



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTE

TRAZADO VIAL

Apunte de cátedra realizado por:

Ing. M. Alejandra Ferreyra
Ing. Sabina Fanelli

AÑO 2018

TRAZADO VIAL

1. CONCEPTOS GENERALES

El estudio de una vía de comunicación terrestre, aérea o acuática, es un proceso complejo que surge luego de realizar una planificación del transporte a nivel nacional, provincial o local, según la categoría de la vía.

En general, la decisión de construir una vía no es consecuencia de un deseo personal ni satisfacción de una necesidad aislada. Dicha decisión surge como requerimiento para el desarrollo de un país, y debe incluirse en un plan nacional de transporte elaborado luego de un minucioso proceso de planificación.

En la etapa de planificación se asigna la clasificación y características de diseño de una carretera. Para ello se debe tener presente que una carretera es una inversión a muy largo plazo, y por lo tanto, debe proyectarse pensando más en las necesidades futuras que en las necesidades presentes.

Se entiende por **trazado de una carretera** al concepto geométrico que define la forma y dimensiones espaciales de una vía, teniendo en cuenta el tipo de servicio que prestará y las características del entorno en que se localizará.

Para proyectar una obra vial se adopta una línea o eje de referencia que en general es el eje de la futura calzada. Dicho eje está formado por alineamientos rectos y curvos, y a grandes rasgos acompaña al terreno natural. Puede definirse como una línea alabeada de componentes x , y , z .

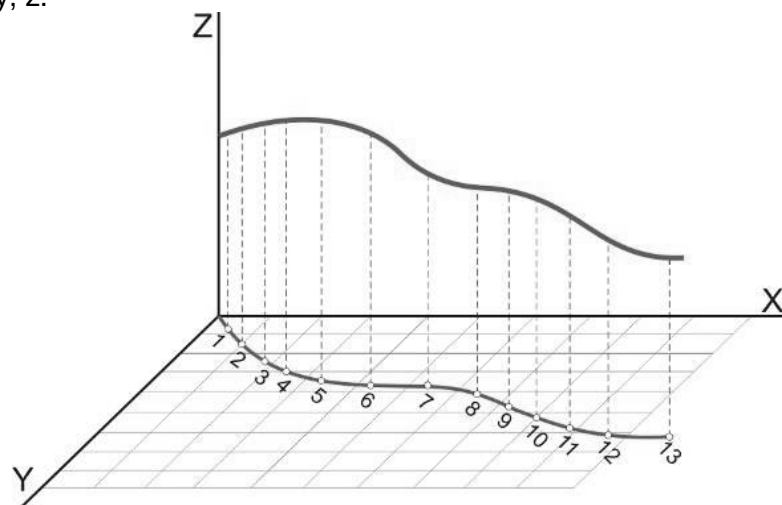


Fig. 1: Representación tridimensional del eje de un camino

Por razones prácticas de representación gráfica, el eje se proyecta sobre un plano horizontal (planimetría) y sobre un plano vertical (altimetría). A estos dos planos se suma la representación sobre planos transversales al eje de proyecto en determinados puntos (perfiles transversales).

La **progresiva** de un punto del eje es la longitud de la proyección horizontal del eje medida desde el origen del proyecto hasta dicho punto. La **cota** del mismo es la componente z .

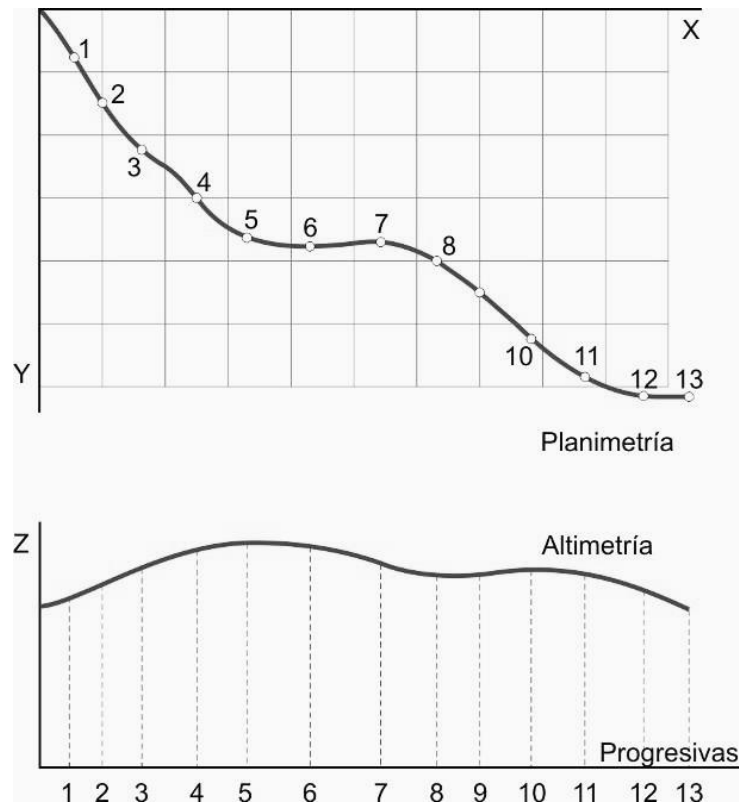


Fig. 2: Planimetría y altimetría del eje de un camino

En la etapa de trazado se resuelve íntegramente el problema planimétrico y parcialmente el altimétrico que se ajustará en una etapa posterior (Estudio Definitivo). En zonas montañosas, la definición del alineamiento horizontal puede estar influido por factores altimétricos, por lo cual la planta se resuelve en función de dichos factores.

La elección del trazado es un problema que puede admitir, dentro de los límites fijados por los condicionamientos existentes, distintas soluciones. Cada una de ellas tendrá un costo de construcción, de mantenimiento y de explotación. Para optimizar un trazado, se deberá lograr el menor costo del transporte automotor por dicha vía.

Los errores en la elección de un trazado son los más graves porque comprometen a todo el proyecto. Son de difícil y costosa solución. Los ajustes no previstos, posteriores a la construcción de la obra, por lo general no serán posibles debido a la valorización de las tierras adyacentes como consecuencia directa de la construcción del camino.

El trazado debe resolverse con previsión, con amplia visión. Si por problemas económicos deben bajarse los costos, podría recurrirse a disminuir la calidad del pavimento, proyectar su construcción por etapas o posponer su construcción. También se podría reducir el ancho del coronamiento de la obra básica, construir badenes en lugar de alcantarillas, forzar pendientes a fin de reducir el movimiento de suelos inicial, etc., todas estas medidas con la idea de ejecutar en el futuro obras complementarias sin necesidad de cambiar la traza.

Tan importante se considera al trazado que su estudio es tratado como un estudio independiente, sin cuya aprobación no se podrán efectuar los estudios definitivos posteriores.

El estudio del trazado puede faltar en algunos casos. Por ejemplo, cuando se trata de obras básicas ya ejecutadas sobre las cuales se proyecta una pavimentación u otro tipo de mejora (ensanche de calzada o banquetas, tendido de taludes, saneamiento de desagües,

etc.). En realidad no es que falte la etapa de trazado, lo que ocurre es que fue realizado antes de proyectar la obra básica existente.

2. FACTORES CONDICIONANTES DE UN TRAZADO

El diseño geométrico de un camino, y por ende su trazado, está influenciado por distintos factores que se llaman **controles**. Existen además factores económicos, estéticos y ambientales. La acertada conciliación de todos los condicionantes revelará el buen criterio del proyectista.

Los **controles de diseño** son los datos de tránsito (demanda a lo largo de la vida útil) y las características de los vehículos. Constituyen los factores determinantes para la asignación de la categoría del camino y gobiernan la disposición de los elementos geométricos tales como ancho de calzada, alineamientos, pendientes, distancias de visibilidad, etc. Estos elementos geométricos, de los cuales depende la operación segura de los vehículos, deben estar correlacionados para predisponer a los conductores al mantenimiento de velocidades de circulación uniformes. La máxima velocidad segura que puede mantenerse cuando las condiciones son tan favorables que las únicas limitaciones están determinadas por las características geométricas del camino es la velocidad de diseño.

Los **controles de paso** son los factores determinantes de la ubicación o localización del camino. Se dividen en primarios y secundarios.

Los **controles de paso primarios**, o de paso obligado, son los establecidos en la etapa de planificación: los puntos extremos a unir, y eventuales puntos intermedios. Dependen básicamente de la función y carácter del camino, es decir, de la necesidad a satisfacer.

Los **controles de paso secundarios**, o de paso conveniente, son de existencia aleatoria o accidental. El grado de su importancia es variable y pueden clasificarse en naturales (topografía, condiciones geológicas, condiciones climáticas, tipos de suelos, aguas superficiales y subterráneas, cursos de agua, drenaje, yacimientos/préstamos de materiales aptos, altura sobre el nivel del mar, etc.), y artificiales (uso del suelo, escuelas, cementerios, hospitales, división de la propiedad, etc.).

La topografía es el factor natural fundamental. Generalmente afecta a los alineamientos, pendientes, visibilidad y sección transversal del camino. En topografía montañosa, se plantea con frecuencia el problema de obtener mayores desarrollos del trazado para vencer desniveles pronunciados, por lo tanto la pendiente longitudinal máxima admisible es, de por sí, un control.

Montañas, valles, colinas, pendientes escarpadas, ríos y lagos imponen limitación en la localización y son, por consiguiente, determinantes durante el estudio de trazas. A menudo, las cumbres de los cerros son buenos lugares para el desarrollo de los trazados, como así también los valles, si siguen la dirección conveniente.

Los trazados que siguen las cumbres, o divisorias de aguas, requieren menor cantidad de obras de arte, y de menor dimensión, que los que se desarrollan por los valles. De este modo también se reducen los riesgos de destrucción de las obras por avenidas de agua, avalanchas, desmoronamientos y aludes.

Si la carretera cruza una montaña, los pasos más bajos constituyen puntos de control.

La presencia de zonas inestables, proclives a deslizamientos y derrumbes, las áreas pantanosas, las características de las rocas (tipo, estratos, porosidad, permeabilidad, etc.) son factores de gran peso en la selección de un trazado.

Cuando se cruzan pantanos o terrenos bajos, sujetos a inundaciones, se requiere utilizar material de préstamo para elevar el nivel del camino a uno superior al de las aguas altas. A menudo, el material existente en tales lugares dentro de la zona de camino no es apropiado para ser aprovechado como material lateral de préstamo. En esos casos, la localización de préstamos a una distancia razonable de transporte, puede ser un control de paso.

Al seguir el curso de un río, la pendiente del agua es un control, y por lo general es recomendable mantener la rasante de la carretera lo suficientemente alta, de modo que el extremo inferior del talud esté sobre el nivel de las aguas altas. Los trazados a lo largo de un río son frecuentemente costosos, ya que a menudo es necesario cruzar de una orilla a otra para evitar grandes movimientos de suelos, alineamientos inconvenientes, o ambos. Los cursos de agua conviene cruzarlos en puntos estables de su cauce.

Dentro de los controles de paso secundarios artificiales el más importante es el uso del suelo. La presencia de zonas forestales, agrícolas, de cultivos intensivos, industriales, centros comerciales, iglesias, escuelas, cementerios, hospitales, etc., influyen en el trazado ya sea por el costo de las expropiaciones, o por el valor social o histórico del bien afectado. Un factor muy relacionado con éste es la división de la propiedad. Por ello, en lo posible, se procurará cruzar las propiedades particulares de modo que las superficies remanentes continúen siendo económicamente explotables.

Una carretera debe estar ubicada de tal forma que se puedan hacer mejoras a lo largo del tiempo, sin que para ello sea necesario alterar su posición. Estas mejoras surgen ante la insuficiente capacidad de la vía debido al aumento del tránsito. Elevar el nivel técnico de una carretera requiere a menudo de grandes y costosas obras, a veces en sitios caros como zonas urbanas y suburbanas.

Por otra parte hay que considerar las restricciones ambientales tales como el control de la contaminación atmosférica y acuática, la limitación de los ruidos, etc.

En relación a los aspectos ambientales, se mencionan a continuación algunos de los detallados en el Manual de Evaluación y Gestión Ambiental de Obras Viales (MEGA II - 2007) de la Dirección Nacional de Vialidad:

- ***Trazado por áreas ambientalmente sensibles. Trazados alternativos.***

Evitar el trazado por áreas de manejo especial protegidas por ley o por zonas ambientalmente sensibles (humedales, hábitats de especies amenazadas, yacimientos arqueológicos, paleontológicos o sitios históricos y arqueológicos).

- ***Preservación de la vegetación silvestre.***

Definir las trazas de las rutas por donde implique menor destrucción de la vegetación silvestre, preservando o trasladando árboles de gran tamaño o aquellos que oficialmente hayan sido calificados de valor genético, paisajístico o histórico.

- ***Afectación de zonas densamente pobladas.***

Evitar en lo posible la afectación sobre áreas densamente pobladas para reducir los impactos ambientales sobre la población, evitando la eventual relocalización de personas, el aumento del ruido y de la probabilidad de accidentes a personas y vehículos.

- ***Diseño vial compatible con planes de desarrollo del territorio atravesado.***

Proyectar las obras compatibilizando su diseño con los requerimientos de futuras obras de infraestructura, productivos y de uso y ocupación del suelo en las inmediaciones del camino.

- **Sustentabilidad hidráulica del camino.**

Los parámetros de diseño adoptados para el perfil tipo de obra básica y para el diseño deben asegurar la sustentabilidad de la zona de camino en relación a los aspectos hidráulicos, para evitar la generación de problemas de anegamiento, erosión y/o inestabilidad del suelo de la zona de camino, y para garantizar la durabilidad de las obras.

- **Corredores biológicos para la fauna.**

Los parámetros de diseño de la traza deben asegurar la continuidad de los procesos naturales en corredores biológicos para la fauna silvestre, en particular para las especies de valor especial.

- **Participación pública.**

Los parámetros de diseño de la obra deben incluir los aportes derivados de las instancias de participación pública (audiencias públicas) para evitar posibles impactos y conflictos sociales.

3. ETAPAS DEL TRAZADO

3.1. Conceptualización del problema

Se entiende por **ruta** o **corredor** la faja de terreno de ancho variable entre dos puntos de paso obligado, definidos en la fase de planificación, en la cual es factible ubicar el camino.

La selección de la ruta es un proceso que involucra varias actividades desde la recopilación, examen y análisis de los datos, hasta levantamientos aéreos y terrestres necesarios para determinar costos aproximados y ventajas de las diferentes opciones para elegir la más conveniente.

Las actividades con ciertas características comunes se agrupan en etapas. La definición del trazado no es un proceso lineal en el que se cumple una etapa a continuación de la otra. Por el contrario, es un proceso de aproximaciones sucesivas en el cual frecuentemente se vuelve atrás para volver a empezar y probar otra alternativa, para lo que se requiere mayor cantidad de datos a los ya recopilados.

Pueden definirse las siguientes etapas de trazado:

- Recopilación de antecedentes
- Trazados tentativos
- Reconocimiento
- Trazados preliminares
- Trazado definitivo

3.2. Recopilación de antecedentes

Es una labor de investigación, de gabinete, mediante la cual se recopilan todos los datos disponibles, públicos y privados, que tengan relación con el corredor por el cual se va a desarrollar el trazado.

En primer lugar se deben averiguar los motivos por los cuales en la etapa de Planificación se decidió la construcción o mejora del tramo en cuestión, los puntos principales de control y las características básicas de diseño establecidas. También se averigua sobre la existencia de estudios previos, y obras planificadas en la zona de influencia del camino.

Resulta necesario recabar información con respecto a:

- **Estudios existentes viales:** anteproyectos y proyectos en la Dirección Nacional de Vialidad, Direcciones Provinciales de Vialidad, Organismos oficiales, Consultoras privadas, etc.
- **Estudios existentes varios:** Canales, Ferrocarriles, Gasoductos, Poliductos, Puertos, etc.
- **Aerofotogrametría:** fotogramas, fotos satelitales. Instituto Geográfico Nacional, servicios privados de fotogrametría, Google Earth.
- **Cartografía:** planos hidrográficos, geológicos, orográficos, división política, edafológicos, de uso del suelo, cartas topográficas (planchetas), catastrales. Instituto Geográfico Nacional, oficinas de catastro, negocios inmobiliarios, Google Maps.
- **Clima:** régimen de lluvias, heladas y nevadas, temperaturas, vientos. Servicio Meteorológico Nacional, estaciones del ferrocarril, aeropuertos.
- **Hidrografía:** caudales de ríos y arroyos, cotas de inundaciones, ubicación de estaciones de aforos, cotas de embalses construidos o proyectados, obras de riego, cotas de mareas. Organismos oficiales de hidráulica e hidrografía naval.
- **Geología:** informes, cartas geológicas, publicaciones. Organismos oficiales de geología.
- **Topografía:** ubicación y cotas de puntos fijos de nivelación, coordenadas de puntos trigonométricos. Instituto Geográfico Nacional, organismos provinciales.
- **Tránsito:** censos realizados, futuros desarrollos con impacto.
- **Desarrollo Territorial y Poblaciones:** planes estratégicos de desarrollo nacional, provincial y municipal.
- **Desarrollos económicos:** régimen de promoción industrial, zonas francas, etc.
- **Medio Ambiente:** ubicación de áreas sensibles en las cercanías de la traza, etc.
- **Interferencias con Servicios Públicos:** aeropuertos, líneas ferroviarias, estaciones de transferencia multimodal, gasoductos, oleoductos, líneas de alta tensión, canales, acueductos, agua corriente, alcantarillado, líneas de fibras ópticas, etc.
- **Planos con curvas de nivel:** en escalas 1:50.000 o mayores.

3.3. Trazados tentativos

La mejor cartografía disponible se complementa volcándose sobre ella los datos relativos a las condiciones de drenaje, valor de la tierra, tipos de suelos, zonas de acumulación de nieve, división de la propiedad, etc. Sobre esa cartografía se indican algunas líneas tentativas. Para ello se comienza por marcar los puntos de control de paso primarios.

Con respecto a las curvas horizontales, es importante tener en cuenta el radio mínimo establecido a fin de adoptar radios iguales o mayores. Altimétricamente deben considerarse los desniveles entre puntos de paso obligado y la distancia entre ellos, para cumplir con las pendientes máximas permitidas.

Los trazados tentativos sirven de guía para planificar la recorrida de la zona de trazado.

3.4. Reconocimiento

El reconocimiento es una inspección general y rápida de las franjas o líneas marcadas en gabinete, que permiten verificar la bondad y corrección de los datos disponibles.

La visita al lugar puede hacer descartar alguno de los trazados tentativos por resultar inconveniente, o modificarlos parcialmente, o pueden surgir nuevas posibilidades.

Es recomendable que participen de esta tarea, además del trazador, los especialistas en suelos, drenaje, geología, e impacto ambiental, y cualquier otro cuya asistencia pueda ser provechosa.

El reconocimiento se hará con el medio de locomoción más apto: camioneta, tracción animal o a pie. El reconocimiento aéreo es el más ventajoso porque permite observar en poco tiempo las principales características de los corredores en estudio.

3.5. Trazados preliminares

Después de haber practicado el reconocimiento, evaluación y ajuste de los trazados tentativos, se continúa trabajando con aquellas franjas de terreno que han quedado como merecedoras de estudios más detallados.

Para obtener información adicional sobre las franjas seleccionadas se efectúa un relevamiento topográfico cuyo grado de detalle dependerá de la calidad de la información antecedente. Pueden ser aéreos o terrestres, y su utilización, individual o conjunta.

El método terrestre (topografía tradicional) es aconsejable cuando los posibles trazados han quedado bien definidos, el ancho de la franja es reducido y el uso del suelo es escaso.

El método aéreo es preferible cuando los posibles trazados no han quedado bien definidos, cuando el terreno es muy accidentado o el uso del suelo es intenso.

En zonas montañosas será imprescindible requerir la opinión de los geólogos y estructuralistas si se prevén cortes en roca, túneles, muros u otras estructuras importantes como ser viaductos, puentes en curva, cobertizos. La presencia de grietas o fallas que podrán pasar inadvertidas al trazador serán detectadas por el geólogo quien aconsejará las medidas a tomar.

Es necesario contar con el asesoramiento de especialistas en suelos y materiales, principalmente en zonas donde pueda haber presencia de sales, arcillas expansivas, suelos orgánicos, o suelos colapsables. Conocer la calidad de los suelos permitirá saber si el producto de las excavaciones se podrá utilizar para la formación de los terraplenes, o si se deberá buscar préstamos de suelos mejores fuera de la zona de camino.

Los datos de los relevamientos realizados con estación total, almacenados automáticamente en libretas electrónicas, directamente se transfieren a la computadora que con un programa vial se calculará rápidamente el modelo digital del terreno, a partir del cual pueden obtenerse planos con curvas de nivel, y perfiles longitudinales y transversales de cualquier línea de interés.

A medida que se efectúan los relevamientos y se evalúan críticamente, se va ajustando la línea o líneas que se consideran más factibles de llegar a ser el eje del futuro camino.

Estas líneas se materializan con estacas de madera dura junto a las cuales se clavan jalones con banderas para que sean visibles desde lejos. Esta poligonal así señalizada constituye la "línea de banderas".

3.6. Trazado definitivo

Cuando no hay dudas con respecto a las bondades superiores de uno de los trazados preliminares estudiados, se lo adopta como trazado definitivo. Una vez que el Comitente aprueba el trazado, se continúa con la siguiente etapa que corresponde a la realización del Estudio Definitivo.

El trazado definitivo se materializa en el terreno a fin de proceder con el estudio detallado. Para ello se utilizan mojones de hormigón o madera dura para ubicar los puntos que definen la poligonal del trazado, es decir, los vértices (V) y puntos de línea (PL). Los mojones de hormigón se deben balizar. Para ello se referencian a elementos físicos que haya en las inmediaciones (árboles, postes de alambrados, cabeceras de alcantarillas, edificios, etc.). Su finalidad es doble: facilitar la ubicación del mojón de hormigón, que podría estar totalmente enterrado, o reconstruir su ubicación en caso faltante.

Materializada la poligonal del trazado, se realiza el levantamiento planialtimétrico. Se incluyen en este relevamiento los accidentes topográficos característicos del lugar, y todo elemento adherido al suelo, en un ancho mínimo igual al de la zona de camino asignado al proyecto.

4. TRAZADO EN MONTAÑA

En llanura, el trazado más directo entre dos puntos es el segmento de recta que los une. En montaña, en cambio, cuando el cociente entre el desnivel entre dos puntos y su distancia horizontal supera el valor de la pendiente máxima admisible, será necesario aumentar la longitud del trazado mediante la realización de prolongados faldeos.

El valor de la pendiente longitudinal máxima constituye uno de los parámetros básicos en el proyecto de caminos de montaña. Si no se la considera en la etapa de trazado, será muy costoso e imposible solucionar este error mediante el trazado de una rasante con profundos desmontes y altos terraplenes.

Al utilizar curvas con radios reducidos, se debe tener en cuenta que la curva exterior (ciega) es más peligrosa que la interior (entrante), por lo tanto en las primeras no se deben proyectar radios reducidos.

Para reducir en lo posible la cantidad y tamaño de las obras de arte, se tratará de desarrollar el trazado por las partes altas o divisorias de aguas.

5. TRAZADO EN ZONAS FRÍAS

Se entienden como zonas frías aquellas zonas que cuentan con temperaturas por debajo de cero grado centígrado (0°C), y que tienen cierta permanencia en el tiempo.

Para evaluar la rigurosidad de las zonas frías puede utilizarse la temperatura media mensual en los tres meses más fríos de invierno (junio-julio-agosto).

El efecto de las bajas temperaturas sobre el diseño geométrico, se refleja especialmente en los problemas que origina a la circulación de los vehículos la caída de nevadas intensas, lo cual se traduce en clausuras temporarias al tránsito, dificultades a la circulación de vehículos y aumento de la probabilidad de accidentes.

En consecuencia, otro factor a considerar es la magnitud de las precipitaciones en zonas frías, asociadas a bajas temperaturas, lo que determina la intensidad y duración de las nevadas.

En las zonas de nevadas se debe tener en cuenta la acumulación y permanencia de la nieve. La nieve se acumula al reparo de los vientos y permanece más tiempo al reparo del sol.

Para el **diseño planimétrico** en zonas frías se debe considerar:

- **Desarrollo de la traza:** un ahorro en la longitud del trazado permitirá una reducción importante en el costo total de la obra ya que el costo del paquete estructural tiene una incidencia muy grande en estos casos (elevados espesores, bases anticongelantes, subbases drenantes, etc.).
- **Altura media sobre el nivel del mar:** la cantidad y duración de la precipitación nival aumenta con la altura. Aumentan los días de cierre al tránsito y aumentan los costos de operación, en mayor escala si los volúmenes de tránsito son elevados.
- **Ubicación de la traza:** si es posible, se tratará de desarrollar la traza a lo largo de ríos de cierta importancia, tanto por el aspecto paisajístico como por la acción reguladora que una corriente de agua de cierta magnitud ejerce en el clima, reduciéndose la duración e intensidad de las nevadas.
- **Orientación de la traza:** para estudios que se realicen en el hemisferio sur, es conveniente que el trazado se desarrolle sobre laderas que estén orientadas hacia el norte (mayor asoleamiento). Si en la zona existen vientos dominantes en la época de mayor precipitación nival, es recomendable que el trazado se desarrolle sobre la ladera expuesta a los vientos para que los mismos barran rápidamente la nieve acumulada sobre la calzada.

En el **diseño altimétrico** en zonas frías se analizan:

- **Pendientes longitudinales:** en caminos pavimentados, se reduce significativamente el coeficiente de rozamiento longitudinal al estar recubiertos de hielo o nieve (pendiente longitudinal máxima 5% a 6%). En caminos enripiados, es menos probable que se formen superficies de hielo muy lisas (8%).

6. RECOMENDACIONES GENERALES

No se puede establecer un método exacto o dar reglas concretas para la elección del trazado. Es de mucha importancia la experiencia y el criterio del proyectista. Se plantean las siguientes recomendaciones o pautas generales:

- En beneficio de la economía, el trazado debería ser lo más directo posible entre los puntos de paso obligado.
- Trazado directo no significa trazado recto. Las rectas extensas producen fatiga y aburrimiento en los conductores, y aumentan los problemas del encandilamiento.
- No adosar el trazado a vías férreas. Se dificulta el acceso al camino, y se complica la resolución de las intersecciones ferroviarias.
- Servir a las poblaciones sin cruzarlas. De este modo se evita la interferencia del tránsito rápido con el tránsito local de la población. Pueden plantearse desvíos (by-pass) o circunvalaciones.
- Asegurar buenas condiciones de drenaje.

- Minimizar el costo de las expropiaciones.
- Destacar y realzar las bellezas naturales.
- Cruces ferroviarios a nivel con buena visibilidad.
- En regiones frías, el trazado se deberá llevar por zonas bajas con menores nevadas, se diseñará con la mayor longitud posible para respetar la pendiente longitudinal máxima, y se le dará la mejor orientación y exposición de los vientos a fin de permitir el más rápido despeje de la nieve.

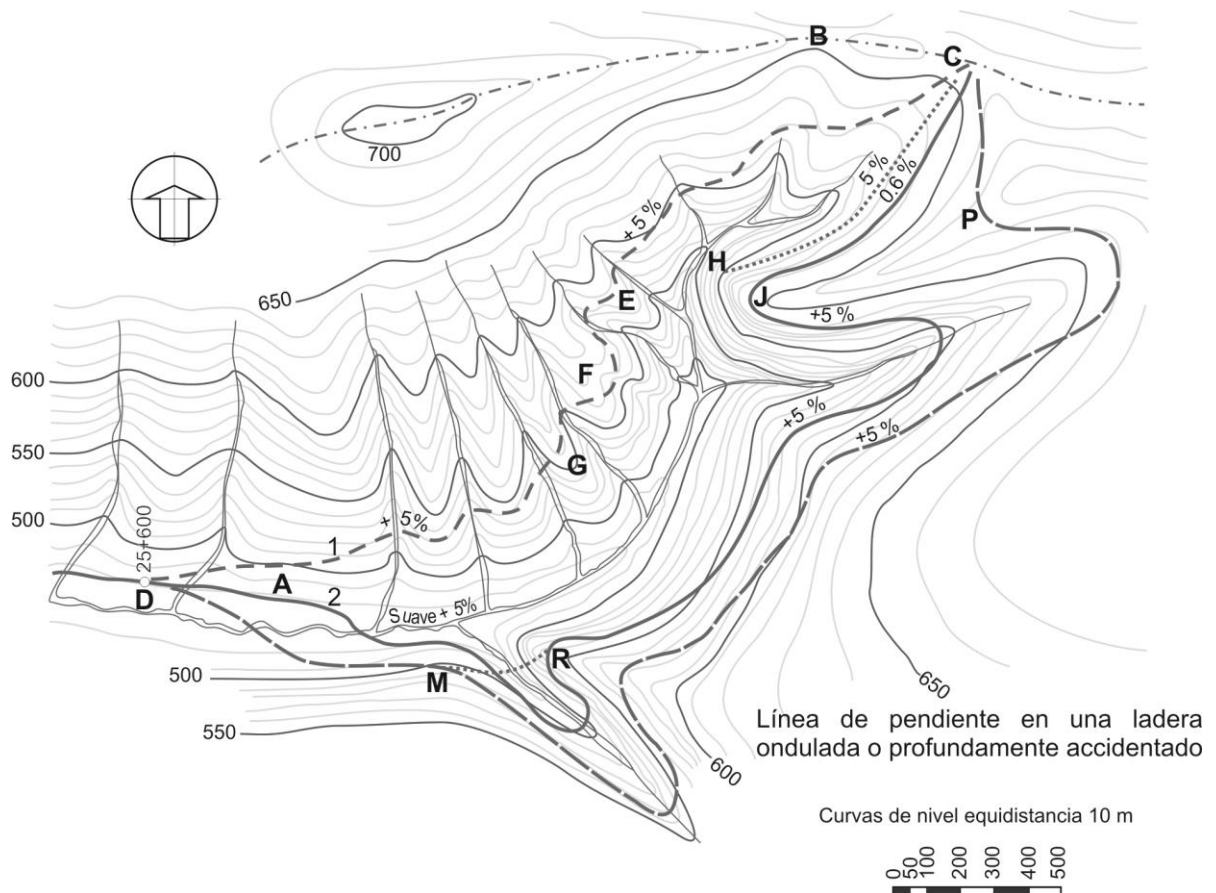


Fig. 3: Estudio de trazados en montaña

7. BIBLIOGRAFÍA

- **CARRETERAS: ESTUDIO Y PROYECTO**
Ing. Jacob Carciente – Editorial Vega S.R.L - Venezuela – 1980.
- **NORMAS DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CAMINOS RURALES**
Ing. Federico G.O. Rühle – Dirección Nacional de Vialidad – 1967.
Actualización y ampliación, 1980
- **PROYECTO DE NORMAS DNV 2010. CAPÍTULO 9 “TRAZADO”**
Dirección Nacional de Vialidad – 2010.