

HERRAMIENTA PARA LA EVALUACIÓN DEL DISEÑO GEOMÉTRICO 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. Profesor Adjunto. San Juan - República Argentina - Av. Libertador San Martín 1109 (oeste) – CP 5400 – Tel/fax 54 – 264 – 427 2439/ 422 8666. altamira@eicam.unsj.edu.ar

RESUMEN

El diseño del eje de un camino se realiza casi siempre resolviendo primero su ubicación planimétrica y luego la altimétrica, algunas veces con escasa relación entre ambas. En tales casos, muy probablemente la línea espacial resultante presentará diversos defectos denominados genéricamente “de coordinación planialtimétrica” cuyas consecuencias pueden ser diversas, como ser: pobre guiado visual, pérdidas de trazado, etc., y con posibles derivaciones adversas sobre la seguridad de la conducción.

La consistencia en el diseño geométrico de un camino se refiere a conformar su geometría de acuerdo con las expectativas del conductor. Una inconsistencia en el diseño puede describirse como una característica geométrica, o combinación de ellas, con rasgos inusuales que los conductores pueden abordar de manera insegura. Esta situación puede llevar a errores en la selección de la velocidad o inapropiadas maniobras de manejo que pueden provocar accidentes. Existen métodos de evaluación de la consistencia del diseño basados en la velocidad de operación de los vehículos, las características del camino o la carga mental del conductor.

La herramienta que se presenta en este trabajo permite evaluar el diseño geométrico de un camino utilizando vistas tridimensionales del proyecto, la distancia de visibilidad disponible y el perfil de velocidad de operación estimado a partir de las ecuaciones consideradas por la Federal Highway Administration de los EEUU de Norte América. La tarea de evaluación indicada se potencia dado que el sistema también permite realizar el proyecto geométrico completo del camino, por lo que diseño y evaluación se realizan bajo un mismo programa, lo que asegura un gran dinamismo y flexibilidad, pudiendo pasar del diseño a la evaluación y viceversa tantas veces como sea necesario, hasta lograr el diseño más adecuado.

PALABRAS CLAVE: diseño, consistencia, software.

1. INTRODUCCIÓN

La seguridad en la circulación de los vehículos que debe garantizar toda carretera 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 las expectativas del conductor de circular con seguridad y con el mínimo esfuerzo mental. De igual modo, los valores paisajísticos o de estética vial que realzan la funcionalidad de un camino, y que a veces lo transforman en un atractivo turístico y social en sí mismo, son también cualidades cada vez más apreciadas en el diseño de este tipo de obras.

Para atender el primer requerimiento se han desarrollado los “criterios de consistencia” en el diseño, que persiguen que la geometría del camino no presente sorpresas al conductor que puedan poner en riesgo la seguridad de la circulación. Para lo segundo existen las pautas de “coordinación planialtimétrica”, que recomiendan que el eje de un camino se defina con una meditada concatenación de los elementos curvos y rectos que lo componen y con una conciencia clara de su relación con el entorno inmediato.

Los criterios y pautas anteriores no están incorporados en general como criterios de evaluación sistematizados en los diversos programas de diseño geométrico de caminos asistidos por computadora. Es decir, las evaluaciones de los proyectos no se realizan dentro del mismo sistema de diseño que dio origen al proyecto sino que se hacen fuera de él.

La Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña realiza actividades de transferencia de tecnología, desarrollo de software y docencia de posgrado en el área vial, siendo uno de sus resultados más importantes en el área de Trazados y Evaluación de Proyectos el Sistema EICG05, de diseño geométrico asistido por computadora. Este sistema es usado en diversas agencias viales estatales, por consultoras privadas y como elemento didáctico en distintas universidades.

En el trabajo que aquí se presenta se muestra una serie de módulos y herramientas que se han incorporado al sistema EICG05 para que el proyectista pueda evaluar, dentro del mismo sistema, la calidad de su diseño controlando la visibilidad disponible que ofrece el proyecto, el perfil de velocidades de operación estimado o la coordinación que se produce entre planta y alzado, entre otros exámenes.

Cabe aclarar que en este trabajo no se exhiben criterios de consistencia o de coordinación planialtimétrica específicos sino que se han elaborado unas herramientas generales aplicables a proyectos de caminos sobre las que se pueden realizar tales evaluaciones de consistencia o coordinación, aplicando los criterios que desee el proyectista de acuerdo a su juicio y/o conocimiento. Por lo tanto no se insiste en aspectos teóricos o conceptuales relacionados con la consistencia o la coordinación, sino más bien en la herramienta en sí.

2. EL SISTEMA EIG05

El Sistema EICG05 es un software para 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; etc. Una de sus prestaciones más originales es la visualización tridimensional -en perspectiva- del camino proyectado. Esta es una de las opciones del sistema sobre la que se ha trabajado para adaptar y explotar al máximo en este trabajo. Las Figuras 1, 2 y 3 muestran distintas vistas del sistema EICAM.

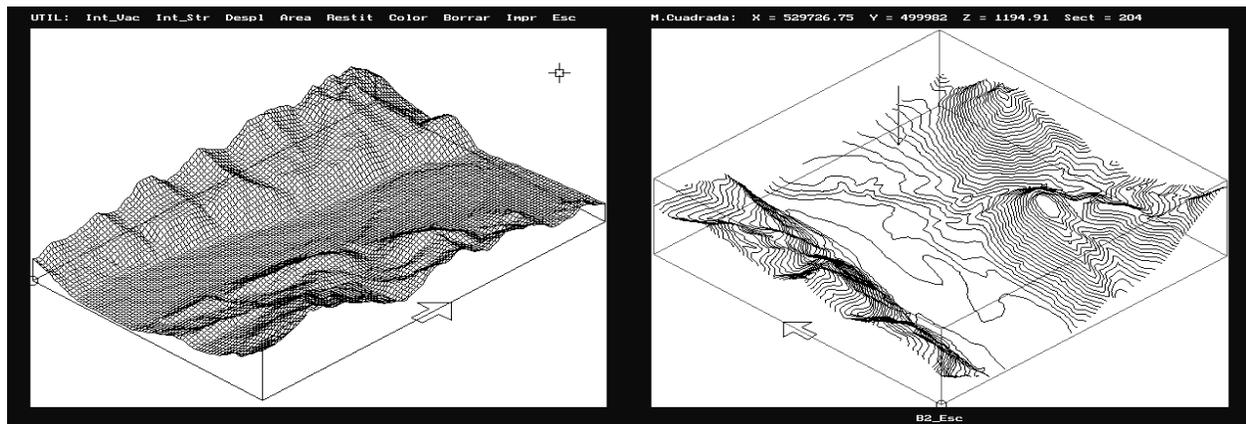


Figura 1: Vistas sistema EICAM – Modelación Digital.

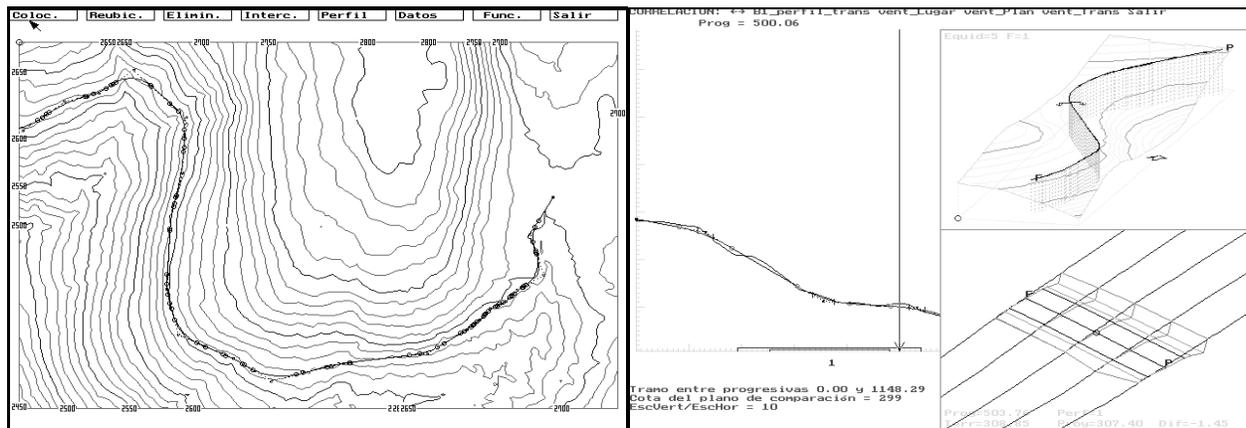


Figura 2: Vistas sistema EICAM – Diseño Planimétrico - Altimétrico.

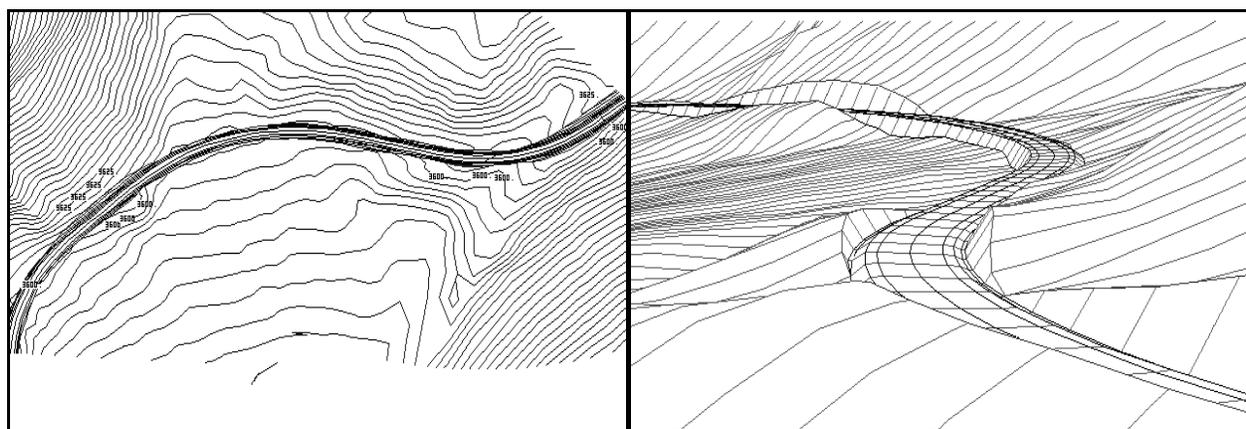


Figura 3: Vistas sistema EICAM – Proyecto terminado en planta y perspectiva 3D.

3. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA EN EL DISEÑO DE CAMINOS

El diseño geométrico de caminos se genera a partir de la adopción de una serie de factores que influyen en él y a partir de los cuales se desprenden todas las características geométricas visibles del proyecto final. Entre esos factores se tiene a la velocidad directriz o de diseño, la que es seleccionada en función de la topografía y del volumen de tránsito que recorrerá el camino cuando se termine su construcción.

Esta metodología aplicada al diseño geométrico, que emplea la velocidad directriz como variable que determina el valor de casi todas las demás características geométricas, adopta como hipótesis que todos los elementos que componen el trazado serán seguros si se transitan a dicha velocidad directriz (o de diseño) como máximo. También se funda en el supuesto que la probabilidad de que el conductor exceda la velocidad directriz es suficientemente pequeña. La observación empírica ha evidenciado que existen diferencias entre la velocidad directriz y la de operación o circulación real de los vehículos. A las diferencias notorias de velocidades de circulación que permiten elementos contiguos de un sector de camino se las denomina "inconsistencias" en el diseño geométrico de caminos. Estas evidencias empíricas han generado la realización de diferentes investigaciones para elaborar herramientas que permitan evaluar el trazado en términos de esas diferencias de velocidad.

La literatura técnica internacional se estructura según dos tendencias al momento de analizar la consistencia en el diseño geométrico: El "enfoque de la velocidad" y el "enfoque de las expectativas" (Echaveguren y Sáez, 2001). Ambas poseen el principio común de lograr una relación armónica entre el conjunto conductor/vehículo, la vía y el entorno inmediato a ella. El enfoque de la velocidad asume la hipótesis de que conductor y vehículo constituyen una unidad y que por lo tanto no existen distorsiones en el proceso de percepción - decisión - acción que se realiza en forma continua durante el proceso de conducción.

El enfoque de las expectativas busca mejorar la consistencia incrementando las expectativas que posee el conductor de manera de minimizar las posibilidades de error durante la conducción. En general el planteo del enfoque de las expectativas se basa en el estudio de la velocidad de operación a lo largo del trazado y evaluar la diferencia que se produce con la velocidad de diseño. La variación de la velocidad de operación (VOP) 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. Los diversos estudios de consistencia tratan de relacionar las variables indicadas en la Tabla 1 con la VOP al momento de elaborar los “criterios de consistencia”.

Tabla 1: Variables que determinan la velocidad de operación.

	Condicionantes	Variables	Condición
Velocidad de Operación (VOP)	Trazado	<ul style="list-style-type: none"> • Alineamiento • Sección transversal • Visibilidad disponible • Estabilidad 	Exógenos
	Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Zonas laterales • Tránsito • Clima • Día/noche 	
	Individuales	<ul style="list-style-type: none"> • Estado de atención • Carga mental • Otros 	Endógenos

(Echaveguren y Sáez, 2001)

Según distintos estudios el mejor estimador de VOP es el percentil 85 de la velocidad, que es la velocidad bajo la cual circula el 85% de los conductores. Considerando VOP en cada punto del camino es posible construir un “perfil de velocidad de operación”, es decir un diagrama velocidad de operación – distancia, donde se podrán apreciar

aqueellos lugares que puedan comprometer la seguridad en el trazado. El análisis del perfil de la velocidad VOP constituye el método más común para evaluar la consistencia. En este trabajo se utiliza un perfil de velocidad elaborado a partir de las ecuaciones de Fitzpatrick et al. 2000, que se indican en la Tabla 2.

Tabla 2: Ecuaciones para estimar la velocidad en automóviles.

	Condiciones de alineamiento	Ecuación
1	Curva Horizontal sobre pendiente (-9% < i < -4%)	$V_{85} = 102,10 - \frac{3077.13}{R}$
2	Curva Horizontal sobre pendiente (-4% < i < 0%)	$V_{85} = 105,98 - \frac{3709.90}{R}$
3	Curva Horizontal sobre pendiente (0% < i < 4%)	$V_{85} = 104.82 - \frac{3574.51}{R}$
4	Curva Horizontal sobre pendiente (4% < i < 9%)	$V_{85} = 96.61 - \frac{2752.19}{R}$
5	Curva Horizontal combinada con curvas cóncavas (sag)	$V_{85} = 105.32 - \frac{3438.19}{R}$
6	Curva Horizontal combinada con curvas convexas sin limitación de visibilidad	(nota 1)
7	Curva Horizontal combinada con curvas convexas con limitación de visibilidad (K ≤ 43 m / %)	$V_{85} = 103.24 - \frac{3576.51}{R}$; (nota 2)
8	Curva vertical cóncava sobre recta horizontal	V ₈₅ se asume como la velocidad deseada
9	Curva vertical convexa con distancia de visibilidad no limitada (K > 43 m / %) sobre recta horizontal	V ₈₅ se asume como la velocidad deseada
10	Curva vertical convexa con distancia de visibilidad limitada (K ≤ 43 m / %) sobre recta horizontal	$V_{85} = 105.08 - \frac{149.69}{K}$

V₈₅: percentil 85 de velocidad de automóviles (km/h)

R: radio de curva (m)

K: tasa de curvatura vertical (%)

i: pendiente (%)

Nota 1: usa la menor velocidad estimada con las ecuaciones 1 ó 2 (para pendientes descendentes) y 3 ó 4 (para pendientes ascendentes).

Nota 2: además, comparar con la velocidad estimada con las ecuaciones 1 ó 2 (para pendientes descendentes) y 3 ó 4 (para pendientes ascendentes) y usar la menor. Esto asegurará que la velocidad estimada a lo largo de curvas combinadas no será mejor que si solo la curva horizontal esta presente.

(Es decir, la inclusión de una curva convexa con visibilidad limitada resulte en una mayor velocidad).

(Fitzpatrick et al., 2000)

Los datos de velocidad utilizados para desarrollar esas ecuaciones fueron recogidos sobre 200 sitios de caminos rurales de dos trochas en los EEUU. Si bien existen algunos estudios internacionales similares donde se han desarrollado ecuaciones del mismo tipo, se seleccionaron éstas pues este estudio es el más completo encontrado en la bibliografía analizada y el que abarca mayor cantidad de casos particulares.

El sistema EICAM ha incorporado un módulo, denominado EICVVC (de Visualización, Visibilidad, Consistencia) que permite construir el Diagrama para el análisis de consistencia a partir de los datos del proyecto del camino realizado. El diagrama se indica en la Figura 4 para el caso de progresivas crecientes.

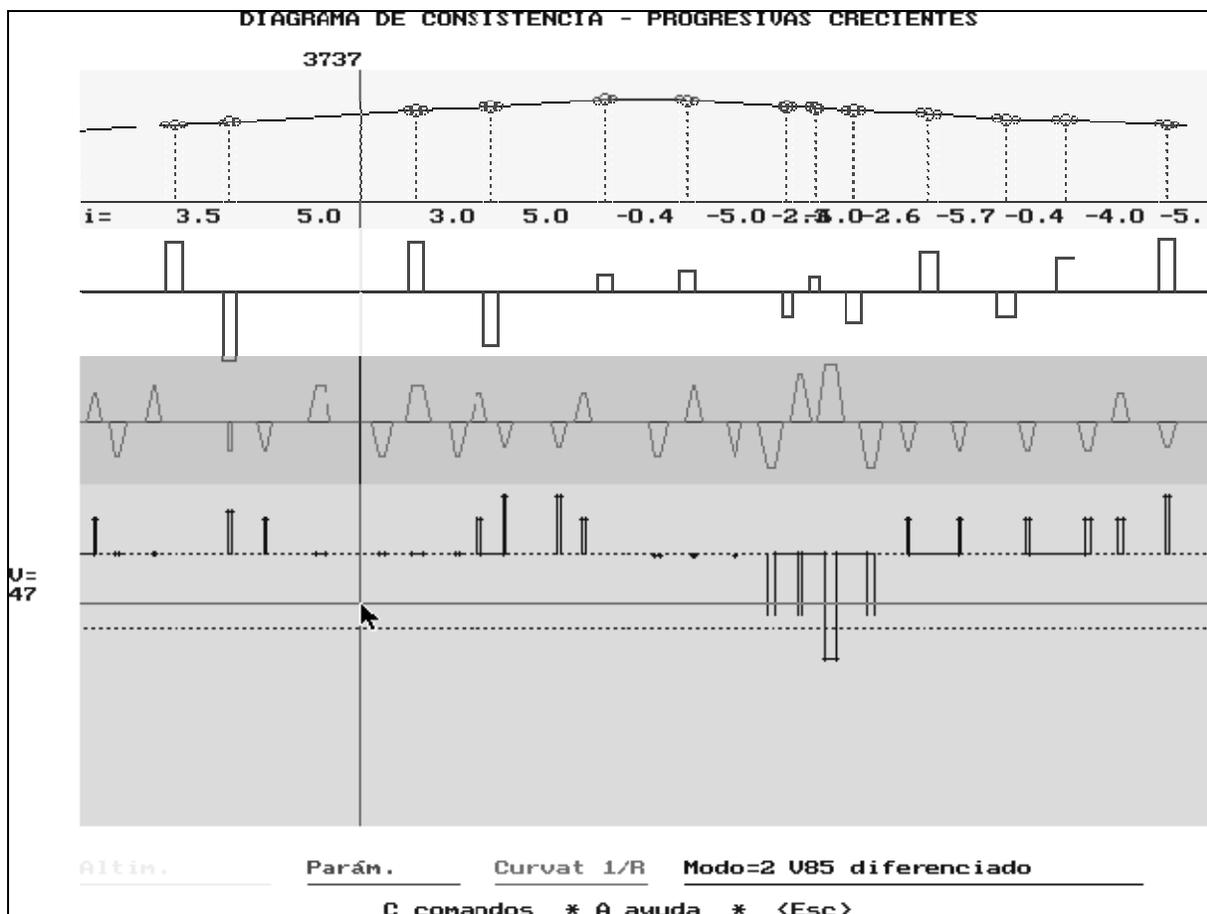


Figura 4: Diagrama de consistencia – progresivas crecientes.

El diagrama de consistencia se presenta para el tramo solicitado, que puede ser requerido en forma total o parcial, en forma gráfica o indicando numéricamente las progresivas inicial y final. El diagrama posee cuatro áreas, identificadas con distintos colores, donde se representan las diferentes características del proyecto de camino y también la velocidad de operación. Al desplazar el Mouse sobre el área del gráfico, en abscisa se indica la progresiva del tramo que se está evaluando y, según sea la posición vertical dentro del gráfico, puede mostrar los siguientes datos, según se hace referencia en la Figura 5.

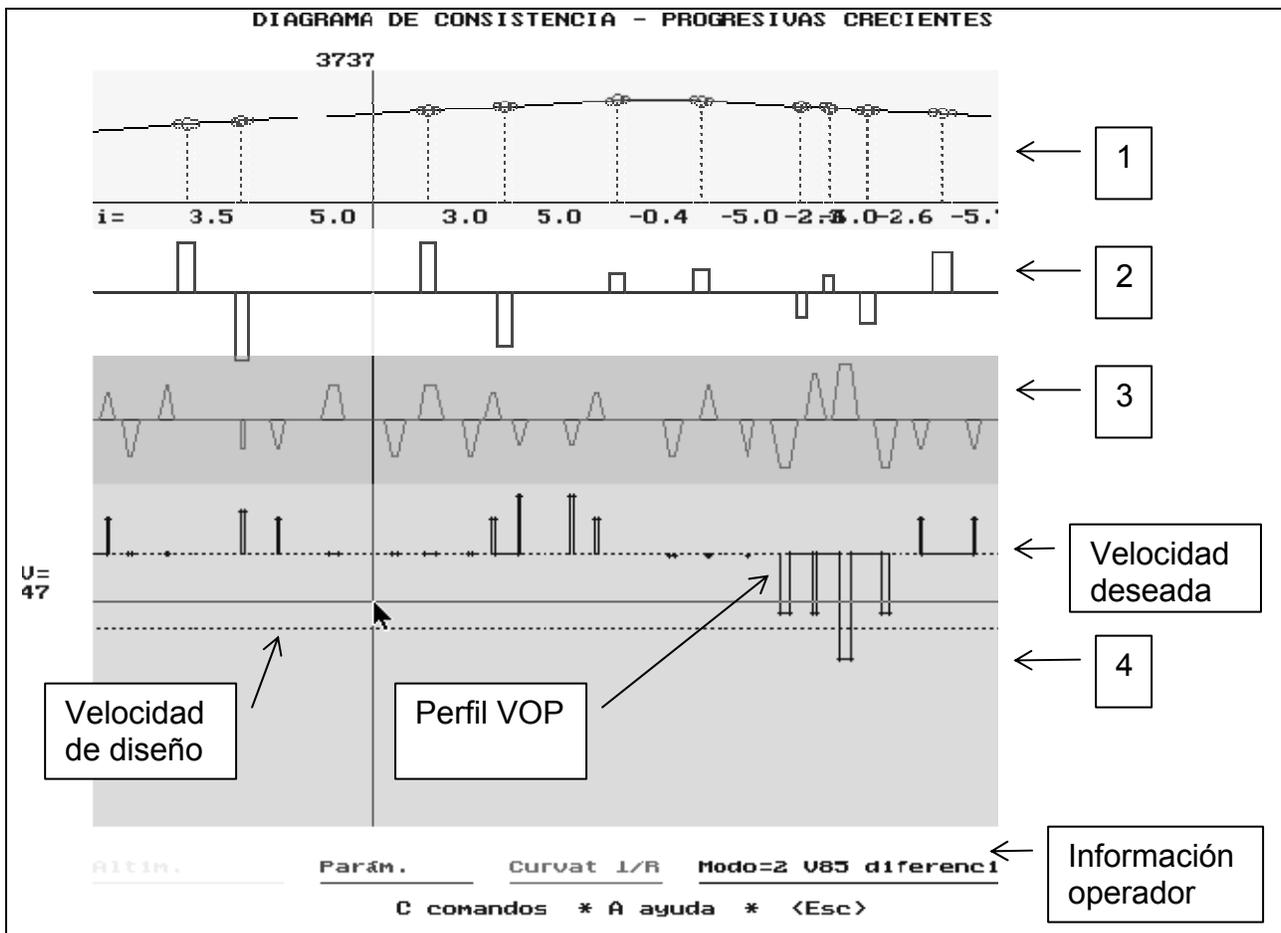


Figura 5: Diagrama de consistencia – referencias.

Parte 1: En ese sector se muestra la poligonal altimetría del proyecto, con indicación de los vértices, los tramos rectos, el principio, centro y fin de cada una de las curvas verticales que están contenidas en el tramo representado. Sobre la parte inferior de esta parte se indica el valor de la pendiente longitudinal, en porcentaje, con el signo +/- según sea ascendente o descendente, de acuerdo al sentido de izquierda a derecha. El Mouse sobre esa parte mostrará en ordenadas la cota como $Z = xxxx$

Parte 2: En ella se muestra el valor del parámetro de las curvas verticales, a contar desde el principio y fin de cada curva vertical. El valor que se indica es $K = \text{parámetro}/100$, +/- según la curva sea convexa o cóncava, por encima o por debajo del nivel de referencia.

Parte 3: En esa se muestra la planimetría a través de un diagrama de curvatura. Las curvas izquierdas en la parte superior y las curvas derechas en la inferior respecto de la línea de referencia.

Parte 4: En ella se representa el perfil de velocidades de operación. Esta parte del gráfico muestra como origen del gráfico la velocidad deseada que ha sido seleccionada, la velocidad de diseño o directriz que fue utilizada para elaborar el proyecto y el valor de la velocidad de operación. La posición del Mouse indica sobre las ordenadas la velocidad de operación en ese punto. Con este gráfico y los de las partes superiores se basa el proyectista para realizar el análisis de consistencia y proponer sus mejoras al proyecto de acuerdo a los criterios de evaluación de la consistencia.

4. DISTANCIA DE VISIBILIDAD DISPONIBLE

Como se muestra en la Tabla 1, la visibilidad disponible es también una variable que afecta la velocidad de operación. Ella influye en la forma en que el conductor de un vehículo percibe el tránsito, la vía y su entorno inmediato durante el proceso de conducción. El 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 sobre un determinado movimiento.

La literatura internacional ofrece una serie de modelos que permiten calcular la distancia de visibilidad requerida en cada caso. 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. Si se grafican la distancia de visibilidad disponible y la requerida en cada caso, el proyectista vial puede evaluar la diferencia entre la visibilidad disponible y la requerida según la maniobra en cualquier punto de su camino diseñado, con el fin de corregir y/o modificar su proyecto. Además, si se logra correlacionar la influencia de la distancia de visibilidad disponible y la velocidad de operación, es posible proponer un criterio de consistencia, como el presentado por Zapata (2005).

El sistema EICAM elabora un perfil de visibilidad disponible considerando la planimetría y la altimetría en forma conjunta. Éste calcula automáticamente el punto a partir del cual el eje del camino ya no es visible y determina espacialmente esa distancia y el ángulo que posee ese segmento de visibilidad con respecto al eje del camino según una proyección vertical. La Figura 6 se muestra una salida del sistema del diagrama de visibilidad disponible. En la Figura 7 se indican las referencias del diagrama que se divide en 3 partes y que se detallan a continuación.

En la parte superior está el diagrama de visibilidad disponible propiamente dicho. Esta parte representa para una equidistancia de 10 m, las distancias de visibilidad de frenado y sobrepaso, calculadas según las normas de diseño para Argentina (Rulhe, 1967), la distancia de visibilidad disponible y las correspondientes a la intersección del eje del camino con tres pares de planos verticales, ubicados simétricamente un ángulo α a cada lado del plano vertical que contiene el eje del camino. La parte intermedia representa un esquema de la altimetría del proyecto, con indicación de la poligonal y las curvas verticales, y la del terreno. También se muestra en distintos colores, según sean izquierda o derecha, la ubicación de las curvas horizontales. La parte inferior es informativa, en ella se indican el valor de los ángulos α los que representan el cono de visión clara y periférica del conductor, la referencia al color de las líneas que

corresponden a las distancias de visibilidad de sobrepaso, la distancia de visibilidad de frenado y la distancia de visibilidad disponible, y la referencia a las curvas horizontales del proyecto.

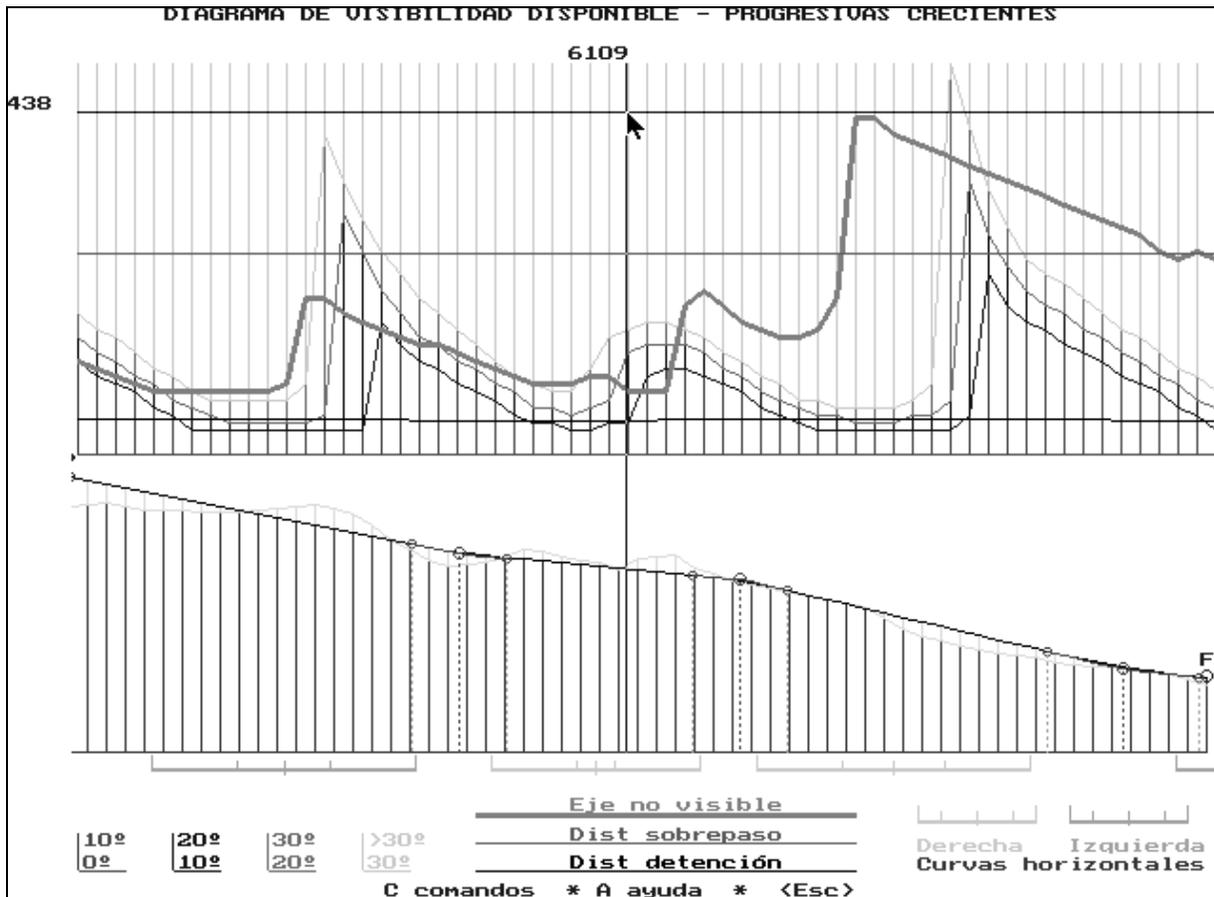


Figura 6: Diagrama de visibilidad disponible.

Lo que está por encima de la línea de visibilidad disponible, el conductor no puede verlo pues hay pérdida del trazado. En todo punto del camino la línea de visibilidad disponible tiene que estar por encima de la de frenado. Es condición deseable que también este por encima de la de sobrepaso pero, por las curvas, esto no sucede a menudo, entonces hay que tratar que existan suficientes lugares para el sobrepaso a lo largo del proyecto.

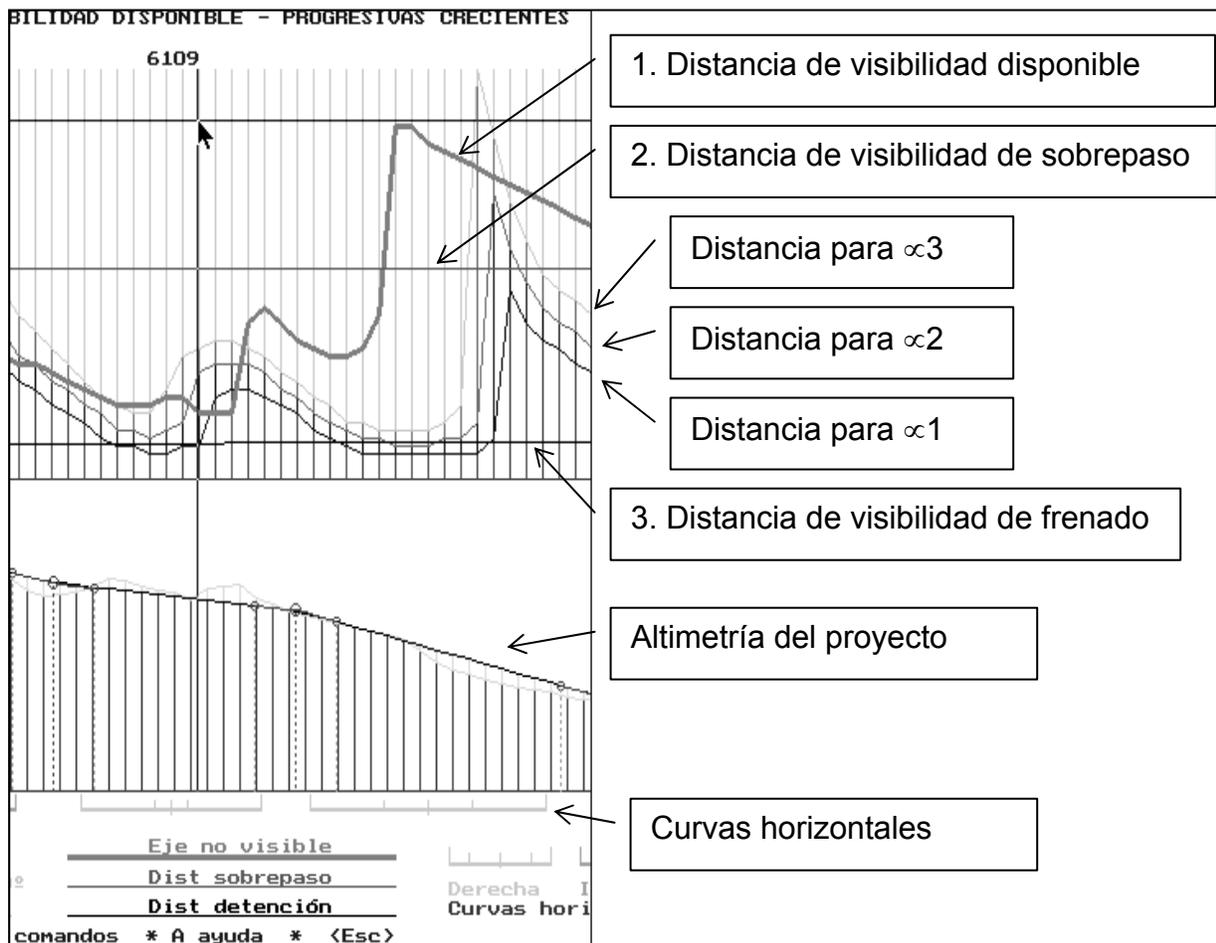


Figura 7: Diagrama de visibilidad disponible - referencias.

Si un punto del eje está en recta o en curva se determina observando dónde se ubica ese punto del eje respecto de las líneas para las distancias α_1 , α_2 y α_3 indicadas en el gráfico de la Figura 6 y explicados en la Figura 7 y en la Figura 8. Además se puede evaluar la distancia de visibilidad disponible y en forma aproximada el ángulo respecto del eje del camino en el punto de observación a partir del cual se produce la pérdida del trazado. La longitud disponible para sobrepasar se puede evaluar en el gráfico determinando la diferencia que existe entre las progresivas desde donde la distancia de visibilidad disponible supera a la de sobrepaso hasta que la disponible pasa a ser menor que la de sobrepaso. No obstante esta longitud debe estar ubicada en tramo recto dada la prohibición común de sobrepasar en tramo curvo.

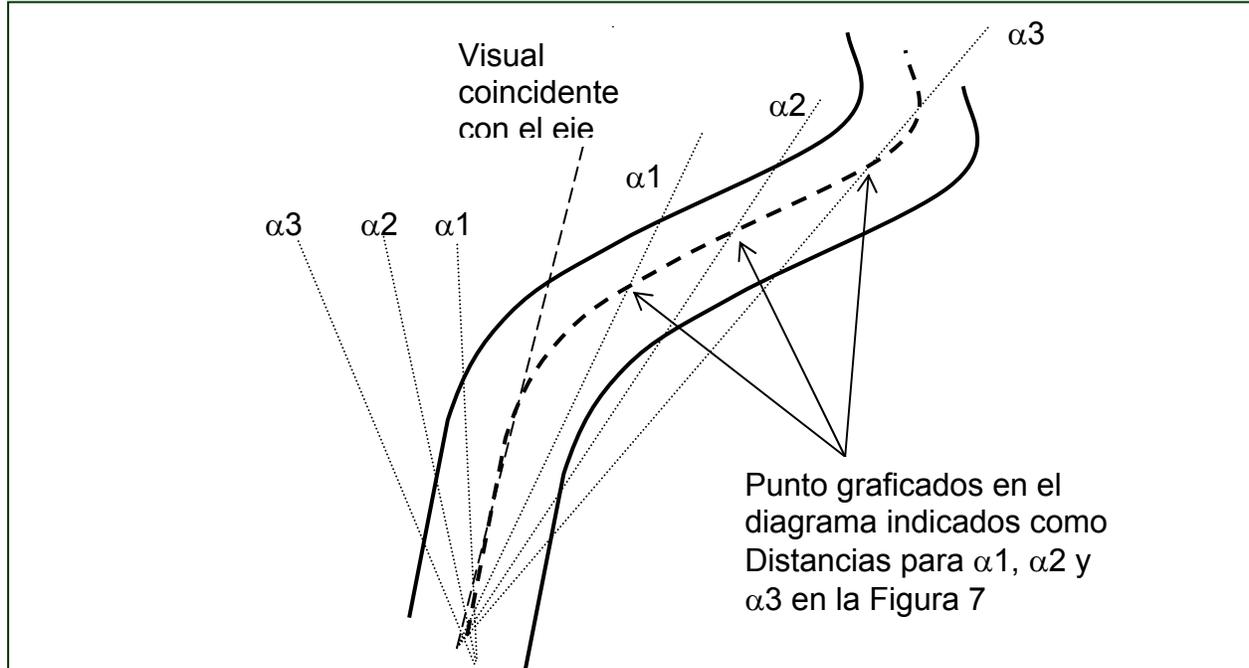


Figura 8: Planos de visibilidad

5. VISIBILIDAD

El sistema posibilita al usuario controlar la visibilidad de un obstáculo ubicado a la distancia de visibilidad de detención, como también la visibilidad de otro vehículo que se acerca por la trocha contraria a la distancia del sobrepaso. Este valioso recurso gráfico simula la visibilidad de un conductor virtual que “recorre” el proyecto de un camino tal como si inspeccionara directamente la obra. El usuario puede recorrer el camino en ambos sentidos, avanzar, retroceder, desplazarse lateral o verticalmente, dirigir la visual hacia un costado u otro, observar el obstáculo ubicado sobre su misma trocha a la distancia de detención, observar el vehículo que viene en sentido contrario a la distancia de sobrepaso, y averiguar en que circunstancias y en que progresiva se produce la falta de visibilidad.

El punto de observación corresponde a la posición del conductor sentado frente al volante de su vehículo el cual se supone ubicado al centro de su trocha. El obstáculo se representa como una valla celeste que abarca el ancho de la trocha de 0,20 m de altura. Se encuentra ubicado delante del punto de observación a la distancia de detención. El vehículo que es sobrepasado en el sobrepaso está representado por una silueta azul y se encuentra ubicada al centro de la trocha y frente al observador a la distancia establecida por norma. El vehículo opuesto en el sobrepaso se representa mediante una silueta vertical del ancho de la trocha y de 1,50 m de altura, ubicada a la distancia del sobrepaso sobre la trocha contraria a la del conductor. La ubicación relativa de cada uno de estos puntos es definida por el proyectista.

Para cada vista del proyecto en la parte inferior aparece un cuadro de información que contiene los datos de visibilidad, ángulo y distancia, referidos a: el vehículo en contra durante el sobrepaso, el obstáculo a la distancia de frenado y el punto visible del eje que esté más alejado del observador, según se muestra en la Figura 9. Los ángulos en el gráfico se pintan de rojo cuando sus valores absolutos superan los límites predeterminados por el proyectista, tanto para el obstáculo como para el vehículo. Izq, Cen, Der en el gráfico indican la visibilidad del vehículo y el obstáculo en las zonas Izquierda, Central y Derecha de la calzada. En el caso del eje no se indica tal valor por que es un punto. Se indica SI cuando el vehículo y/o el obstáculo resultan visibles. Se indica NO debajo de Cen cuando el vehículo o el obstáculo quedan ocultos por la calzada debido a una curva vertical convexa. Se indica NO debajo de Izq o Der cuando en vehículo o el obstáculo quedan ocultos por el contratalud o el terreno a izquierda o derecha de la calzada, respectivamente, debido a curvas horizontales.

Al completar la ejecución correspondiente a un nuevo proyecto se generan automáticamente los archivos de visibilidad. Para ello el sistema recorre la totalidad del camino, de ida y vuelta, controlando, para cada progresiva equidistante, las visibilidades, las distancias y los ángulos visuales del obstáculo, el vehículo y el eje, y graba en los archivos los datos correspondientes.

Mientras esto se realiza se dibujan secuencialmente en la pantalla las correspondientes perspectivas del camino produciendo una simulación del recorrido que el usuario puede contemplar. Si con posterioridad a la utilización del sistema para analizar la visibilidad del proyecto de camino, se modifica dicho proyecto reubicando la traza o la rasante, o modificando los perfiles transversales, al ingresar nuevamente al sistema se vuelven a generar automáticamente los archivos de visibilidad del proyecto teniendo en cuenta las últimas modificaciones realizadas.

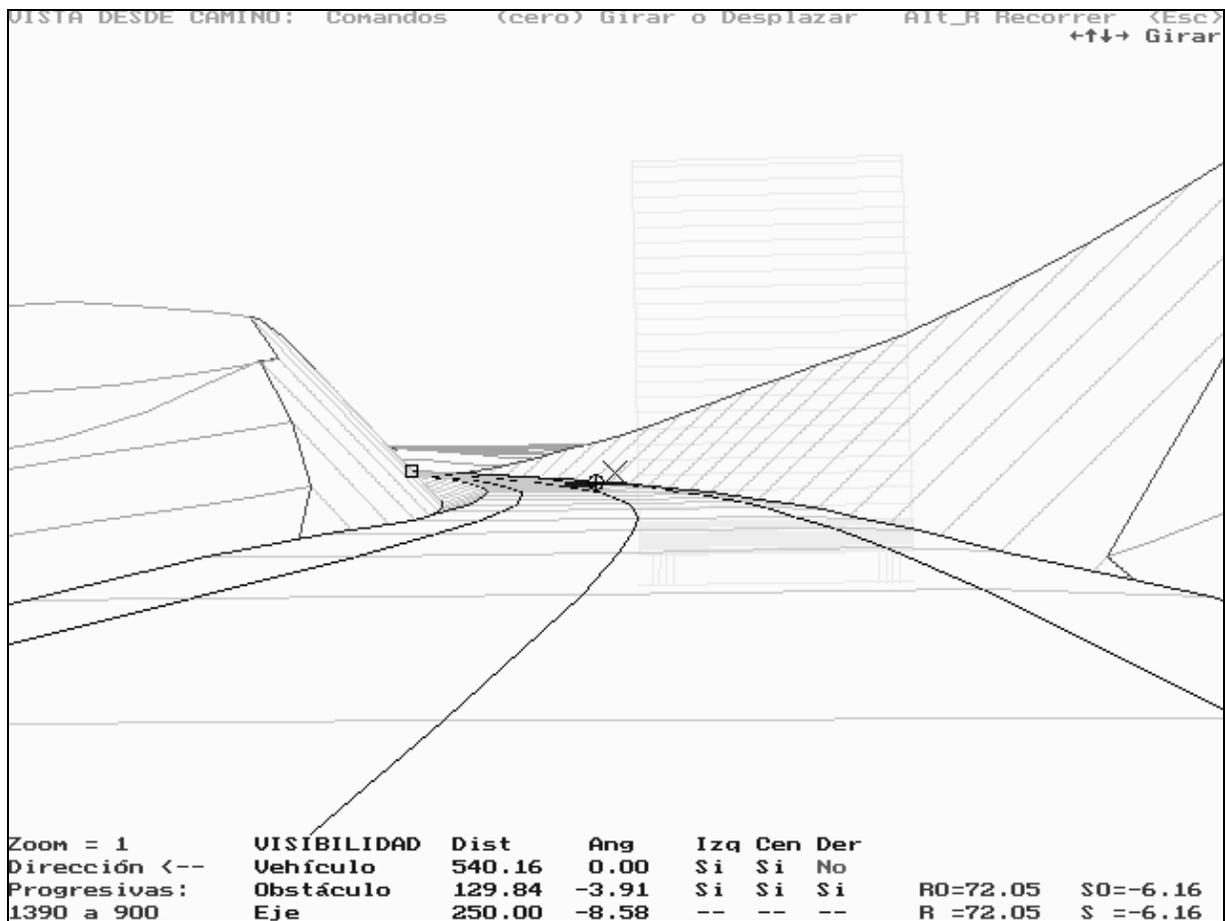


Figura 9: Vista del proyecto desde el conductor.

6. COORDINACIÓN PLANIALTIMÉTRICA DE CAMINOS

El eje de un camino es una línea en el espacio tridimensional compuesta por una sucesión de segmentos rectos y curvilíneos. Para facilitar su representación en planos se usa la proyección de su eje sobre un plano horizontal para obtener "la planimetría o planta", y sobre uno vertical se obtiene "la altimetría, el alzado o rasante". Casi siempre el diseño del eje del camino se realiza resolviendo primero la planta o planimetría, y cuando ésta se ha completado, se aborda luego la resolución de la altimetría.

Es frecuente que esta segunda etapa se resuelva con demasiado apego a las características que en elevación presenta el terreno natural a lo largo de la planta antes definida. Un respeto excesivo por el perfil longitudinal del terreno natural suele conducir a proyectar la rasante del camino algunas veces con escasa relación con la planimetría anteriormente resuelta. Cuando eso sucede, la planta y el alzado, es decir los elementos rectos y curvos que los constituyen, casi con seguridad no están coordinados, porque no han sido proyectados considerando cómo uno afecta al otro. La línea espacial resultante muy probablemente presentará diversos defectos que genéricamente se denominan "defectos de coordinación planialtimétrica".

Las consecuencias de un trazado falto de coordinación planialtimétrica son diversas: pobre guiado visual, pérdidas de trazado, apariencia poco agradable a los ojos del conductor, eventuales interpretaciones equívocas de las características geométricas del camino a recorrer, disminución de las posibilidades de sobrepaso en caminos de dos trochas, etc., además todas éstas, con posibles consecuencias sobre la seguridad de la conducción.

En la mayoría de los tratados viales se insiste en que el proyectista procure realizar su diseño con visión tridimensional, para descubrir los sectores en donde los defectos de coordinación están provocando apariencias desagradables y hasta engañosas del camino a recorrer. En el pasado ello implicaba ingentes esfuerzos para dibujar a mano

las perspectivas respectivas. Una recomendación de diseño muy común hace referencia a la ubicación de los principios y fin de curvas verticales y horizontales y su longitud.

La detección de estas falencias de proyecto por parte del proyectista utilizando el sistema facilita la corrección de tales errores dentro del mismo sistema. Ello hará que sea cada vez menos frecuente que se construyan caminos con estos vicios internos que a veces permanecen inadvertidos hasta que son evidenciados por accidentes de consideración.

La Figura 10 presenta salidas del sistema donde es posible evaluar esta consideración. La Figura 11 muestra una salida del sistema donde aparece una “pérdida del trazado”, por sucesión de curvas verticales o por curva horizontal, que es otro error de coordinación muy frecuente.

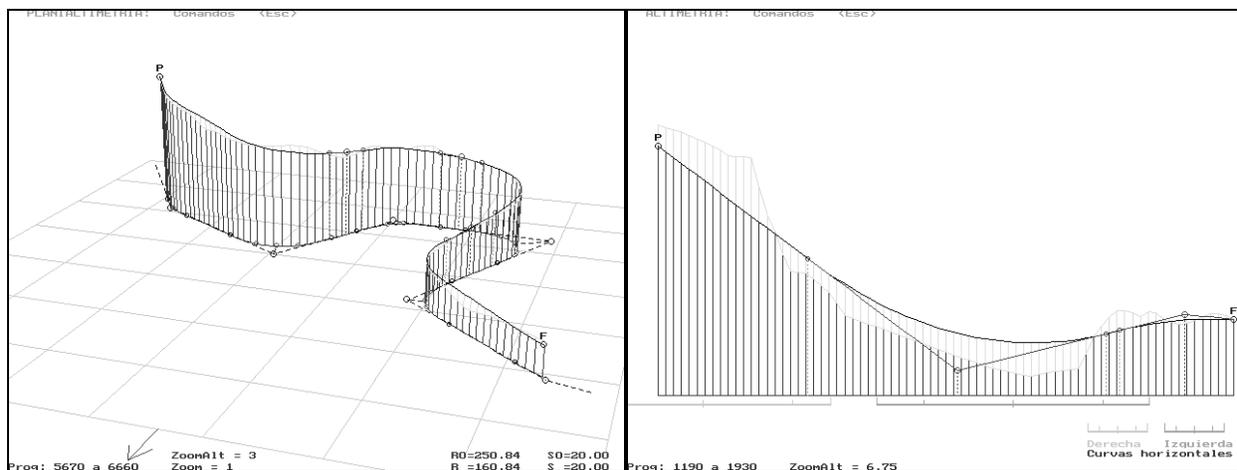


Figura 10: Vértices, principio y fin de curvas horizontales y verticales.

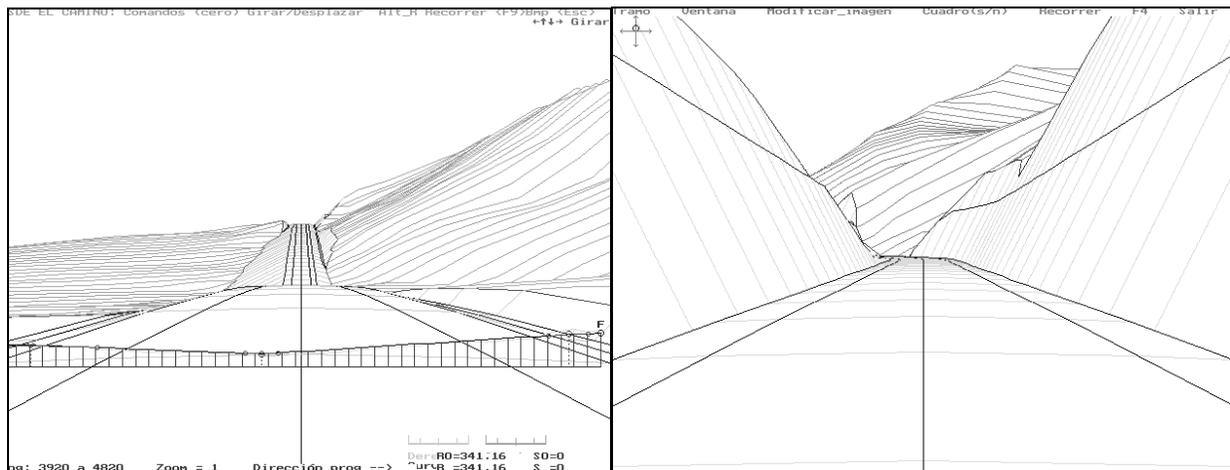


Figura 11: Error por “perdidas de trazado”.

7. CONCLUSIONES

El sistema EICG05 es muy adecuado para permitir, una vez realizado el proyecto del camino, una evaluación de la calidad del mismo. El proyectista puede apreciar, a través de los módulos de Visibilidad y/o Consistencia, las bondades del diseño geométrico realizado, desde el punto de vista de la visibilidad, la coordinación planialtimétrica, la estética vial, o la consistencia en el diseño.

El sistema es muy versátil y sencillo, con una carga de datos que presenta valores por defecto en todos los casos y en donde el proyectista sólo tiene que confirmarlos o introducir los propios de acuerdo con su criterio.

El diagrama elaborado de visibilidad disponible, considerando la planimetría y altimetría del camino en forma conjunta, y el diagrama para la evaluación de la consistencia están directamente asociados con el sistema de diseño. Ante cualquier modificación decidida luego de la evaluación de los diagramas mencionados, es posible regresar al sistema de diseño, modificarlo y volver a evaluar, lo que constituye herramientas muy novedosas, pocas veces vista en los sistemas de diseño geométrico asistido.

Es importante que el proyectista posea los conocimientos suficientes como para interpretar los diagramas del sistema, como ser de coordinación planialtimétrica, de consistencia y pueda provocar los cambios o aceptaciones del proyecto realizado. Sin estos conocimientos la aplicación de los sistemas puede provocar resultados adversos.

8. TAREAS FUTURAS

Si bien el sistema está preparado para su utilización actualmente pasa por un periodo de prueba y puesta a punto final. Esta tarea permite afinar el funcionamiento a pleno de todos los mecanismos internos propios del software para eliminar todos los posibles puntos en donde el programa falle.

Una tarea que se está emprendiendo también es la de validación de las ecuaciones que se emplean en la construcción del perfil de velocidades de operación. Este perfil se construye utilizando las ecuaciones de la FHWA indicadas, las que han sido desarrolladas para los EEUU. Aplicar estas ecuaciones a la realidad argentina puede entregar valores de velocidad de operación que no concuerden con las características de los conductores locales. Aún así, el perfil obtenido es de bastante ayuda o como una aproximación inicial al análisis de la consistencia de un proyecto.

9. RECONOCIMIENTOS

Este trabajo que aquí se presenta muestra un resumen 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. Los integrantes del proyecto son: 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.

10. BIBLIOGRAFÍA

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

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. 2000. **Speed Prediction For Two-Lane Rural Highways.** Department of Transportation. Federal Highway Administration. FHWA-RD-99-171. Washington D.C., USA.

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.