

**Proyecto de Carreteras - T 058**  
**EVALUACIÓN DE LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD**  
**DISPONIBLE EN EL PROYECTO DE CAMINOS**  
**RURALES**

**Aníbal L. ALTAMIRA**  
**Alberto B. GRAFFIGNA**  
**Juan E. MARCET**

Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña – Facultad de Ingeniería –  
Universidad Nacional de San Juan.

ARGENTINA

Título

**Evaluación de la distancia de visibilidad disponible en el proyecto de caminos rurales**

Autores

**Aníbal L. Altamira**

**Alberto B. Graffigna (1)**

**Juan E. Marcet**

**Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña – Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de San Juan.**

San Juan - República Argentina.

(1) Ex Profesor e Investigador de la Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña. Fallecido el día 22 de mayo de 2009.

## Resumen

La seguridad de circulación que todo camino debe garantizar con su diseño es un requisito de creciente importancia para la sociedad en su conjunto y para los entes viales en particular. En tal sentido, se valora especialmente que los caminos satisfagan la expectativa de los conductores de circular con seguridad y el mínimo esfuerzo mental.

En general el estudio de esas expectativas del conductor se basa en el análisis de la velocidad de operación a lo largo de un trazado y su posterior comparación con la velocidad de diseño utilizada. La variación de la velocidad de operación a lo largo de un camino está influenciada por el trazado, el ambiente y otros condicionantes particulares del individuo.

La distancia de visibilidad disponible a lo largo del camino es una variable que también afecta las expectativas del conductor y por lo tanto su velocidad de operación. Ella influye en la forma en que el conductor de un vehículo percibe la vía, su entorno inmediato y el tránsito, todo lo cual puede indicar la necesidad de ajustar su velocidad de circulación.

Un conductor debe tener disponible una cierta distancia de visibilidad que sea suficiente para realizar con seguridad las maniobras que él desee: frenar, sobrepasar o decidir respecto un determinado movimiento. Como mínimo cualquier camino debe asegurar al conductor una distancia de visibilidad de frenado suficiente como para detener el vehículo en cualquier punto del mismo ante un obstáculo que se presente frente a él. Además, el proyecto deberá ofrecer suficientes, en número y longitud, tramos de sobrepaso.

En este trabajo se presenta una herramienta que se ha incorporado al sistema de diseño asistido (EICG06) de la Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña que permite apreciar y conocer la distancia de visibilidad disponible en cada punto del eje del camino proyectado. Con ella también es posible identificar para todo punto del trazado el ángulo respecto de la tangente al eje del camino bajo el cual su eje desaparece de la visual del conductor; evaluar la distancia de visibilidad de frenado, la distancia disponible para el sobrepaso y el número de lugares posibles para efectuarlo. Evaluada la visibilidad del proyecto el ingeniero puede actuar en consecuencia, aceptando, modificando o mejorando el diseño del camino elaborado.

## **INTRODUCCIÓN**

La seguridad en la circulación de los vehículos que todo camino debe garantizar con su diseño es un requisito de creciente importancia para la sociedad en su conjunto, como así también para los gobiernos en general y los entes viales en particular. En tal sentido, se valora especialmente que los caminos satisfagan la expectativa de los conductores de circular con seguridad y el mínimo esfuerzo mental.

Conducir un vehículo es esencialmente una tarea de proceso de información y de toma de decisiones. La geometría del camino que tiene ante sí, las condiciones geométricas que imagina que tendrán los próximos tramos a recorrer, y otros factores, tales como las condiciones del tránsito, el estado del tiempo, el ambiente que rodea al vehículo, los dispositivos de control de tránsito, etc., son los datos que el conductor utiliza para poder conducir. Los resultados del análisis de estos datos son las acciones de control que se traducen en las operaciones del vehículo. Estas operaciones se pueden observar y caracterizar mediante medidas sobre el tránsito, como son la velocidad de operación, el retiro lateral, la trayectoria, etc.

Para comprender cómo la geometría del camino influye en la operación del vehículo y la seguridad es preciso entender cómo la carga mental, expectativas y nivel de atención del conductor, afectan el procesamiento de la información que este realiza permanentemente.

### **Carga Mental**

La demanda de procesamiento de información durante la tarea de manejo o conducción de un vehículo se asocia con la carga mental, la que se define como “la tasa de tiempo en que el conductor debe procesar una determinada cantidad de trabajo o tarea de conducción” (Messer et al., 1981). Para reducir la probabilidad de errores de velocidad y/o trayectoria durante la tarea de manejo, la demanda de carga mental no debería ser extremadamente alta como para exceder la capacidad de procesamiento de la información ni extremadamente baja como para inducir a la desatención en los conductores.

Los conductores reparten su capacidad de procesamiento de información destinada a la conducción, entre 3 tareas: control, guía y navegación. La geometría del camino actúa sobre la operación de guiado, es decir, de dirigir el vehículo a una velocidad apropiada a lo largo de la trayectoria definida por el camino.

Los conductores extraen la información desde el ambiente del camino para guiar el vehículo: información pertinente a la trayectoria direccional del camino e información relacionada con la posición relativa del vehículo a la trayectoria. De esta forma los conductores asignan cierta capacidad de procesamiento de información al guiado, en función de sus expectativas de acuerdo al camino que tienen ante sí, acción que le será impuesta sobre la carga mental.

Mientras mayor sea la demanda de carga mental estimada por el conductor, mayor será el nivel de atención que él asigne a esa tarea. La carga mental estimada por un determinado conductor varía en función de las características del vehículo, la velocidad del vehículo, el tránsito, iluminación ambiental, condiciones del tiempo y geometría del camino. Estas estimaciones también varían en función de la habilidad del conductor, expectativas, experiencias y estado fisiológico y psicológico.

Si un conductor subestima la demanda de carga mental en la tarea de guiado puede cometer errores en la adopción de una velocidad apropiada o en el seguimiento de una trayectoria adecuada, lo que posiblemente termine en accidentes.

La demanda de carga mental puede ser subestimada cuando: un conductor inexperto falla al reconocer ciertas características del camino que requieran mayor atención; un conductor experimentado espera una menor carga mental que la requerida; la habilidad en el procesamiento de información esté deteriorada; se distrae la atención del conductor debido a la interrupción de la corriente de información sobre la cual están basadas las proyecciones de la carga mental.

Los conductores administran la carga mental por guiado, en dos sentidos:

1. Aumentando su nivel de atención (asignando mayor capacidad de procesamiento de información) focalizándola en la geometría del camino, particularmente durante la circulación en curva.
2. Reduciendo la velocidad, disminuyendo así la tasa a la que reciben la información y aumentando el tiempo disponible para procesarla.

Ambas acciones requieren que el conductor reconozca la demanda de carga mental impuesta por el camino que tiene ante sí. El preciso reconocimiento se facilita incrementando en la medida de lo posible la **distancia visual** disponible para el conductor.

## **Expectativas**

Los requerimientos de carga mental para procesar la tarea de conducción se incrementan a medida que la complejidad geométrica del camino aumenta, o a medida que el tiempo disponible para procesar una determinada cantidad de información disminuye debido al aumento en la velocidad y/o reducciones en la distancia de visibilidad. Por ello, las variaciones en la distancia de visibilidad que dispone el conductor para frenar, sobrepasar, circular, etc. modifican los requerimientos de carga mental en el conductor, aspecto determinante sobre su comportamiento y sobre sus expectativas.

Las expectativas influyen en el nivel de atención del conductor y, consecuentemente, en la tasa en la que el conductor procesa la información necesaria para desarrollar la tarea de conducción. La expectativa se puede definir como “una inclinación o tendencia a responder en forma adecuada a la situación del camino o tránsito basada en las experiencias previas”. Las expectativas representan las tendencias de los conductores a reaccionar a lo que ellos esperan en vez de lo que efectivamente ofrece la situación de camino o tránsito. (Fitzpatrick et al., 2000).

Las dos formas básicas de expectativas son: a priori y ad hoc. Las primeras son aquellas expectativas que los conductores poseen para la tarea de manejo a partir del registro de sus experiencias previas. Las características geométricas inusuales, de inusuales dimensiones, o características combinadas en forma inusual podrían alterar estas expectativas a priori. Las segundas son expectativas de corto plazo, que los conductores formulan durante un viaje particular sobre un camino particular. Ellas se generan a partir de prácticas sobre sitios específicos y situaciones encontradas en el tránsito. Las características geométricas cuyas dimensiones difieren significativamente de las encontradas inmediatamente antes pueden alterar las expectativas ad hoc.

## **Nivel de atención**

El nivel de atención refiere a la proporción de la capacidad de proceso de información que el conductor asigna a la tarea de manejo. “Los conductores durante el manejo asignan suficiente atención para mantener el nivel de seguridad percibido”.

La mayoría de los caminos rurales poseen una demanda relativamente baja de carga mental por lo que a menudo los conductores prestan niveles de atención relativamente bajos.

Si la distancia de visibilidad para una característica inesperada es adecuada, los conductores deberían tener suficiente tiempo para aumentar su nivel de atención y procesar la información requerida a la tasa necesaria, a fin de seleccionar y completar la apropiada acción de control sobre vehículo. Si la distancia no es adecuada, algunos conductores no serán capaces de procesar la información requerida tan rápido como sea necesario. Aún con amplias distancias de visibilidad, la característica debe ser lo suficientemente reconocible como para provocar la atención en el conductor.

### **Consistencia en el diseño geométrico**

Según la Real Academia Española la consistencia es la coherencia entre los elementos de un conjunto. Desde el punto de vista del diseño geométrico de un camino es la condición bajo la cual éste se encuentra en armonía con las expectativas de los conductores. Un alineamiento consistente es aquel que permite que la mayoría de los conductores conduzcan con seguridad a la velocidad deseada por ellos a lo largo del mismo. Un alineamiento inconsistente podría requerir en la mayoría de los conductores desacelerar desde su velocidad deseada para atravesar con seguridad ciertos elementos del diseño. Las inconsistencias geométricas demandan más atención que la típicamente requerida y, por esto, que lo que esperan los conductores. Las inconsistencias geométricas podrían alterar las expectativas a priori y/o ad hoc. Estas alteraciones resultan en una disparidad entre las expectativas de los conductores y los requerimientos de carga mental real. (Krammes et al., 1995).

Los conductores que reconocen esta disparidad aumentan su nivel de atención y ajustan su velocidad y/o recorrido. Los conductores que no registran la disparidad o quienes toman demasiado tiempo en reaccionar, podrían tomar velocidades y/o recorridos erróneos incrementando la probabilidad de accidentes. Por esto, los cambios abruptos en la velocidad o en el recorrido son manifestaciones comunes de altas y súbitas demandas de carga mental ocasionadas por las inconsistencias geométricas. Mejoras en la consistencia del diseño se logran disminuyendo las variaciones en la velocidad de operación a lo largo del camino y/o disminuyendo estas diferencias con respecto a la velocidad de diseño.

La variación de la velocidad de operación a lo largo de un camino está condicionada por el trazado, el ambiente y otros condicionantes particulares del individuo, tal como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1: Variables que determinan la velocidad de operación.**

Velocidad de Operación	Condicionantes	Variables
	Del trazado	Alineamiento
		Sección transversal
		<b>Visibilidad disponible</b>
		Estabilidad
	Del ambiente	Zonas laterales
		Tránsito
		Clima
		Día/noche
	Del Individuo	Estado de atención
		Carga mental
		Otros

Adaptada de Echaveguren y Sáez, 2001.

Los diversos estudios tratan de relacionar las variables indicadas en la Tabla 1 con la velocidad de operación para elaborar “criterios de consistencia”. Zapata (2005) plantea **correlacionar la influencia de la distancia de visibilidad disponible y la velocidad de operación como criterio de consistencia en el diseño geométrico.**

La distancia de visibilidad disponible a lo largo del camino es una de las variables que también afecta las expectativas del conductor y por lo tanto su velocidad de operación. Ella influye en la forma en que el conductor de un vehículo percibe la vía, su entorno inmediato y el tránsito, y con ello la capacidad de ajustar su velocidad de circulación.

### **EVALUACIÓN DE LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD**

Un conductor debe tener disponible una cierta distancia de visibilidad que sea suficiente como para realizar con seguridad las maniobras que él desee: frenar, sobrepasar o decidir respecto un determinado movimiento. Como mínimo cualquier camino debe ofrecer al conductor una distancia de visibilidad de frenado suficiente como para detener el vehículo en cualquier punto del mismo ante la presencia de un obstáculo inesperado sobre la calzada. Además, un camino de dos trochas debe ofrecer suficientes tramos para realizar el sobrepaso, en número y longitud.



Este trabajo presenta una herramienta informática que permite apreciar y conocer la distancia de visibilidad disponible en cada punto del eje de un proyecto de camino. La misma se ha incorporado al sistema de diseño asistido (EICG06) de la Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña y funciona como un módulo que posibilita evaluar la calidad del alineamiento proyectado, desde los puntos de vista de expectativas del conductor y la consistencia del trazado. (Altamira y Marcet 2008).

El Sistema EICG06 es un software que permite el diseño geométrico asistido por computadora, que ostenta una notable versatilidad para realizar todas las rutinas del proyecto geométrico de un camino, como ser: la modelación tridimensional del terreno, el trazado de caminos de pendiente constante, el análisis de drenaje de los terrenos, la definición pormenorizada de la planimetría del trazado con diversas opciones para proyectar y modificar los elementos rectos y curvos que la constituyen, el proyecto de la rasante con una amplia variedad de posibilidades para optimizarla, la visualización simultánea de elementos de los trazados horizontal y vertical y de los perfiles transversales correspondientes, así como la visualización tridimensional -en perspectiva- del camino proyectado, una de sus prestaciones más originales.

El módulo de visibilidad del sistema que aquí se presenta permite elaborar un perfil de visibilidad disponible considerando la planimetría y la altimetría en forma conjunta, es decir en forma tridimensional, calculando espacialmente la distancia desde el ojo del conductor hasta el punto a partir del cual el eje del camino ya no es visible. Además el sistema determina el ángulo que posee ese segmento “visual” de visibilidad con respecto al eje del camino, según una proyección vertical. Estos cálculos se hacen punto a punto a lo largo del proyecto del camino y se construye un gráfico como el indicado en la Figura 1, para progresivas crecientes, aunque también es posible construirlo para las decrecientes.

### **Lectura y utilización del diagrama de visibilidad**

El diagrama posee tres sectores. El principal en la parte superior se analiza para cada progresiva la visibilidad propiamente dicha, indicando mediante una línea blanca la distancia de visibilidad de frenado DVF y una magenta la distancia de visibilidad de sobrepaso DVS, ambas calculadas según las normas de diseño de Ruhle. Además, con una línea gris se resalta la distancia de visibilidad disponible, es decir, la distancia que media entre la progresiva en cuestión y el punto del eje a partir del cual el camino deja de ser visible, en el sentido de avance en que se realiza el análisis.

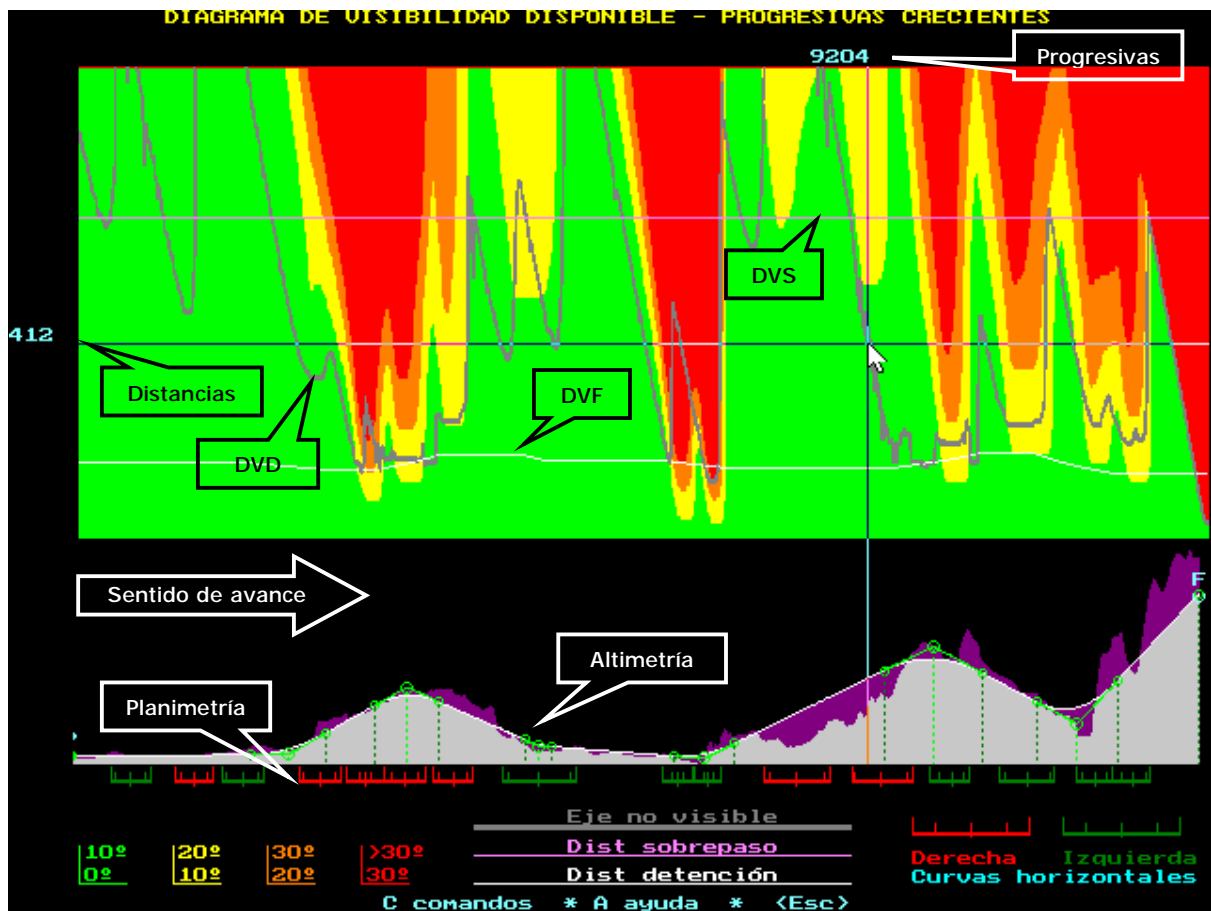


Figura 1: Diagrama de visibilidad disponible. Sistema EICAM.

La parte inferior del diagrama de visibilidad es informativa, en ella se indica el valor de los ángulos de visión del conductor, lo que se explica más adelante, y se hace referencia al color de las líneas de visibilidad y a la planimetría del proyecto. La parte intermedia representa un esquema de la altimetría del proyecto, con indicación de la rasante, las curvas verticales y el perfil del terreno. En ella se aprecian las secciones que están en desmante y las que están en terraplén. También se muestra la planimetría en distintos colores según sean las curvas horizontales a la izquierda o la derecha. La lectura principal del diagrama se realiza sobre la parte superior. La lectura de la parte intermedia permite al proyectista determinar las razones de la visibilidad presentada en tal diagrama.

Desde la parte superior del diagrama se extrae toda la información respecto de la visibilidad del proyecto para cualquier progresiva y hasta la longitud que se desee evaluar. Esta longitud de evaluación la introduce el proyectista, y pueden ser 100, 500, 1.000 ó más metros. En general debería ser lo suficientemente extensa como para cubrir más allá de la distancia de visibilidad de sobrepaso del proyecto.

En abscisas se lee la progresiva, cuyo valor lo indica el diagrama en la parte superior del mismo, y en las ordenadas sobre la izquierda se lee la distancia que existe desde el punto donde se encuentra el observador hasta la distancia de visibilidad de frenado, la distancia de sobrepaso y la distancia de visibilidad disponible o donde el eje del camino desaparece.

*Distancia de visibilidad de frenado DVF*

La DVF se lee posicionando el cursor sobre la línea blanca, en el punto de intersección con la vertical que pasa por la progresiva que se desea evaluar, indicándose la DVF sobre el eje de las ordenadas en la parte izquierda del diagrama. En la Figura N° 2 la DVF en la progresiva 988 es de 160 m. Si además si se observa la altimetría para esa progresiva se puede determinar que la pendiente longitudinal del proyecto es cero, o muy cercano a ese valor. Obsérvese que la DVF se hace menor que 160 m para pendientes ascendentes y mayor para pendientes descendentes, debido al efecto de la pendiente longitudinal sobre la DVF.

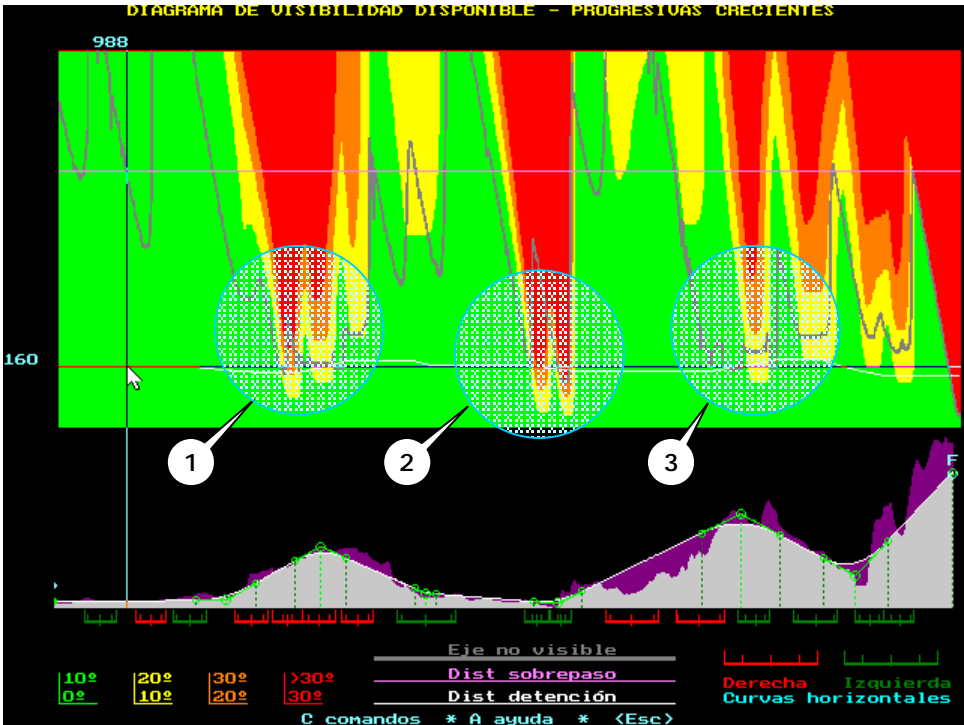


Figura 2: Distancia de visibilidad de frenado. Sistema EICAM.

*Distancia de visibilidad de sobrepaso DVS*

Esta distancia se muestra en el diagrama mediante una línea de color magenta. Esta longitud es constante para todo el proyecto, y para el caso de estos ejemplos vale 680 m.

### Distancia de visibilidad disponible DVD

La DVD se indica en el diagrama con una línea de color gris. De acuerdo con la geometría del proyecto: planimetría - sección transversal – altimetría, el eje del mismo desaparecerá / aparecerá ante los ojos del conductor a distancias variables según sea la progresiva considerada. Esta distancia vale 412 m en la progresiva 9204 según se observa en la Figura N° 1. Los puntos del eje que para esa progresiva están más de los 412 m, el conductor no puede verlos pues hay pérdida del trazado.

Desde el punto de vista de la seguridad, todo proyecto debe asegurar a los conductores una distancia de visibilidad mayor o igual a la de frenado. Bajo este concepto la línea de DVD no puede estar por debajo de la línea DVF. Si se observa la Figura N° 2 existen al menos tres lugares en el ejemplo que se analiza donde sucede esto y por lo tanto el proyecto en esas zonas debería modificarse. Si el proyectista desea determinar las causas que provocan esa disminución en la visibilidad por debajo de la DVF puede observar, en el detalle de la altimetría – planimetría, que bajo esos puntos existen curvas horizontales y/o verticales que podrían ser las causantes. En estos casos el proyectista también puede evaluar las vistas desde el camino que entrega el Sistema con una perspectiva como la que se muestra en la Figura N° 3.

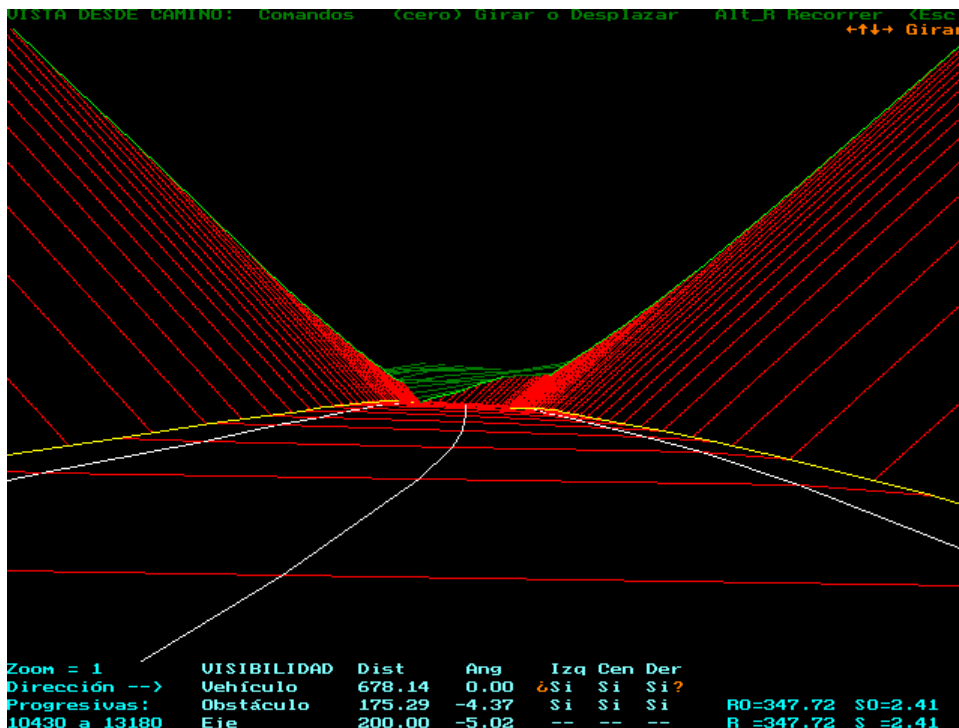


Figura 3: Pérdida del trazado prog. 10430.

En la Figura N° 3 se observa para la progresiva 10430, que la pérdida de trazado se produce pues el conductor se encuentra a la salida de una curva vertical convexa sobre una curva horizontal a la izquierda y sección transversal en desmonte. A partir del análisis de estas causas posibles el proyectista podrá elaborar distintas soluciones para eliminar este defecto.

### *Ángulos de visibilidad*

Las decisiones y acciones del conductor dependen de lo que le transmiten sus sentidos. En orden de importancia, los sentidos más utilizados son:

1. visual (vista)
2. cenestésico (movimientos)
3. vestibular (equilibrio)
4. auditivo (oídos)

La información visual llega al conductor a través de un cierto cono de visión. Sobre él las imágenes se concentran en una pequeña área del ojo cerca del centro de la retina, en donde la percepción visual es más aguda la que, según distintos autores, está dentro de un ángulo central de alrededor de  $3^\circ$ . Para la mayoría de las personas la agudeza visual es razonablemente nítida dentro de un ángulo cónico de hasta  $10^\circ$  y satisfactoria hasta un ángulo de  $20^\circ$ . Más allá de esos límites, la visión de una persona tiende a ser difusa. Un conductor aumenta la cantidad de información visual recibida girando la cabeza y moviendo sus ojos. Es sabido que a medida que la velocidad aumenta el cono de visión clara disminuye pues el centro de atención visual del conductor se concentra y se hace menor.

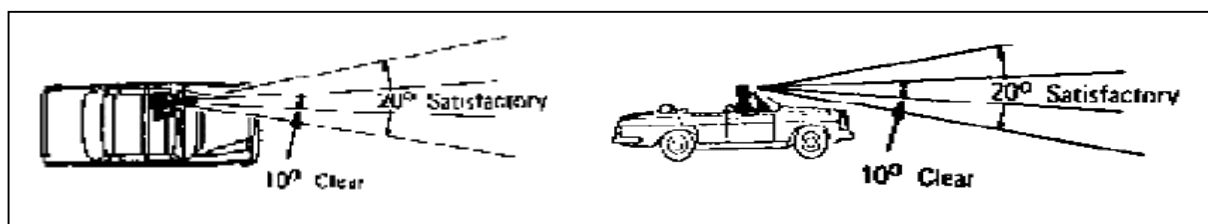


Figura N° 4: Ángulos de visión del conductor.

Para tener en cuenta las características de la visión del conductor el sistema permite considerar tres rangos de ángulos de visibilidad aproximados, como se indican en la Figura N° 5:  $\alpha_1$  para la visión clara ( $< 5^\circ$ ),  $\alpha_2$  para la satisfactoria ( $< 10^\circ$ ) y  $\alpha_3$  para el límite de visibilidad ( $\approx 30^\circ$ ).

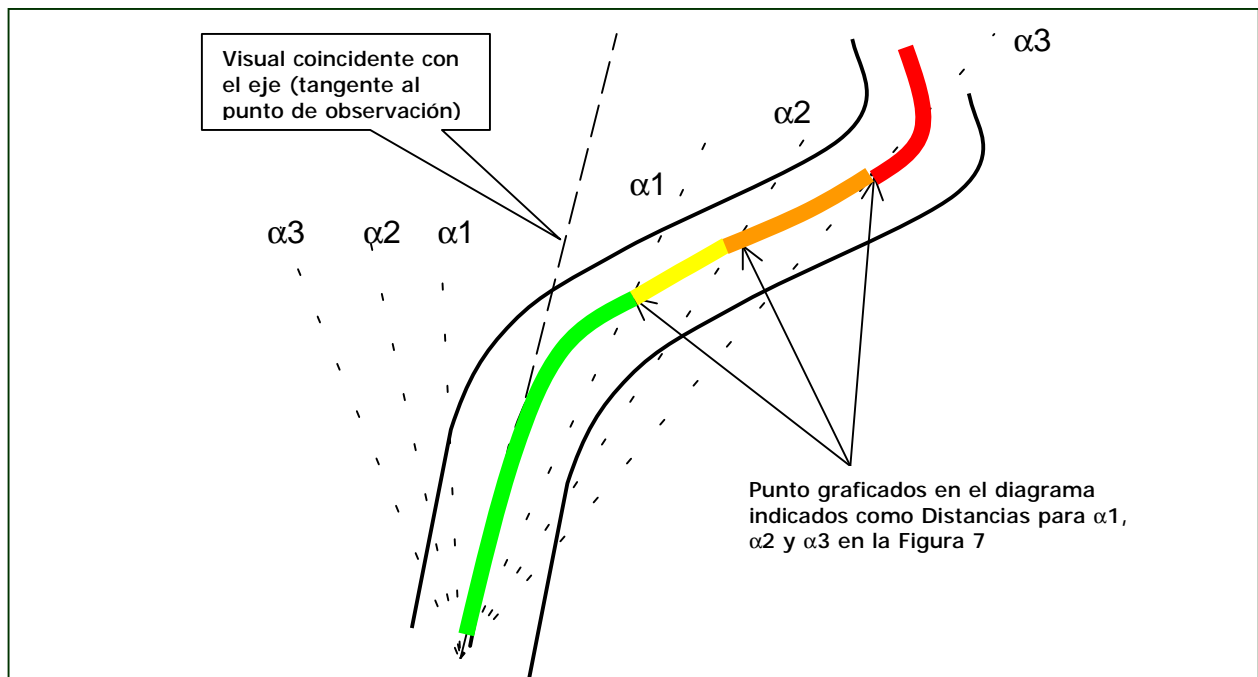


Figura N° 5: Detalle de los ángulos de visibilidad y colores dispuestos en el diagrama.

Los rangos se indican además en diferentes colores: verde para la visión clara, amarillo para la satisfactoria y naranja hasta el límite de visibilidad. Se aplica el color rojo para un ángulo más allá del límite de visibilidad. La indicación de estos ángulos en el diagrama permite al proyectista determinar si el tramo de camino hacia delante está en recta (o aproximadamente en recta) o en curva. Esto se determina observando en qué color, es decir bajo cuál ángulo de visión se ubica el punto de la línea de la DVF, de la DVS o de la DVD. Esta información posee la utilidad que se comenta en el punto siguiente.

#### *Evaluación de la distancia de visibilidad disponible, de frenado y de sobrepaso*

En este apartado se utilizan distintos ejemplos para mostrar la utilización del diagrama de visibilidad. Supóngase en este caso el ejemplo presentado en la Figura N° 6 en donde se desea realizar la evaluación de la visibilidad para la progresiva 2080. A lo largo de la línea vertical que marca el cursor del Mouse, en los puntos  $\bullet$ ,  $f$  y  $\cdot$  se leen los siguientes valores sobre las ordenadas:

- $\bullet$  DVF = 160 m según el proyecto y ángulo visual menor a  $5^\circ$  (zona verde).
- $\cdot$  DVS = 680 m según el proyecto y ángulo visual menor a  $5^\circ$  (zona verde).
- $f$  DVD = 860 m según lo que indica el diagrama y ángulo visual menor a  $5^\circ$  (zona verde).

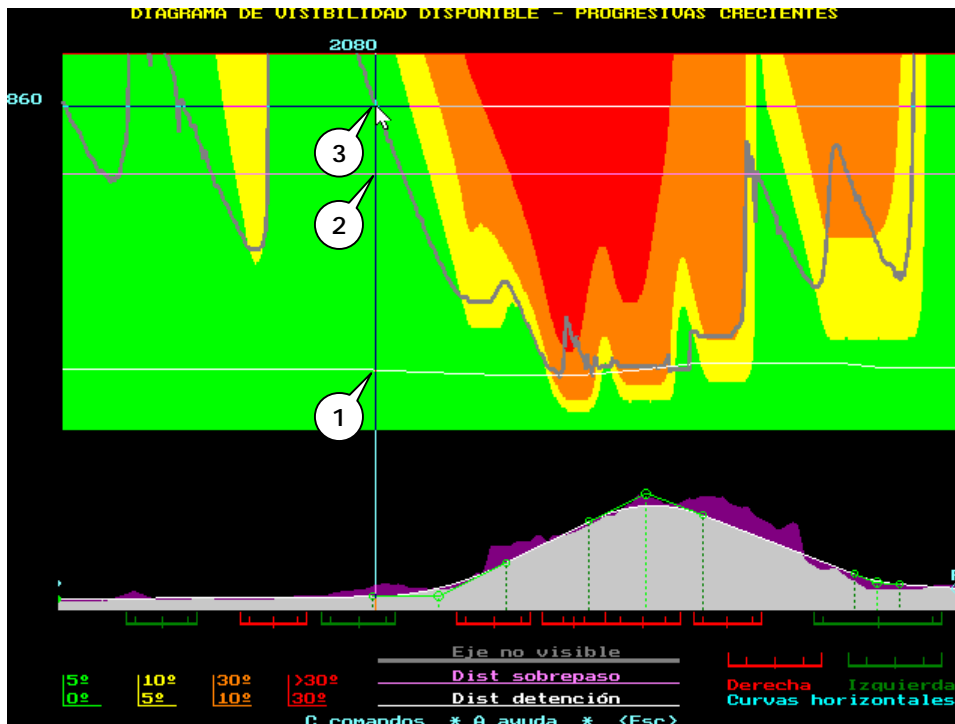


Figura N° 6: Diagrama de visibilidad prog. 2080.

De acuerdo a estos datos se puede concluir para esa progresiva que:

- Un conductor dispone de una visibilidad DVD de 860 m. Como está dentro de una zona verde ( $< 5^\circ$ ), el tramo de camino está en recta, o aproximadamente en recta.
- Como la DVF es menor a la DVD  $\Rightarrow$  Un conductor dispone en ese punto de la distancia de visibilidad mínima requerida para detener su vehículo cuando circula a la velocidad directriz (se satisface la condición de mínima seguridad). Al estar en la zona verde, esta visual se produce en un tramo de camino recto o casi recto ( $< 5^\circ$ ).
- Como la DVS es menor a la DVD  $\Rightarrow$  Un conductor dispone en ese punto de la distancia de visibilidad requerida para sobrepasar. Al estar en la zona verde esta visual se produce en un tramo de camino recto o casi recto ( $< 5^\circ$ ), es decir si el tramo fuese definitivamente recto un conductor podría sobrepasar si tuviera que hacerlo.

Determinar si el tramo de camino es recto o no se puede constatar observando la planimetría – altimetría ubicada en la parte inmediatamente debajo del diagrama de visibilidad. En la planimetría se observa que el vehículo está casi al final de la parte circular de una curva, luego viene la espira y posteriormente la parte recta. Pero también se puede ver que se está ingresando a una curva vertical cóncava. Para que el proyectista concluya finalmente sobre la visibilidad que el camino brinda el sistema propone la perspectiva de la Figura N° 7 para esa progresiva.

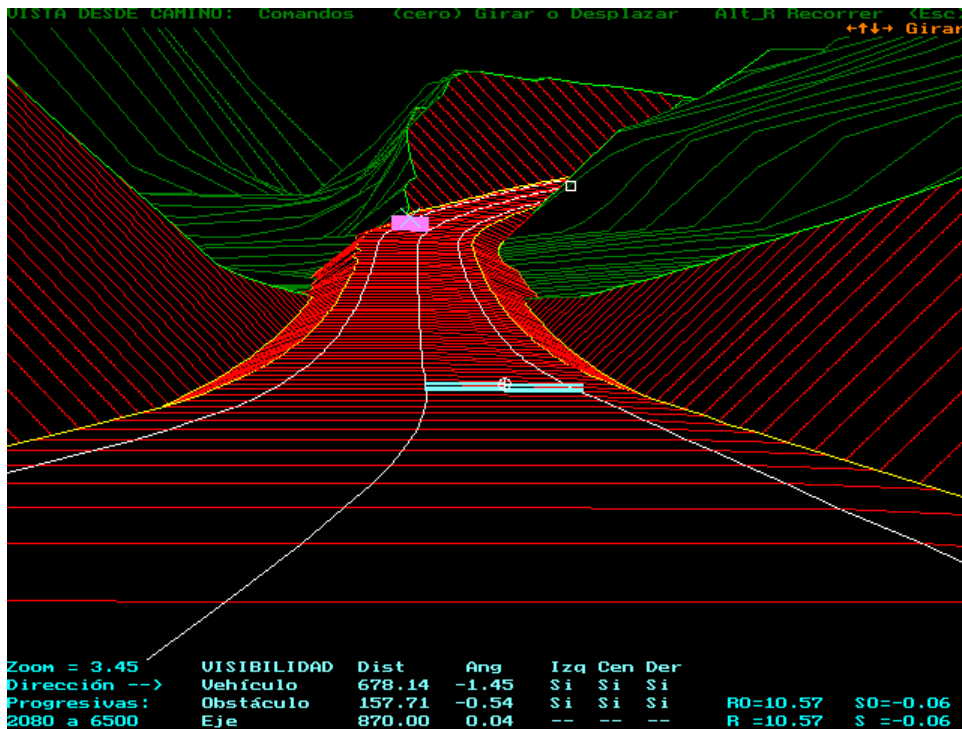


Figura Nº 7: Perspectiva desde la prog. 2080.

En la perspectiva se indican los tres puntos de referencia que muestra el diagrama de visibilidad:

1. En la trocha derecha una barra horizontal de color celeste ubicada a la DVF;
2. En la trocha opuesta una cruz de San Andrés sobre un rectángulo rosado a la DVS; y
3. Sobre el eje un cuadrado de color blanco a la DVD donde desaparece el eje.

Tales distancias con sus ángulos respecto de la tangente al eje se indican también en la perspectiva, en las notaciones de la parte inferior bajo el título “Visibilidad” denominadas “obstáculo”, “vehículo” y “eje”, respectivamente. Además se puede observar que:

- El tramo es recto bajo una curva cóncava.
- El camino es completamente visible más allá de la distancia de sobrepaso.
- La visibilidad también abarca la DVF.
- El camino desaparece hacia la derecha.
- El corte en el terreno natural – contratalud- otorga al conductor “guiado visual” en donde el eje ha dejado de ser visible.



Supóngase ahora el caso de la Figura N° 8 para la progresiva 1268, donde se leen sobre las ordenadas los siguientes valores:

- DVF = 160 m según el proyecto y ángulo visual menor a 5° (zona verde).
- , DVS = 680 m según el proyecto y ángulo visual entre a 5° y 10° (zona amarilla).
- f DVD = 476 m según lo que indica el diagrama y ángulo visual de 5° (límite entre zona verde y zona amarilla).

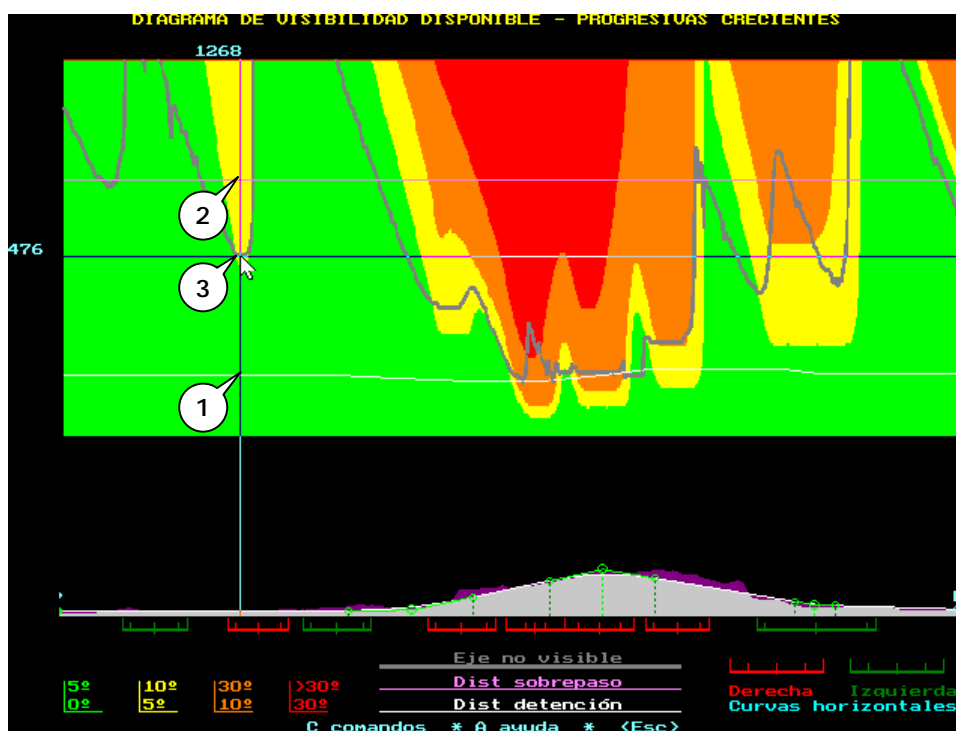


Figura N° 8: Diagrama de visibilidad prog. 1268.

De acuerdo con esos valores se puede concluir para la prog. 1268 que:

- Un conductor dispone de una visibilidad DVD de 476 m. Esta visual está bajo un ángulo de 5°, límite entre la zona verde y la amarilla. El tramo está en una curva.
- Como la DVF es menor a la DVD  $\Rightarrow$  Un conductor dispone de la distancia de visibilidad mínima para detener su vehículo cuando circula a la velocidad directriz. Al estar en la zona verde esta visual se produce en un tramo recto o casi recto ( $< 5^\circ$ ).
- Como la DVS es mayor a la DVD  $\Rightarrow$  Un conductor no tiene disponible una distancia de visibilidad como para sobrepasar. Si se observa la planimetría se aprecia que el vehículo ingresa a una curva a la derecha.

La perspectiva en esa progresiva se muestra en la Figura N° 9 en donde se aprecian los tres puntos de referencia y además:

- El tramo es curvo, no se puede sobrepasar.
- El eje del camino desaparece antes de la distancia de sobrepaso.
- Hay visibilidad para el frenado.
- El camino desaparece hacia la derecha, aunque luego reaparecer.
- Hay pérdida del trazado pero también existe guiado visual que ayuda a interpretar cómo discurre el camino.

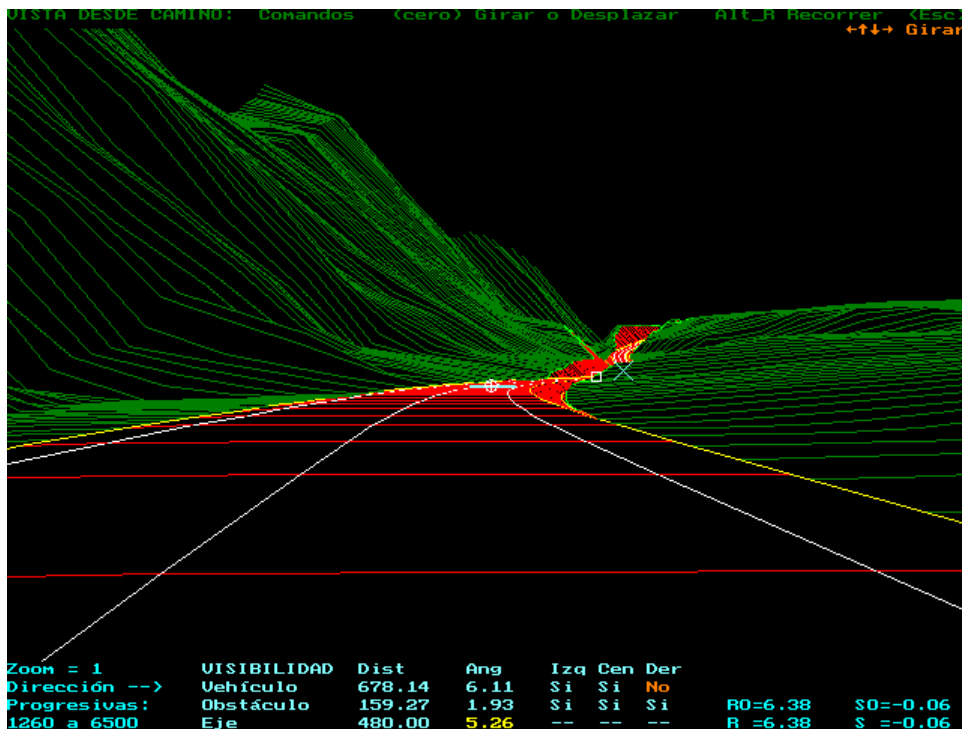


Figura Nº 9: Perspectiva desde la prog. 1260.

Véase el caso La Figura Nº 10 presenta el caso de la progresiva 5135, donde se leen los valores:

- DVF = 160 m según el proyecto y ángulo menor a 5° (zona verde).
- , DVS = 680 m según el proyecto y ángulo entre a 10° y 30° (zona naranja).
- $f$  DVD = 756 m y ángulo entre a 10° y 30° (zona naranja).

De acuerdo a esto se puede concluir para esa sección que:

- a) Un conductor dispone de una visibilidad DVD de 756 m. Esta visual está bajo un ángulo mayor a 10° (zona naranja). El tramo está en una curva pronunciada.

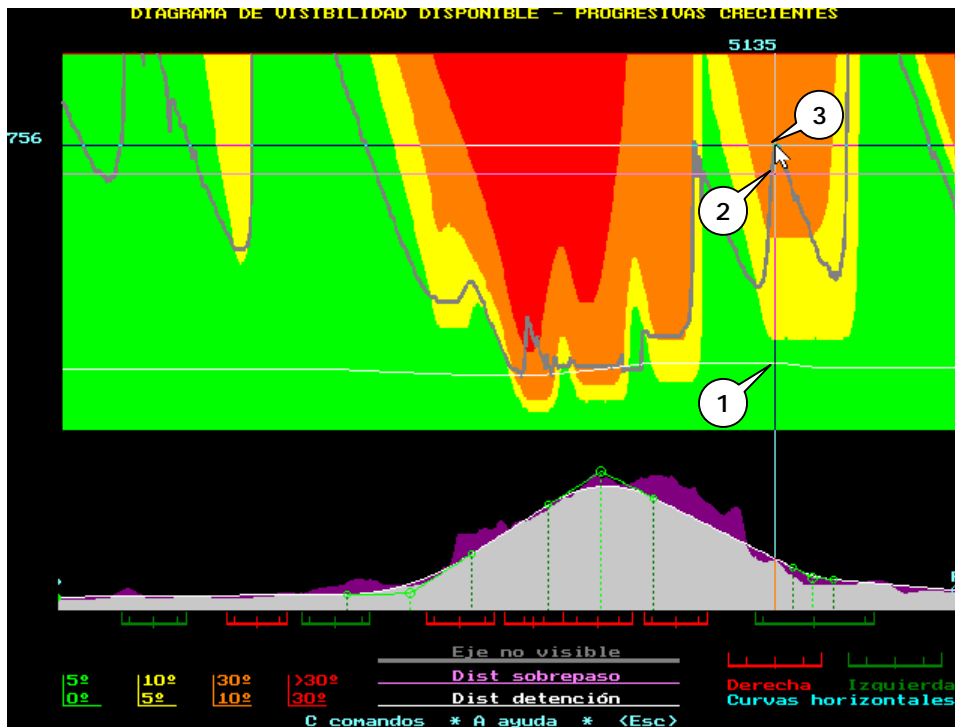


Figura N° 10: Diagrama de visibilidad prog. 5135.

- b) Como la DVF es menor a la DVD  $\Rightarrow$  Un conductor dispone de la distancia de visibilidad requerida para detener su vehículo cuando circula a la velocidad directriz. Como además está en la zona verde está en un tramo recto o casi recto ( $< 5^\circ$ ).
- c) Como la DVS es menor a la DVD  $\Rightarrow$  Un conductor posee disponible una distancia de visibilidad mayor a la requerida para sobrepasar. Pero en este caso se encuentra en la zona naranja, es decir en curva pronunciada, por lo tanto un conductor no podría sobrepasar. La planimetría indica que el vehículo se encuentra ingresando a una curva horizontal a la izquierda.

La perspectiva en esa progresiva se muestra en la Figura N° 11, en donde:

- El tramo es curvo pronunciado a la izquierda.
- El camino desaparece hacia la izquierda.
- El eje del camino desaparece después de la distancia de sobrepaso.
- Hay visibilidad hasta la distancia de frenado.

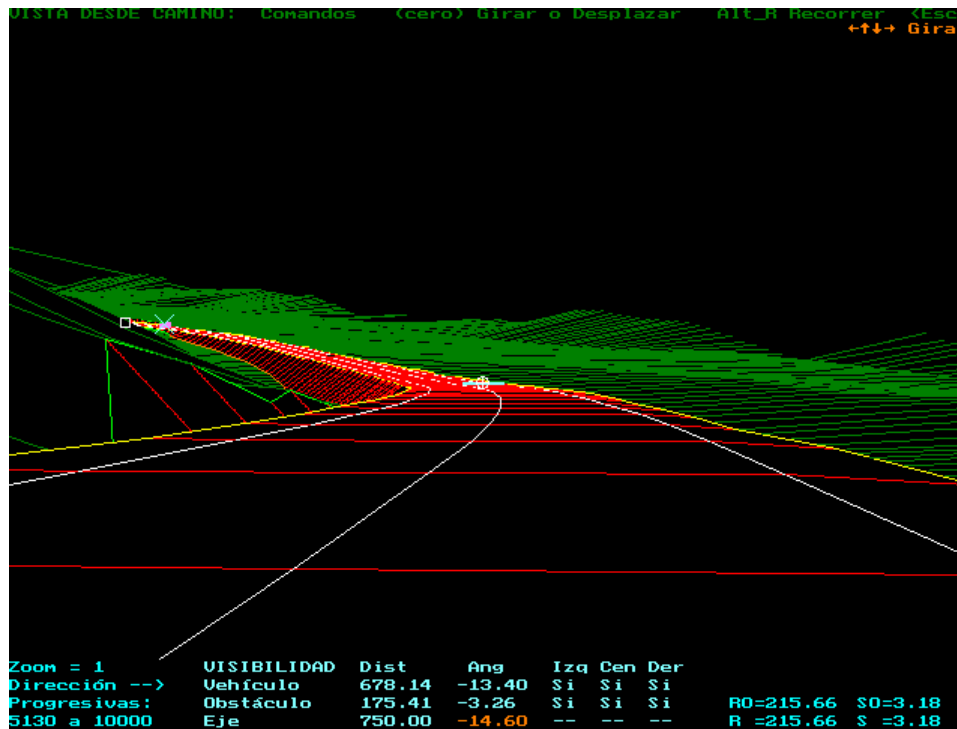


Figura N° 11: Perspectiva desde la prog. 5130.

#### *Evaluación de la distancia disponible con visibilidad de sobrepaso*

Según se ha visto, en el diagrama de visibilidad se puede evaluar para cada progresiva la distancia de visibilidad disponible, de frenado y de sobrepaso y en forma aproximada el ángulo de la visual respecto del eje del camino hacia donde se cada una de estas se producen. También es posible determinar dónde se produce una pérdida del trazado y cómo discurre el camino hacia delante, si hay elementos de guiado visual.

Desde el diagrama de visibilidad igualmente es posible calcular a lo largo de qué longitud se tiene disponible la distancia de visibilidad de sobrepaso. Obsérvese el diagrama de la Figura N° 12: en ella se observan seis lugares posibles para sobrepasar pues la DVD es mayor que la DVS. No obstante hay que verificar si esa longitud es en recta. La Tabla N° 1 indica el detalle de cálculo para cada uno de los casos enumerados en la figura N° 12.

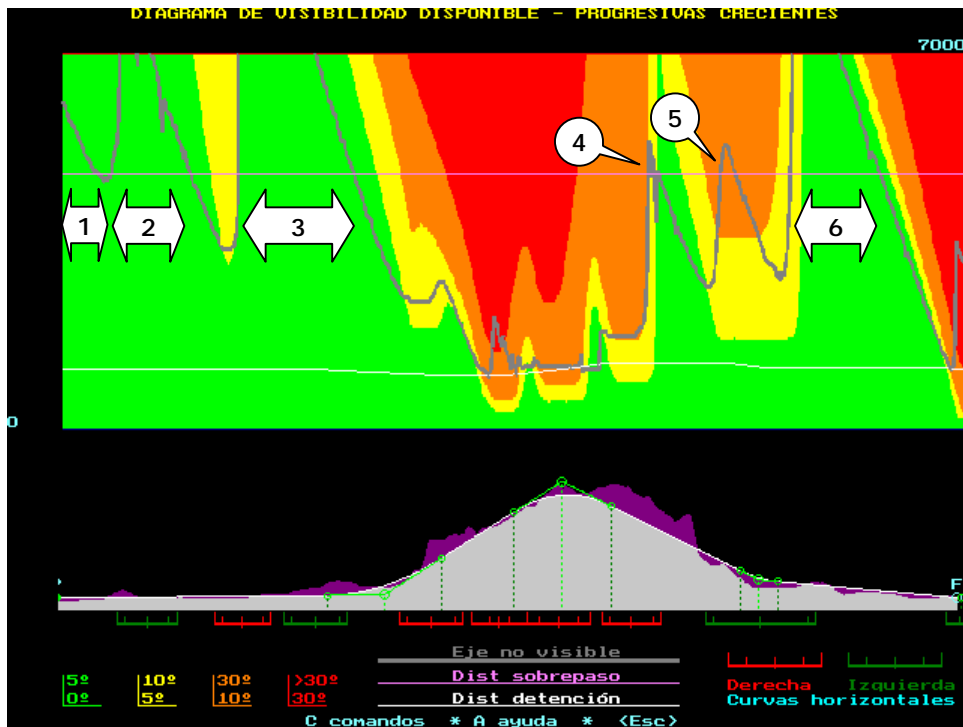


Figura Nº 12: Diagrama de visibilidad tramo prog. 0,00 – 7.000,00.

Tabla Nº 1: Determinación de la longitud con sobrepaso posible.

Lugar	Prog. Inicial	Prog. Final	Zona	Longitud con sobrepaso disponible	Tramo
1	0	268	Verde	268 m	Verificar si es recto
2	373	980	Verde	607 m	Verificar si es recto
3	1353	2252	Verde	899 m	Verificar si es recto
4	4550	4590	Amarilla	40 m	Curvo
5	5110	5215	Naranja	105 m	Curvo
6	5647	6340	Verde	693 m	Verificar si es recto

La longitud disponible para sobrepasar se determina por diferencia, entre las progresivas inicial y final, determinadas en el gráfico de visibilidad, para los lugares en donde la DVD sea mayor que la DVS. Para decidir si es posible sobrepasar en esa longitud es necesario verificar que el tramo esté en recta.

## CONCLUSIONES

### *La visualización tridimensional del proyecto.*

El sistema EICG06 aquí comentado posee, como se ha expresado, un módulo especial que proporciona las vistas en perspectiva del proyecto, desde la posición del conductor (o desde cualquier otro punto del espacio), para cualquier progresiva del alineamiento.

Esta prestación fue durante muchos años una capacidad largamente esperada por los tratadistas de diseño geométrico de caminos, ya que se adjudicaba a la dificultad de imaginar o dibujar artesanalmente las perspectivas del proyecto elaborado la escasa atención que recibían aspectos importantes del diseño como la apariencia y continuidad visual del alineamiento, la coordinación planialtimétrica y la consistencia o coherencia del trazado.

La mera inspección visual de las perspectivas del proyecto elaborado que posibilita este módulo de vistas del proyecto, es ya una herramienta formidable para pulir y mejorar los diseños en los aspectos mencionados. El proyectista puede por esta vía anticiparse a las sensaciones visuales que el camino terminado le provocará al conductor cuando efectivamente lo recorra; el proyectista experimenta anticipadamente y en “carne propia” cualquier configuración geométrica que será fuente de pobre apariencia, incertidumbre, equívocos o excesiva carga mental en el proceso real de conducción.

### *La determinación de las distancias de visibilidad.*

El proceso de identificación de los tramos de un proyecto que ofrecen suficiente distancia para el sobrepaso, por ejemplo, requiere que se analicen separadamente la planta y la altimetría, y luego se combinen para seleccionar los sectores que garantizan esa distancia tanto en planta como en alzado. En el módulo que se acaba de presentar, esa determinación se hace simultáneamente, porque se apoya en la capacidad del sistema de representar el diseño en forma espacial, y en la consideración conjunta de la planimetría, la rasante y la configuración de los sectores contiguos a la calzada que pueden afectar la visibilidad, como los contrataludes de desmonte.

La posibilidad de examinar las distancias de visibilidad que informa el sistema está asegurada por la inmediata observación de la vista tridimensional del proyecto desde la progresiva analizada, lo que enriquece la evaluación que desee hacer el proyectista.

Por otro lado, la capacidad del sistema de informarle en todo momento al proyectista – mediante una convención de colores - la magnitud del ángulo bajo el cual deja de ser visible el eje del camino para una progresiva dada, es un elemento útil para juzgar, en forma indirecta, la carga mental que solicitará al conductor en su proceso de conducción. Un camino con elevada sinuosidad, en donde el conductor debe girar frecuentemente su cabeza – no ya sus ojos - para identificar el punto donde se pierde el trazado, es un camino que obliga prestar una atención muy importante a quien lo recorre. Por el contrario, cuando el eje del camino deja de ser visible para ángulos pequeños, el conductor tomará nota de esos cambios sin mayor esfuerzo, ya que sus ojos se moverán dentro de un estrecho cono visual de “visión descansada”. Ese camino seguramente proporcionará abundantes distancias de sobrepaso, ya que las curvaturas del mismo serán suficientemente generosas.

## **TAREAS FUTURAS**

La herramienta que aquí se ha presentado es susceptible de aprovechamientos ulteriores que se encuentran en vías de desarrollo. Así como en la literatura técnica existen índices que califican la calidad de un diseño geométrico según sea la variación de cambio de dirección o curvatura ( $^{\circ}/\text{km}$ ) acumulada para una dada longitud de camino, o que evalúan la consistencia de su diseño según la magnitud de las variaciones de velocidad de operación a lo largo del mismo, de modo similar se está buscando encontrar la forma de utilizar la distancia de visibilidad disponible (DVD) para calificar la bondad de un trazado. Se parte de una equivalencia esencial: los tramos rectilíneos o suavemente curvos de un trazado alientan la adopción de velocidades de operación elevadas, que pueden superar largamente la velocidad de diseño del camino. La intercalación - sin mayores transiciones – de curvas muy restrictivas obliga al conductor a ajustar fuertemente su velocidad de recorrido, contrariando sensiblemente sus expectativas. De la misma manera, si un trazado ofrece distancias de visibilidad disponibles (DVD) generosas, el ingreso – sin mayores transiciones - a un sector contiguo que exhiba DVD apenas superiores a las de frenado (DVF) obligará a cambios repentinos y por lo tanto potencialmente peligrosos tanto de la velocidad de operación como de la carga mental ocupada en el proceso de conducción. Se está procurando encontrar índices o calificadores que cumplan – para la distancia de visibilidad disponible - roles similares a los utilizados en el análisis de los perfiles de velocidad de operación.

## RECONOCIMIENTOS

El trabajo que aquí se presenta muestra parte de los resultados de un proyecto de investigación realizado en la Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña de Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan, Argentina, acreditado y financiado por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la universidad. Integrantes del proyecto: Altamira, A. L., Marcet, J. E., Graffigna, A. B., Porres, C. A., Ruiz, M. E Gómez, A. M., Ortiz Andino, J. C., y Demartini, A. D. E. A.

## BIBLIOGRAFÍA

Altamira, A. L. y Marcet, J. E. **Aplicabilidad del sistema EICG05 a la evaluación de la consistencia y la coordinación planialtimétrica del diseño geométrico de caminos rurales. Informe Final. 2008.** Proyectos de Investigación y Creación 211/ 556. Programación 2006-2007. Universidad Nacional de San Juan. Argentina.

Altamira, A. L., Graffigna, A. B., Marcet, J. E. **Herramienta para la Evaluación del Diseño Geométrico de Caminos Rurales.** “I Congreso Ibero-Americano de Seguridad Vial”. 28 al 30 de mayo de 2008. San José. Costa Rica.

Altamira, A. L., Marcet, J. E., Graffigna, A. B. **Evaluación de la Consistencia del Diseño Geométrico de Caminos.** Seminario 2009 de la Ingeniería Civil. 20 al 24 de abril de 2009. Dpto. de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de San Juan.

Echaveguren Navarro, T. y Saez Cardenas, J. 2001. **Indicadores de consistencia en el diseño geométrico de carreteras.** Xº Congreso de Ingeniería de Transportes. Octubre de 2001. Concepción. Chile pp 315 – 327.

Fitzpatrick, K., Elefteriadou, L., Harwood, D. W., Collins, J. M., McFadden, J., Anderson, I. B., Krammes, R. A., Irizarry, N., Parma, K. D., Bauer, K. M. y Passetti, K. **Speed Prediction For Two-Lane Rural Highways. Department of Transportation.** Federal Highway Administration. FHWA-RD-99-171. 2000. Washington D.C., USA.



Krammes, R A., Brackett, R. Q., Shafer, M. A., Ottesen, J. L., Anderson, I. B., Fink, K. L., Collins, K. M., Pendleton, O. J., y Messer, C. J. **Horizontal Alignment Design Consistency for Rural Two-Lane Highways**. Publicación N° FHWA – RD – 94 – 034. January 1995.

Messer, C. J., Mounce, J. M. y Brackett. **Highway Geometric Design Consistency Related to Driver Expectancy**. Reports N° FHWA/RD-81/035/036/037. Washington, DC: Federal Highway Administration. 1981.

Rulhe, F. O. G. 1967. **Normas de Diseño Geométrico de Caminos Rurales**. Dirección Nacional de Vialidad, Dirección General de Estudios y Proyectos, Trazado y Obras Básicas. Argentina

Zapata Iturra, J. 2005. **Proposición de un criterio de consistencia basado en la visibilidad**. Informe de memoria de título para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 163 pp.