

# Diseño Geométrico de Caminos de Montaña: particularidades y desafíos

## Geometric Design of Mountain Roads: special features and challenges

Aníbal L. Altamira

Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional  
de San Juan, Argentina altamira@eicam.unsj.edu.ar

Fecha de recepción: 01/10/2020 - Fecha de aceptación del artículo: 01/11/2020



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons  
Reconocimiento-No comercial-SinObraDerivada 4.0 internacional.

DOI: [DOI 10.18041/1794-4953/avances.2.7003](https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.7003)

Cómo citar: Altamira, A. (2020). Diseño Geométrico de Caminos de Montaña: particularidades y desafíos. Avances: Investigación En Ingeniería, 17(2). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.7003>

### Resumen

Los caminos de montaña poseen particularidades que surgen a partir de aspectos topográficos locales y regionales, geológicos y geotécnicos, de drenaje y escurrimiento, ambientales y paisajísticos, climáticos y geográficos, entre otros; que afectan su ubicación, trazado y diseño geométrico. La propia metodología de diseño de caminos introduce indefectiblemente la necesidad de evaluación final del diseño en cuanto a los efectos sobre las perspectivas que el conductor puede apreciar durante la circulación. Armonizar todas esas particularidades y factores que los distinguen es un verdadero arte. La acertada conciliación de éstas revelará el buen criterio del proyectista vial, especialista en caminos de montaña. Este trabajo describe someramente la problemática contenida en el diseño geométrico de caminos de montaña y los desafíos que deben enfrentar los proyectistas durante este tipo de trabajos.

**Palabras clave:** caminos de montaña, diseño geométrico, proyectista vial, desafíos.

### Abstract

Mountain roads have special features that arise from local and regional topographic, geological and geotechnical aspects, drainage and runoff, environmental and landscape, climatic and geographical, among other; that affect their location, layout and geometric design. The road design methodology itself unfailingly introduces the need for a final evaluation of the design in terms of the effects on the perspectives that the driver can appreciate while driving. Harmonizing all the particularities and factors is a true art. The successful conciliation of these factors will reveal the good judgment of the road designer who specializes in mountain roads. This work briefly describes the problems included in the geometric design of mountain roads and the challenges that designers must face during this type of work.

**Keywords:** mountain roads, geometric design, road designer, challenges.

Este artículo se refiere a aspectos centrales a tener en cuenta al momento de enfrentar la tarea de diseñar geoméricamente caminos de montaña. También se describen, las particularidades del área atravesada o la metodología de diseño introduce aspectos necesarios a considerar y los diferencian de otros tipos de caminos.

## 1. Los caminos de montaña

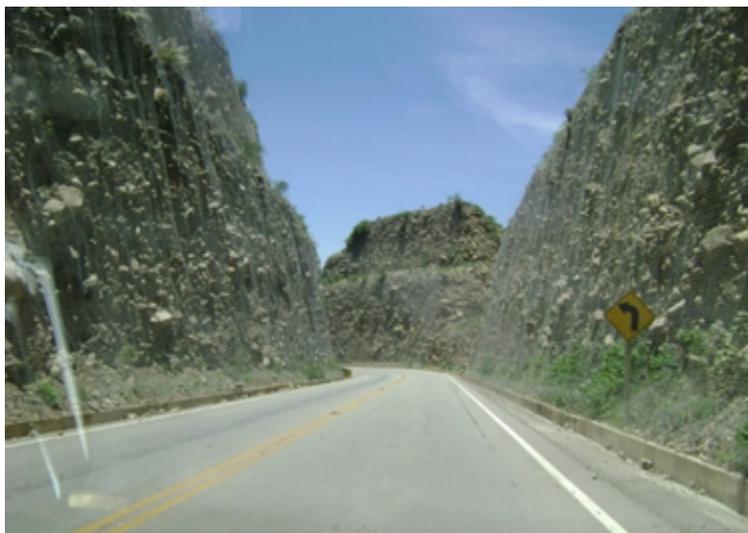
### 1.1. El diseño geométrico de caminos

El diseño geométrico vial comprende la selección y dimensionamiento de sus características visibles. En este proceso, el proyectista debe seleccionar los elementos necesarios para su proyecto específico y darle dimensiones según las necesidades de los usuarios. El diseño debe propender a que los usuarios mantengan velocidades sensiblemente uniformes, les induzca a una conducción libre de tensiones y sorpresas, y les imposibilite la ocurrencia de siniestros o al menos les reduzca sus consecuencias. Además, permita con seguridad la circulación de uso de peatones, ciclistas, motociclistas u otros vehículos.

### 1.2. Particularidades de los caminos de montaña

Las diferencias que distinguen a los caminos de montaña del resto de los caminos surgen a partir de:

- ◆ Las características topográficas locales que condicionan la geometría del trazado, limitando la visibilidad disponible y, a partir de esto, la velocidad de operación constante, la eficiencia operacional, la comodidad y la seguridad sobre los usuarios y la economía del transporte.
- ◆ Las características topográficas zonales o regionales, que no permiten una red viaria densa, sino que por el contrario, limita el desarrollo de una red funcional adecuada a los diferentes objetivos de viaje, o que permita diferentes alternativas de conexión entre los diferentes puntos de generación/ atracción de viajes. Ambas limitaciones provocan calles y caminos con un elevado volumen de tránsito y una alta, variada y concentrada composición de diferentes tipos de vehículos y usuarios.
- ◆ Las características geológicas y geotécnicas de la roca presente (ver figura 1), que establecen procesos constructivos y estructuras específicas que permitan salvar la distancia entre diferentes puntos.



**Figura 1.** Camino Tarija – Bermejo. Bolivia.

- ◆ Las características ambientales y paisajísticas de los ambientes montañosos sugieren plantear diseños en donde el camino trace su personalidad propia sin destruir el paisaje y el ambiente en el cual está inserto, acomodándose de forma tal que se constituya como parte del paisaje y del medio. Los ambientes montañosos poseen áreas ambientales protegidas, siendo más propicios al desarrollo de ecosistemas vegetales y animales en donde cualquier intrusión requieren de fuertes medidas de protección y de mitigación. Un ejemplo de esta característica se puede ver en la figura 2.



**Figura 2.** Camino Rio Pindo – Machala. Ecuador.

- ◆ Las características de drenaje y escurrimiento, que necesitan en general un sinnúmero de obras de paso simple, como alcantarillas de una luz, ya sea metálicas o de hormigón, con dimensiones mínimas, que se ven sometidas a elevados torrentes y fuertes arrastres muchas veces solo en épocas de lluvias o deshielos, quedando sin uso la mayor parte del año.
- ◆ Las comunidades nativas en montaña históricamente se han asentado sobre los valles de los ríos de montaña siendo también estos lugares áreas ambientales sensibles, con sitios de gran valor arqueológico o patrimonial.
- ◆ Los caminos de montaña requieren de estructuras específicas como viaductos, puentes (ver figura 3), muros de contención, de sostenimiento, mallas de protección, estructuras para la estabilización de taludes o laderas, túneles, sistemas de contención, cobertizos para nieve, lechos de frenado, carriles adicionales, entre otras. Estas características afectan la localización del trazado, la posibilidad constructiva, los costos de construcción o mantenimiento, el tiempo de trabajo en el diseño, o la necesidad de especialistas de diseño en cada caso.



**Figura 3.** Puente RN150. San Juan. Argentina.

- ◆ Los factores climáticos presentes en caminos de montaña son totalmente diferentes a los encontrados en otro tipo de caminos. La presencia de hielo o nieve, los fuertes vientos encajonados, la variabilidad diaria y hasta a veces horaria son aspectos característicos. Las lluvias y la niebla pueden aparecer en cualquier época del año, tal como se aprecia en la figura 4.



**Figura 4.** Portezuelo El Colorado. RN149. San Juan. Argentina.

- ◆ Los caminos de montaña se ubican en altura sobre el nivel del mar (ver figura 5), lo cual no solo condiciona los efectos climáticos, sino que también las características de operación de los vehículos y el comportamiento de los conductores y sus acompañantes. La “puna” es un efecto de la altura sobre las personas, y está asociado

a la menor cantidad de oxígeno presente en el aire. En determinados lugares, ya por encima de los 2000 msnm, la puna comienza a manifestar sus efectos sobre las personas a través de dolor de cabeza, vómitos o mareos. En los vehículos, se produce una reducción en la potencia al variar la mezcla entre oxígeno y carburante en la producción de la combustión interna en los motores.



**Figura 5.** Camino Nogolí – Trapiche. San Luis, Argentina.

Armonizar todas las características y factores enunciados, que distinguen a los caminos, es un verdadero arte; pues muchas de ellas poseen influencias contrapuestas. La acertada conciliación de todas estas, revelará el buen criterio del proyectista vial, en este caso del proyectista de caminos de montaña.

## 2. La problemática del diseño

### 2.1. La metodología de diseño

Un camino es una estructura lineal inserta en un espacio tridimensional. Dado que la percepción personal de esta estructura espacial, de parte de un proyectista, no es fácil y las herramientas por ahora disponibles no lo permiten, en el diseño de un camino se sigue una metodología que facilita su interpretación y dimensionamiento.

Para esto, se elige un punto de su sección transversal, normalmente el eje del camino, y se realizan dos proyecciones ortogonales del movimiento que realiza ese punto en el espacio: (1) una proyección vertical sobre un plano horizontal de la trayectoria que sigue ese punto; esto se denomina planimetría y (2) una proyección lateral horizontal del punto sobre un plano vertical que contiene la planimetría; esto es la altimetría. Es decir, se trata de dos diseños bidimensionales, que son más fáciles de interpretar y de resolver.

Posteriormente, se combinan ambos diseños, la planimetría y la altimetría, conformando así el diseño tridimensional espacial del proyecto de camino.

Finalmente, queda en el proceso de diseño una tarea por demás importante: la coordinación planialtimétrica, es decir, la coordinación entre los diseños planimétrico y altimétrico realizados. Esta actividad es necesaria puesto que por la superposición de ambos trabajos de diseño se generan algunos efectos (o defectos) apreciables desde la perspectiva del conductor que pueden provocar malas interpretaciones sobre cómo discurre el camino hacia adelante (ver ejemplos en la figura 6 y 7). Es decir, aparecen desde el punto de vista del conductor, puntos angulosos o pérdidas de trazado en general que ocultan el camino hacia adelante, provocando en muchos casos una alta variabilidad en la Distancia de Visibilidad Disponible, e inclusive menor a la Distancia de Visibilidad de Frenado para una determinada Velocidad Directriz del proyecto.

Sumado a lo anterior, con cierto grado de incertidumbre, el conductor tendrá una marcha no homogénea o continua, en la operación de su vehículo. Esto genera variaciones de la velocidad de operación, aceleraciones y desaceleraciones, trayectorias erróneas, lo cual hace el viaje ineficiente, incómodo y/o inseguro.

En los caminos de montañas, cuyo trazado está sujeto preponderantemente a lo que la topografía manda, pueden aparecer curvas sucesivas horizontales y/o como curvas sucesivas verticales que tienden a ir cortando o recortando las visuales, producto de sus intersecciones con las laderas o la plataforma del camino, modificando en cada punto del camino la Distancia de Visibilidad Disponible, lo cual induce a apariciones y desapariciones del trazado.



**Figura 6.** Ejemplo de planimetría defectuosa.

Una primera medida de coordinación planialtimétrica que disminuye el número de veces que la visual se recorta es hacer coincidir los vértices de las curvas verticales con los de las horizontales. Luego hacer que la longitud de las curvas cóncavas sea similar al de la curva horizontal que la contiene, y en el caso de las curvas convexas que sea de menor longitud que la de la horizontal. Ambas recomendaciones mejoran el trazado desde el punto de vista estético y operacional, como así también la seguridad vial o el drenaje vial.



**Figura 7.** Ejemplo de altimetría defectuosa.

## 2.2. Las normativas

El diseño geométrico de caminos, como el diseño de cualquier obra de infraestructura, está sujeto a Normativas que regulan su realización. En sentido amplio, el objetivo general de las normas, recomendaciones e instrucciones de diseño alcanzan aspectos tales como: [1].

- ◆ Sistematizar, ordenar y uniformar los criterios generales para los estudios y proyectos viales.
- ◆ Fomentar el diseño y construcción de caminos seguros y eficientes para el bienestar de los usuarios y la sociedad en general.
- ◆ Garantizar que todos los proyectos viales se construyan según un conjunto de normas que incluyan consideraciones de circunstancias locales.
- ◆ Reunir documentos técnicos internos de la propia vialidad local relacionados con el diseño geométrico y la seguridad vial.
- ◆ Definir los procesos y normas que proporcionen a los caminos los niveles adecuados de movilidad, seguridad, economía, bienestar

Teniendo en cuenta que todo el diseño vial es un compromiso entre lo ideal y un resultado razonable, en términos de costos, seguridad e impacto ambiental. No obstante, en el diseño de un camino moderno el énfasis debe estar siempre en la seguridad más que en la economía.

En general, el diseño de caminos de montaña no está particularizado en las normativas. Elegida la función o la categoría del camino a proyectar, las normas proponen velocidades de diseño para los diferentes tipos de topografía por donde se traza el proyecto: llano, ondulado, montañoso e inclusive muy montañoso. La selección del tipo de terreno permite elegir la velocidad directriz. Luego, en función de ésta, se calcula el valor de los parámetros mínimos y máximos que guían el diseño. Es decir, para una determinada categoría o función, la topografía es considerada a través de diferentes velocidades de diseño. Una velocidad de diseño para una topografía montañoso en

una categoría de nivel superior puede ser la velocidad de diseño de topografía llana u ondulada en una categoría de nivel inferior. Lo cual confirma que las normativas no particularizan el diseño de caminos de montaña, sino que le asignan una velocidad de diseño menor respecto de topografías más benévolas para caminos dentro de la función o categoría. Esto resulta lógico desde el punto de vista de los costos constructivos. En montaña la principal forma de reducir costos constructivos es a través de una menor velocidad directriz.

No obstante, las normas más detalladas proponen recomendaciones, o establecen guías a seguir durante la tarea de proyecto de un camino de montaña.

### 3. Desafíos

Los caminos en general y los de montaña en particular plantean desafíos y oportunidades de crecimiento técnico que los ingenieros deben aprovechar. Su consecución, genera también mayores beneficios para la comunidad a través de caminos de montaña cómodos, eficientes, estéticos, económicos y, por sobre todo aspecto, seguros.

#### 3.1. Educación

El proyectista vial, que se precie como tal, debe sustentar su tarea en una sólida formación teórica y un acabado conocimiento de los recursos tácticos necesarios para el diseño. Los cursos universitarios de diseño geométrico que solo se limitan al manejo de "soft" (paquetes computacionales) conducen a proyectar más rápido pero peor. Los programas viales no diseñan, sino que ayudan al proyectista a estudiar múltiples opciones en un mínimo de tiempo, y a representar gráfica y numéricamente todas las alternativas con superior precisión. El uso de programas de diseño requiere capacitación previa en ingeniería vial y haber alcanzado unos sólidos criterios de diseño y fuerte juicio ingenieril, que conduzcan al ingeniero al desarrollo de proyectos.

La Cordillera de Los Andes es un gran escollo que debe atravesarse o sobre la cual deben convivir los pueblos y las ciudades a lo largo de todo el Continente Americano. Los pueblos originarios han sabido adaptarse y convivir con la cordillera según se observan los vestigios de caminos presentes hasta la fecha. Universidades de América Latina ofrecen un variado contexto de Diplomados, Cursos de Posgrado, Maestrías, que apuntan a capacitar a los ingenieros de caminos en las particularidades de los caminos de montaña. Con mayor o menor alcance, las universidades con estas capacitaciones entregan a la sociedad profesionales preparados en la ingeniería vial. No obstante, es necesario por parte de los ingenieros seguir capacitándose y repasar cada cierto tiempo los retos o desafíos que propone el proyecto de caminos de montaña.

La movilidad docente y estudiantil entre los diferentes países es un aspecto por demás importante dentro del proceso enseñanza – aprendizaje, que, además de capacitar profesionales en lo técnico, posibilitan el intercambio y puesta en común de los diferentes problemas que se suscitan en los diferentes países, con lo cual, capacitadores y capacitados extienden a otras fronteras sus conocimientos técnicos. Por otro lado, necesariamente se produce un intercambio cultural y social entre ellos, que delinea una formación integral en las personas.

Es necesario apuntalar desde los organismos internacionales, los gobiernos, las universidades, estos cursos y carreras de posgrado específicos para caminos de montaña, a través de becas, pasantías o intercambios. La inversión en educación no puede sino generar más y mayores beneficios a la comunidad a través en un cuerpo de profesionales capacitados. En consecuencia, habrá una disminución de costos de transporte al proponer mejores caminos de montaña y mayores beneficios asociados al turismo, la minería, y las mejores comunicaciones entre los pueblos y ciudades.

## 3.2. Retos

El proyecto de caminos plantea retos y desafíos que los profesionales del diseño deben enfrentar constantemente. Pues cada obra es diferente de otra, con similitudes y diferencias entre sí.

Es así que, en este apartado se plantea una serie de consideraciones de diseño, consideraciones que son transversales a cualquier tipo de proyecto, aunque se enfatiza en el caso de proyectos de caminos de montaña.

### 3.2.1. No perder de vista los criterios y consideraciones en la selección de los parámetros de diseño

#### Velocidad Directriz

La velocidad directriz o de diseño es la que define los parámetros mínimos referidos al proyecto. En su selección el proyectista debe atender la demanda de los usuarios, pero no necesariamente a todos.

Elegir una velocidad directriz es clave en el diseño de cualquier camino, es el parámetro básico. Tradicionalmente la selección de la velocidad directriz se ha seleccionado de acuerdo al volumen de tránsito esperado y la topografía atravesada. Los métodos modernos establecen que se debe considerar la función del camino, es decir, aplicar un diseño sensible al contexto.

Una muy buena metodología para establecer la velocidad de diseño es la planteada en [2]. Según esta metodología (ver figura 8), lo primero es trazar un alineamiento de prueba utilizando una velocidad de diseño cualquiera. Luego se proceder a evaluar el diseño propuesto con algún modelo adecuado que permita modelar el perfil de velocidades de operación. Si el perfil calculado es adecuado según criterios de consistencia de diseño, el alineamiento definitivo es el trazado para esa velocidad inicial.

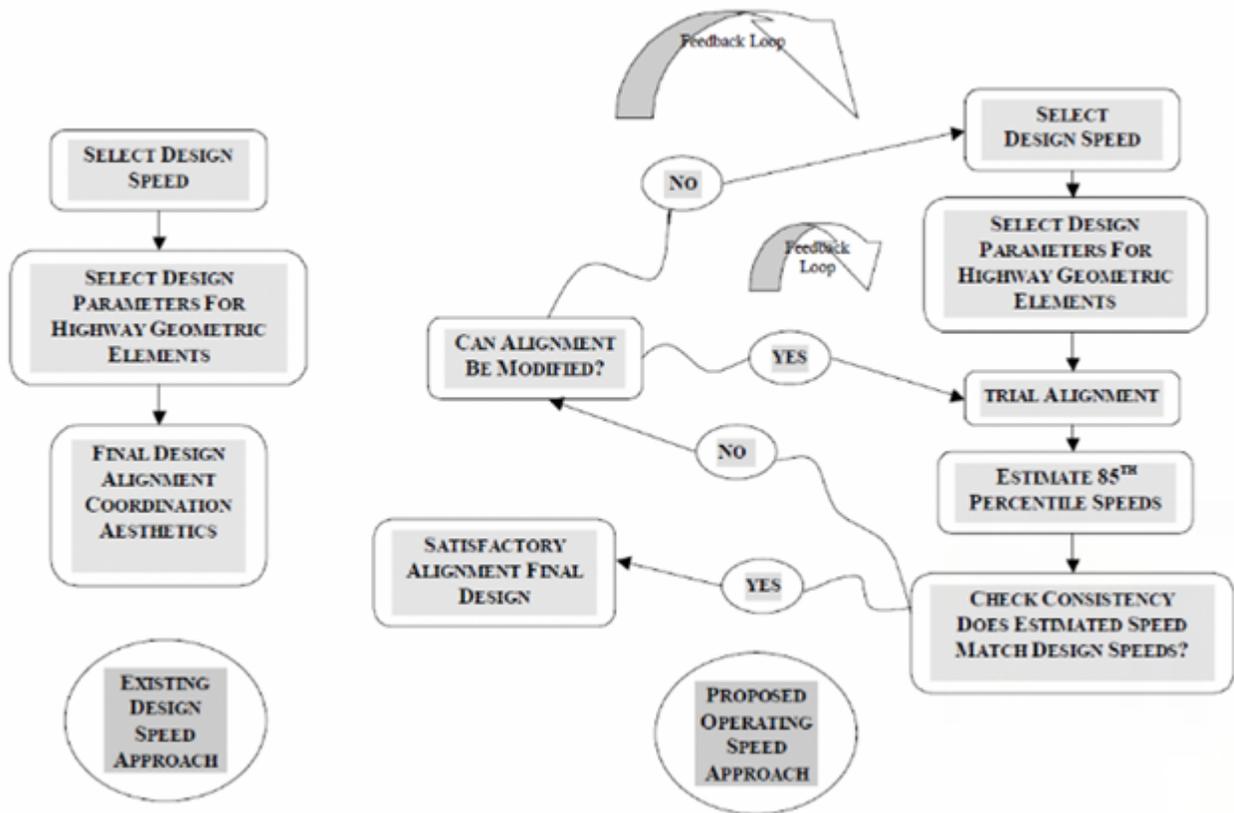


Figura 8. Una metodología para la selección de la velocidad de diseño.

Esta metodología permite realizar un mejor análisis para la selección y utilizar en el diseño velocidades más cercanas a la expectativa de los conductores. De esta forma se disminuye la brecha entre lo que el trazado ofrece y lo que espera un conductor, de forma tal de no causar sorpresas ni desorientaciones.

### Diseño de Curvas horizontales

La expresión universal para el cálculo del radio (R) de curvas horizontales relaciona la velocidad de diseño (Vd), el peralte (p) y la fricción transversal (fr) que se desarrolla entre los neumáticos y la superficie del pavimento (1).

$$R = Vd^2 / [127(p + fr)] \quad (1)$$

Con el peralte máximo de diseño y la fricción máxima admisible se obtiene para una determinada velocidad de diseño un radio mínimo o mínimo absoluto. No se recomienda proyectar radios menores al mínimo, pues la incomodidad dinámica sobre los ocupantes de vehículo debido a la fuerza centrípeta resultaría excesiva, superando los valores tolerables cómodos por la persona humana.

Aparecen acá dos problemas que deben ser atendidos por el proyectista, los cuales suelen ser olvidados:

- (1) El primero surge a partir de la recomendación de las normas en general, de utilizar donde sea posible radios de curva mayores a los mínimos. Si esto se hace indiscriminadamente el trazado queda compuesto por una sucesión diversa de radios de curvas horizontales diferentes, sobre los cuales los conductores pueden adoptar diferentes velocidades de operación, causando sorpresas e incertidumbre sobre los conductores cuando recorre un radio mucho menor al inmediato anterior. Es por esto que además debe seguirse la recomendación sobre la consistencia de diseño, en donde las curvas no debieran poseer radios muy diferentes unas de otras, sobre todo las que son sucesivas.
- (2) En segundo lugar, se destaca el cálculo del peralte necesario en cada curva a partir del radio de diseño. Hay diversos métodos para el cálculo del peralte necesario. El proyectista debe considerar cual se adapta mejor a su proyecto y emplear ese método. Cuando se utiliza un “soft” de diseño para el dimensionamiento geométrico es necesario evaluar qué método de cálculo de peralte utiliza el “soft”.

Otro problema muy importante se observa cuando se elige una velocidad de diseño muy baja. Por ejemplo, 40km/h, frecuentemente utilizada en caminos de montaña rurales de bajo volumen de tránsito. En estos casos, es necesario considerar que los conductores alcanzarán velocidades de operación mayores cuando el trazado se lo permita, como sucede en longitudes rectas de gran longitud o con curvas de radio mayores a los mínimos. Por ello, es importante definir velocidades de diseño en acuerdo con las velocidades de operación esperadas.

### **Diseño de Curvas verticales**

En la expresión para calcular las curvas verticales se considera el parámetro  $K$  (%/m), que posee una relación directa con el radio del círculo osculador de la parábola de diseño, denominado parámetro  $P$ (m) de la curva vertical. Es necesario comprender que tanto el  $K$  como  $P$  son calculados a partir de criterios de seguridad, confort, apariencia estética de la rasante y el drenaje superficial. La mera utilización del  $K$  o  $P$  indicados en las tablas en las normativas lleva implícito estos criterios y según el caso es recomendable utilizar otros valores de  $K$  o  $P$  diferentes.

### **Coordinación Planialtimétrica**

Recordar que la Coordinación Planialtimétrica es necesaria, no solo por lo estético, sino principalmente por la seguridad. Una buena coordinación entre los trazados en planta y en alzado configura caminos con amplias distancias de visibilidad, favorece la velocidad uniforme, disminuye la posibilidad de contener puntos peligrosos y favorece una conducción cómoda.

## Recomendaciones de Diseño

Repasar los manuales y normas de diseño en sus apartados referidos a las recomendaciones de diseño. Esto beneficiará la construcción de proyectistas con criterio y juicio ingenieril.

### 3.2.2. No perder de vista a los usuarios del camino

Los caminos rurales ubicados en áreas montañosas poseen diversidad de usuarios. La calzada es frecuentemente usada para la circulación de peatones, jinetes o ciclistas sobre la banquina, y hasta por arrieros para el traslado de animales. Y estos en convivencia con la circulación de autos, camiones, motos o buses. Desde los aspectos legales es posible declarar sobre la prohibición o no del uso de la calzada por parte de estos usuarios. No obstante, esta utilización es una realidad y hay que atenderla. Luego de producidos los siniestros, la responsabilidad puede también alcanzar a los proyectistas.

### 3.2.3. Utilización de Software

Las particularidades de los caminos de montaña enunciada al principio de este trabajo obligan a los proyectistas a emplear algún software de diseño. El número de curvas horizontales y verticales, los sucesivos desmontes y terraplenes, la gran cantidad de cálculos en caminos de montaña supera ampliamente a los observados en caminos con topografías más benévolas. No contar con un "soft" incrementaría en exceso el tiempo de trabajo de diseño.

Existen en el mercado diferentes sistemas de diseño con más o menos opciones, que permiten al proyectista trazar las más variadas alternativas de diseño en tiempos reducidos. Se debe tener en mente que el objetivo del trabajo es obtener un diseño adecuado y no un supremo manejo de software. Los sistemas permiten representaciones y dibujos de excelente calidad y los resultados numéricos pueden obtenerse con precisiones de orden superior.

Es necesario recordar que un usuario del camino desconoce las herramientas de diseño; ni siquiera conoce la velocidad de diseño. Ellos valorarán la calidad del camino terminado según su grado de comodidad en la circulación, el ajuste armonioso del paisaje en la cual se inserta el camino, la seguridad por ellos percibida durante el recorrido. El trabajo sobre estas características evaluadas por el usuario es propio del trabajo del proyectista, y son en ellas las que debe actuar y profundizar, y esto se hace con cualquier sistema de diseño, inclusive sin la utilización de alguno de ellos.

### 3.2.4. Consistencia de diseño

Diseño consistente es el diseño de caminos basándose en lo que el conductor espera, según lo que ellos perciban a su alrededor y observen hacia adelante: del ambiente que lo rodea, del tránsito presente, de la presencia y disposición de los elementos físicos existentes de la carretera.

El objetivo del proyectista es minimizar diferencias entre lo que existe y lo que el conductor espera, es decir, minimizar las diferencias con sus expectativas.

Un conductor actúa de forma previsible según lo que él observa y percibe y según su experiencia en la conducción; experiencia acumulada a lo largo de su vida y la acumulada particularmente sobre el camino en el cual se está desplazando.

Cuando un conductor debe actuar de forma diferente a lo que le indican sus expectativas, el trazado comienza a exigirle mayor demanda de trabajo para la ejecución de la tarea de conducción, provocando variaciones bruscas en el nivel de atención, desencadenando en necesarios mayores tiempos de respuesta o diferentes trayectorias con sus vehículos. Para demandas de atención mayores a las normales se pueden alcanzar diferentes tipos de choques y siniestros.

### **3.2.5. Seguridad Vial**

#### **Visibilidad disponible**

La seguridad vial en un camino está ligada a la visibilidad (ver figura 9). Es por esto, que en caminos de montaña al tener variaciones en la distancia de visibilidad disponible es frecuente que existan puntos en donde un conductor no cuente con la distancia de visibilidad suficiente como para poder frenar. Las laderas empinadas o muy cercanas a la calzada, construcciones en las zonas laterales del camino, pastizales o vegetación en el interior de las curvas horizontales, sobre todo a la derecha, faltas de coordinación planialtimétrica, pérdidas del trazado, curvas verticales convexas, suelen ser fuentes frecuentes en las limitaciones de visibilidad en caminos de montaña. La comparación entre la distancia de visibilidad disponible versus la distancia de visibilidad de frenado calculada para la velocidad de operación es un control necesario para evaluar la seguridad del trazado.

#### **Los costados del camino**

Las banquetas, bermas o espaldones son franjas laterales dispuestas al costado externo del carril de circulación, como espacio de seguridad que permiten una detención esporádica o momentánea de los vehículos ante algún problema mecánico o de otra naturaleza. Los caminos de montaña suelen tener fuertes restricciones laterales para el desarrollo de la sección transversal de diseño. Por lo tanto, las banquetas son de dimensiones reducidas, desde 0,50 m, y en ocasiones no se encuentran incluidas en la calzada como tal. Esto afecta la visibilidad, la posibilidad de detención sin afectar el tránsito de paso, un ancho suficiente de zona lateral despejada, un costado del camino suficientemente ancho o que pueda contener a los vehículos cuando se salen de la calzada.

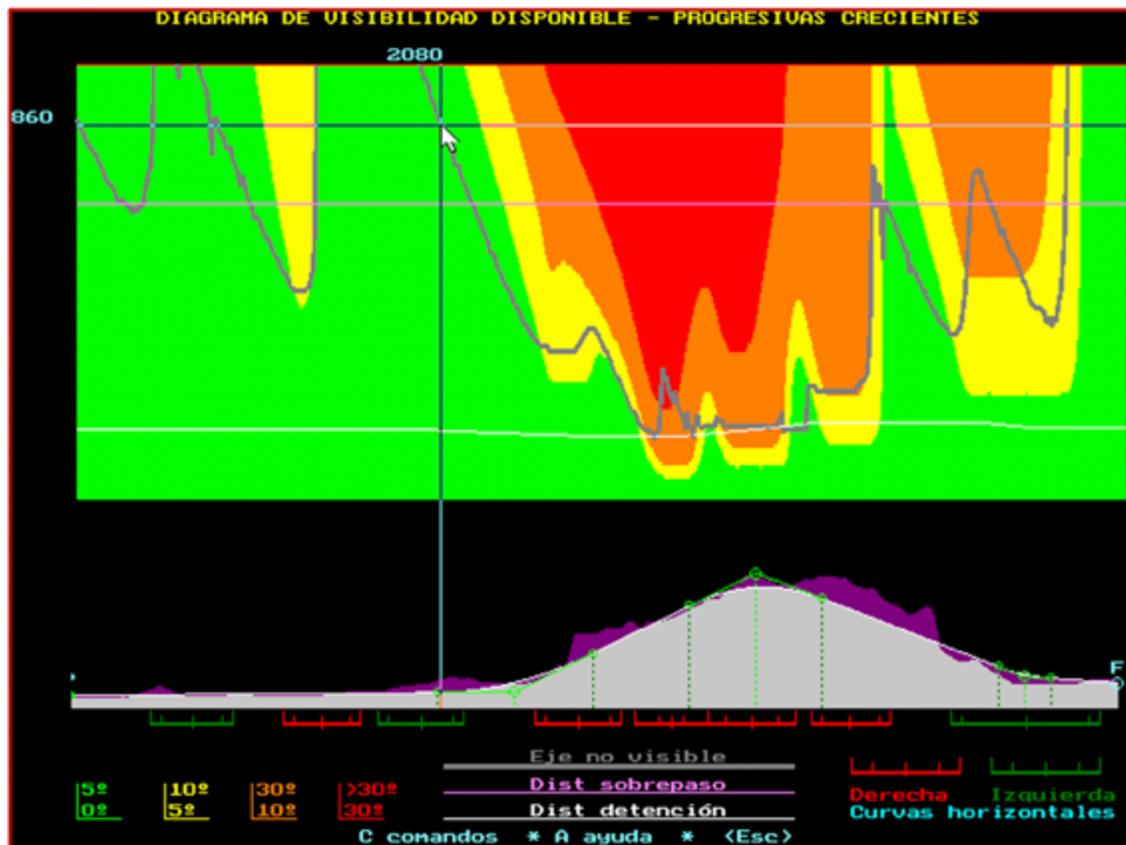


Figura 9. Diagrama de visibilidad disponible.

Muchas veces no es fácil encontrar la mejor disposición y ubicación de las intersecciones con otros caminos debido a las restricciones que plantean la topografía o la red hidrológica. Estos lugares constituyen una fuerte fuente de siniestros pues pueden quedar ocultos, en curvas, o en estrechamientos de las quebradas. De la misma forma, los accesos a propiedad se suelen producirse directamente sobre la calzada, y suelen quedar ocultos a los conductores de los vehículos.

Árboles al costado, postes de luz, cunetas triangulares profundas, embocaduras de alcantarillas u obras de paso bajo la calzada, sistemas de contención mal diseñados o colocados, caídas de rocas, deslizamientos, son obstáculos frecuentes al costado del camino que pueden causar choques con muertos o heridos cuando un vehículo se sale de la calzada.

### Dispositivos de seguridad

En caminos de montaña son frecuentes los tramos de elevadas pendientes. En ascenso afecta la capacidad de circulación al provocar disminución en la velocidad de operación en los vehículos pesados. Este perfil longitudinal combinado con una planimetría con sucesivas y frecuentes curvas horizontales no facilita a los vehículos más rápidos el rebasamiento o el sobrepaso de los vehículos más lentos. En descenso, también afecta a los vehículos pesados, pero en situación de fuerte pendiente descendente sostenida que no facilita el frenado.

Para ambas situaciones, respectivamente se dispone de carriles para alojar vehículos lentos o rampas de escape para vehículos fuera de control, sin posibilidad de ser detenidos por el sistema de frenos. Estas son estructuras típicas de caminos de montaña con fuertes pendientes. Su utilización y ubicación debe ser cuidadosamente estudiada, pues si no, no cumplirán con su objetivo de proyecto.

### Impacto sobre áreas y comunidades protegidas

Las montañas, sus valles o quebradas, frecuentemente contienen áreas naturales protegidas, valiosos ambientes o ecosistemas inexplorados, comunidades de pueblos originarios, sitios de interés arqueológico o paleontológico, que difícilmente pueden ser evadidos con un trazado de camino y que plantean un serio problema para su construcción. Estos sectores deben cuidarse, respetarse y mantenerse lo más protegido posible para el estudio y conocimiento de las generaciones futuras. Considerar las más fuertes medidas de protección y de mitigación de los impactos adversos de la construcción y operación de los caminos puede provocar sobre estas áreas y comunidades.

## 4. Conclusiones

Las diferencias que distinguen a los caminos de montaña del resto de los caminos tienen que ver con las características topográficas en las cuales están insertos. Las condiciones geológicas y geotécnicas de la roca que es atravesada, la distribución y tipología de la red de drenaje presente, el medioambiente y el paisaje del entorno que rodea el área de influencia del camino. Estos aspectos introducen obras, tratamientos y estructuras que son propias de los caminos de montaña. Armonizar todas estas características y aspecto que distinguen a los caminos de montaña es un verdadero arte pues muchas de ellas poseen influencias contrapuestas. La acertada conciliación de todas estas revelará el buen criterio del proyectista vial de caminos de montaña.

El proyectista vial, aparte de sustentar su tarea en una sólida formación teórica y conocimiento de los recursos tácticos, debe proponerse dar cauce a otras aptitudes personales más valiosas que lo distinguirán: creatividad, imaginación, sentido común.

Los caminos de montaña plantean fuertes desafíos de diseño y oportunidades de crecimiento técnico que los ingenieros deben aprovechar y así obtener mayores logros en su vida profesional.

## Referencias

- [1] Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña. Actualización de las Normas de Diseño Geométrico de Carreteras de la Dirección Nacional de Vialidad y de las Instrucciones Generales para Estudios y Proyectos – Parte A: Obra Básica. Facultad de Ingeniería. San Juan: Universidad Nacional de San Juan, 2010.
- [2] J. F. Morral y J. B. L. Robinson, “Design speed choices for Canadian Two-lane rural roads”, en The Transportation Factor 2003. Annual Conference and Exhibition of the Transportation Association of Canada. (Congres et Exposition Annuels de l'Association des transport du Canada), 2003, pp. 1-21