \frac{S^2}{8R} \left[\frac{L_{S1} + L_C - x}{0.4L_{S1}} + 1 \right] & ; \quad L_{S1} + L_C \leq x \leq 1.2L_{S1} + L_C \\ \frac{S^2}{16R} \left[\frac{1.2L_{S1} + L_C - x}{T + 0.8L_{S1}} + 1 \right] & ; \quad 1.2L_{S1} + L_C \leq x \leq L + T + L_{S1} \end{cases} \tag{3}$$

2.2.2 Modelo de Cálculo de Distancia de Visibilidad de Parada

En las ecuaciones 1 a 3 se requiere como parámetro de entrada el valor de S para cada velocidad. Este valor puede obtenerse por diversos métodos, desde las expresiones más sencillas basadas en el modelo de masa puntual (MOP, 2003), hasta modelos más complejos como las expresiones de Lamm et al (1999).

En este trabajo se utilizaron las expresiones de Perret (2003) dado que incorporan una actualización de los parámetros del modelo MOP (2003) al parque vehicular actual basado en mediciones de terreno y un análisis estadístico detallado. Asimismo, incorporar el efecto de deceleración de frenado siguiendo la tendencia de la norma AASHTO (Bonneson, 1999), y la inclusión del parámetro de curvatura para considerar la combinación de curvas horizontales y verticales.

La ecuación 4 muestra el modelo de cálculo de la distancia de visibilidad S en función de la velocidad (V), del tiempo de percepción y reacción (t), parámetro de curvatura vertical (K), deceleración media ($D = 3.4 \text{ m/s}^2$ según AASHTO (2004)) y pendiente longitudinal (i_L).

$$S = \frac{Vt}{3.6} + K \left(\frac{D}{9.81} \pm \frac{i_L}{100} \right) \left(\sqrt{1 + \frac{V^2}{127K \left(\frac{D}{9.81} \pm \frac{i_L}{100} \right)^2} - 1} \right) \quad (4)$$

En el caso en que no exista una curva vertical integrada a una curva horizontal, la expresión 4 queda reducida a la ecuación 5.

$$S = \frac{Vt}{3.6} + 0.039 * \frac{V^2}{\left(D \pm 9.81 * \frac{i_L}{100} \right)} \quad (5)$$

3. CASOS DE ESTUDIO

3.1 Estructura del Análisis

Se estudiaron curvas horizontales existentes localizadas en 3 entornos diferentes en ausencia de curvas verticales, con el propósito de estudiar el comportamiento de la metodología. En la Tabla 1 se muestran las condiciones geométricas de las 3 curvas analizadas. Las velocidades de diseño (V_D) de la Tabla 1 se especificaron en base a los criterios de diseño de MOP (1986) para radios y peraltes superiores a los mínimos.

Adicionalmente, se calculó la velocidad específica (V_E) de cada curva según el procedimiento de MOP (2003). En dicho procedimiento, la velocidad específica se obtiene del equilibrio entre la demanda puntual de fricción y la fricción de diseño. Los valores obtenidos de V_E para cada curva fueron: 87 Km/h para la curva 1, 85 Km/h para la curva 2 y 67 Km/h para la curva y contracurva 3.

TABLA 1: Características Geométricas de las Curvas Analizadas

Curva	Tipo	VD (Km/h)	R1 (m)	R2 (m)	Lc (m)	Ls1 (m)	Ls2 (m)	T (m)
1	R	70	312	0	168.7	0	0	0
2	ARA	70	290	0	73.7	42.5	0	0
3	SARA	50	160	160	100.4	22.5	22.5	0

Para estimar la distribución de probabilidades del radio de la trayectoria se utilizó el resultado de la investigación de D'apuzzo y Festa (2004). Ellos caracterizaron el efecto de la oscilación lateral (*wandering*) a través de una distribución de probabilidades normal. La media de la distancia lateral respecto del borde de pista que encontraron fue de 0.65 m con una desviación estándar de 0.2 m. Con esos valores se aplicó el método de la función inversa para generar 5 mil números aleatorios. En las simulaciones se aplicaron 10 mil realizaciones, lo cual determinó un error de alrededor del 9 % para un nivel de confianza del 95 %. Con dicha distribución de probabilidades de radio se estimó la distribución de velocidad de percentil 85 (V_{85}) mediante la Ec. 6. Esta velocidad representa la velocidad de operación (Echaveguren y Sáez, 2001).

$$V_{85} = 95.08 - \frac{1879.93}{R} \quad (6)$$

En el caso de las curvas compuestas, se utilizó el modelo de Echaveguren y Basualto (2003) para estimar las aceleraciones de entrada y salida en curva y contra curva con lo cual se reevaluó la velocidad de operación en el modelo de Echaveguren y Sáez (2001).

Se construyeron escenarios alternativos para mostrar el efecto de cambios en las variables explicativas del modelo. Se consideraron tres niveles de pendiente longitudinal (+ 4 %, 0 % y - 4 %), un nivel de tangentes (0 m que corresponde al más desfavorable), y tres velocidades: la velocidad de diseño, la velocidad específica y la velocidad de operación. En todos los casos se consideró la distribución de probabilidad del radio para considerar el efecto de oscilación lateral y por tanto la variabilidad de la trayectoria del vehículo.

3.2 Análisis de Resultados

Los resultados de las simulaciones mostraron que el efecto de *wandering* no incide significativamente en el valor de V_{85} . La desviación estándar de V_{85} obtenida no superó el valor de 0.01 Km/h. Asimismo, el valor de despeje lateral obtenido mediante la simulación, arrojó una desviación estándar máxima de 0.02 m. A partir de esto se concluyó que la trayectoria de circulación de los vehículos no produce diferencias significativas en el valor final de despeje lateral, por lo cual basta utilizar el valor medio del radio de trayectoria.

Los resultados obtenidos para todos los escenarios se muestran en las Figuras 3a, 3b y 3c. En las Figuras 3a y 3b se muestra que la velocidad es la variable de mayor incidencia en el valor del despeje lateral. En el ejemplo analizado la diferencia entre velocidades específica y de operación no fue superior a 3 Km/h para la configuraciones R y ARA, lo cual se tradujo en una diferencia entre 7 y 12 % en el valor demandado del despeje lateral.

Por el contrario, al existir una importante diferencia entre la velocidad de diseño y la velocidad de operación (18 y 19 Km/h para las configuraciones R y ARA), también existe una diferencia apreciable en el valor resultante del despeje lateral, que alcanza entre el 47 y 55 %. En todos los casos, estas diferencias aumentan en magnitud en la aproximación al punto medio de las curvas.

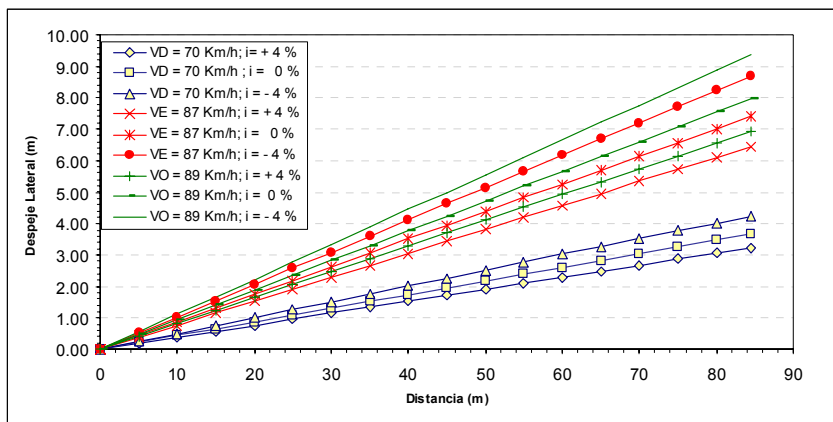


FIGURA 3a: Progresión de Despeje Lateral en Configuración R

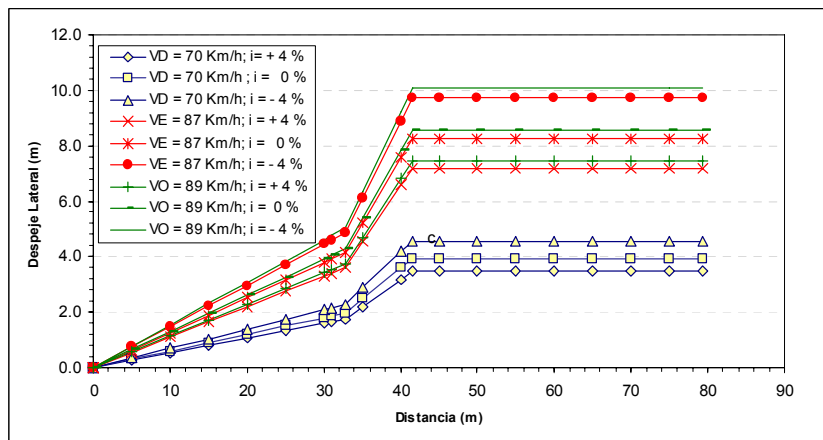


FIGURA 3b: Progresión de Despeje Lateral en Configuración ARA

En la Figura 3c se aprecia que para V_D el efecto de la pendiente longitudinal es poco significativo. Por el contrario, al considerar las velocidades específica y de operación el efecto de

la pendiente se hace mucho más significativo, alcanzando diferencias en la estimación entre el 40 y el 80 %.

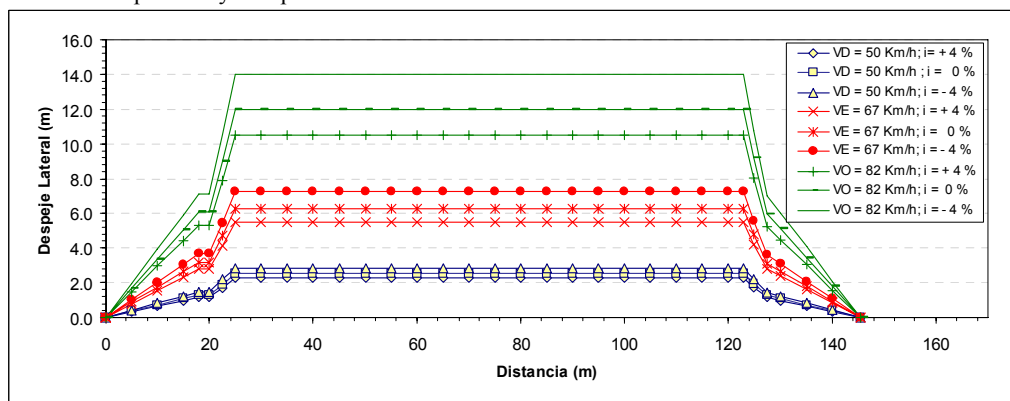


FIGURA 3c: Progresión de Despeje Lateral desde Punto de Referencia hasta Mitad de Curva en Configuración SARA para $T = 0$

Puesto que en los tres casos analizados la conclusión es similar, se puede afirmar que para estimar despeje lateral es más adecuado utilizar la velocidad de operación, lo cual asegura visibilidad de parada en todos los casos analizados. Asimismo, el valor mínimo absoluto de despeje lateral, se recomienda se estime utilizando siempre la velocidad específica.

4. CONCLUSIONES

Se propuso un método práctico para determinar la envolvente de despeje lateral para curvas horizontales. El método complementa y mejora las actuales recomendaciones del manual de carreteras de Chile, dado que además del despeje lateral máximo permite calcular coordenadas de despeje lateral respecto del borde interior de la pista para la materialización de la envolvente en terreno.

De acuerdo a las simulaciones realizadas, el efecto de la pendiente longitudinal se manifiesta con más intensidad en la magnitud del despeje lateral en la medida que las velocidades de operación aumentan: Para velocidades bajas el efecto de la pendiente longitudinal es poco significativo y para velocidades altas es más significativo.

La metodología propuesta no sólo es aplicable al diseño geométrico sino que también al mantenimiento vial. Por un lado permite estimar en cualquier condición cual es el espacio libre de obstáculos que debe proporcionarse en curvas horizontales. Por otro lado, el despeje lateral fijará la localización del pie del talud, lo cual permite determinar, en conjunto con el diseño del talud, cual es el espacio mínimo requerido como franja pública para un trazado sinuoso a fin de garantizar visibilidad de parada.

En la medida que las curvas horizontales posean mayor consistencia en su diseño geométrico (consistencia en el sentido de Lamm), menor será la diferencia de cálculo de despeje lateral producto del uso de la velocidad de diseño. En este sentido, el usar el principio de cálculo de velocidad específica en curvas del actual Manual de Carreteras de Chile, reduce el error de cálculo (no lo elimina), aproximando el despeje lateral provisto hacia el despeje lateral requerido según la velocidad real de operación en las curvas horizontales. Sin embargo, en los casos en que se disponga de espacio se recomienda utilizar siempre el despeje lateral calculado considerando la velocidad de operación y en situaciones excepcionales utilizar la velocidad específica como variable en el cálculo.

REFERENCIAS

- Austroroads (2003) **A Guide to the Geometric Design of Rural Roads**. AP-G1/03. Australia.
- AASHTO (2004) **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**. American Association of State Highway and Transportation Officials, 5th Edition, United States.
- Bonneson, J. (1999) Side Friction and Speed as Controls for Horizontal Curve Design. **Journal of Transportation Engineering**, Volume 125(6), 473 - 480.
- CALTRANS (2006) **Highway Design Manual**. California Department of Transportation. <http://www.dot.ca.gov/hq/oppd/hdm/hdmtoc.htm> [Sitio visitado en octubre de 2006].
- CSIR (2001) **Geometric Design Guidelines**. The South Africa Roads Agency. <http://geometricdesign.csir.co.za>. [Sitio visitado en octubre de 2006].
- Cronjé, W. (1995) Obstructions on horizontal curves: Analysis of exact equation to render the radius explicit. **Transportation Research**, Vol. 29B(2), 99 - 107.
- D'apuzzo, M. y B. Festa (2004) The Evaluation of the Evolution of Road Surface Friction: A Case Study in Naples' District. **Proceedings of 3rd Euroasphalt & Eurobitume Congress**, Book I, 1146-1160, Vienna, 2004.
- Easa, S. (1993) Lateral Clearance to Vision Obstacles on Horizontal Curves. **Transportation Research Record**, Vol. 1303, 22 - 32.
- Echaveguren T y J. Sáez (2001) Estudio de relaciones velocidad geometría horizontal en vías de la VIII Región. **Actas del X Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte**, 341 – 350. 9 al 12 de Octubre, Concepción, Chile.
- Echaveguren, T. y J. Basualto (2003) El análisis de aceleraciones en la consistencia de elementos simples de alineamientos horizontales. **Actas del XI Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte**, 391 – 402. 20 al 24 de Octubre, Santiago, Chile.
- Hassan, Y. Easa, S. y A. Abd El Halim (1995) Sight distance on horizontal alignments with continuous lateral obstructions. **Transportation Research Record**, Vol. 1500, 31 - 42.
- HMSO (1993) **Design Manual for Roads and Bridges. Vol 6: Roads and Geometry**. TD9/93. <http://www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/index.htm> [Sitio visitado en mayo de 2003].
- Lamm, R. Psarianos, B. y T. Mailaender (1999) **Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook**. 1a Edición. McGraw-Hill, New York.
- Lovell, D. Jong, J. y P. Chang (2000) Generating Sight Distance Profiles for Arbitrary Horizontal Alignments with Nonuniform Lateral Clearance. **Proceedings of the 2nd International Symposium on Highway Geometric Design**. June, 14th to 17th, Mainz, Germany, 422 – 433.
- MOP (1986) **Manual de Carreteras Volumen 3, Instrucciones de Diseño**. Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Obras Públicas. Chile.
- MOP (2003) **Manual de Carreteras Volumen 3, Instrucciones y Criterios de Diseño**. Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Obras Públicas. Chile.
- MOPTMA (1999) **Instrucción de Carreteras, Norma 3.1- IC Trazado**. Dirección General de Carreteras. España.
- Paredes, A. (2003) **Visibilidad en Alineamientos Horizontales Compuestos**. Memoria de Título. Patrocinante: Tomás Echaveguren. Facultad de Ingeniería. Universidad de Concepción. Chile.
- Perret, M. (2003) **Estudio de Modelos de Distancia de Visibilidad de Parada**. Memoria de Título. Patrocinante: Tomás Echaveguren. Facultad de Ingeniería. Universidad de Concepción. Chile.
- TAC (1999) **Highway geometric design guide**. Alberta Transportation and Utilities. http://www.infratrans.gov.ab.ca/INFTRA_Content/docType233/Productio n/rds007.htm [Sitio visitado en Septiembre de 2006].
- Taiganidis, I. y G. Kanellaidis (1999) Approximate perspective design of roads. **Journal of Transportation Engineering**, 125(4), 314 - 323.
- TRANZIT (2001) **State Highway Geometric Design Manual the New Zealand**. <http://www.transit.govt.nz>. [Sitio visitado el 10 de agosto 2003].
- Waissi, G.R. y D.E. Cleveland (1987) Sight distance relationships involving horizontal curves. **Transportation Research Record** Vol. 1122, 96 - 107.