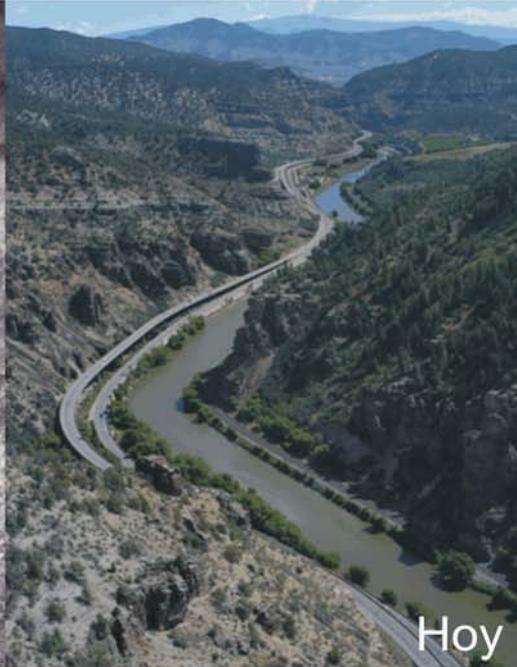




Ayer



Hoy

Índice

9.1	GENERALIDADES	1
9.2	FACTORES DEL TRAZADO	4
9.3	ETAPAS DEL TRAZADO	9
9.4	DOCUMENTACIÓN DEL TRAZADO	23
9.5	EVOLUCIÓN DE ALGUNAS TÉCNICAS DE TRAZADO	25
9.6	DEFINICIÓN DEL TRAZADO	28
9.7	BIBLIOGRAFÍA PARTICULAR DE CONSULTA	35

9 TRAZADO

9.1 GENERALIDADES

Una vez realizados los estudios socioeconómicos que en principio justifican la construcción de un nuevo camino o la relocalización de uno existente, clasificado el camino, fijados los criterios generales de diseño y aprobada la ejecución del proyecto, se realizarán los estudios necesarios para establecer el corredor más apropiado para el nuevo trazado.

Cuando se busca lograr un objetivo hay decisiones y acciones que comprometen toda la operación, y otras cuyas repercusiones o influencia es menor, de efectos localizados, pero imprescindibles en conjunto para alcanzar el objetivo. En lenguaje con tinte castrense: las primeras constituyen la Estrategia, y las segundas la Táctica. Aplicados estos conceptos a la Ingeniería Vial, las decisiones finales de la Planificación Vial junto al Estudio del Trazado marcan la Estrategia, mientras que el Proyecto Definitivo corresponde a la Táctica

- Con el Trazado se busca una combinación de alineamientos rectos y curvos que se adapte al terreno, planimétrica y altimétricamente, y cumpla con los requisitos establecidos.
- Será necesario realizar una serie de trabajos preliminares que básicamente comprenden el estudio comparativo de todas las indistintamente llamadas fajas, franjas, corredores o rutas que podrían ser convenientes, para seleccionar la que proporcione mayores ventajas económicas, técnicas, sociales, estéticas y de preservación de la naturaleza. En inglés se dice establecer el *layout*.
 - Se entiende por ruta o corredor la faja de terreno de ancho variable entre dos puntos de paso obligado en la cual es factible ubicar el camino.
 - Los puntos de paso obligados son sitios establecidos por los estudios de Planeamiento por los que necesariamente deberá pasar el camino por razones técnicas, económicas, sociales o políticas. Tales puntos están constituidos por poblaciones, facilidades topográficas, áreas potencialmente productivas y/ o sitios de interés turístico particular.
- La selección de la ruta es un proceso que involucra varias actividades desde la recopilación, examen y análisis de datos, hasta levantamientos aéreos y terrestres necesarios para determinar costos aproximados y ventajas de las diferentes opciones para elegir la más conveniente.
- Elegida la ruta, como eje de referencia para los levantamientos se adopta una línea que en terreno llano podría llegar a ser el eje del futuro camino.
 - A este eje se refieren los demás elementos geométricos del proyecto, que normalmente se mantienen sensiblemente uniformes a lo largo de apreciables longitudes del camino, según cual sea la topografía del terreno.
- El eje de un camino, que a grandes rasgos va acompañando las ondulaciones del terreno, estará representado por una línea alabeada de componentes X, Y, Z. Normalmente el eje de trazado, representa la “línea de deseo” entre los puntos de control extremos.

- En la etapa de Trazado se establecen principalmente las coordenadas X, Y con precisión, y con menor rigurosidad la coordenada Z, la cual sufrirá posteriores ajustes durante el Estudio Definitivo. En el trazado se resuelve íntegramente el problema planimétrico y parcialmente el altimétrico. En zonas montañosas de topografía abrupta la definición del alineamiento horizontal puede estar condicionado por las consideraciones altimétricas, por lo que la planta se resuelve en función de la viabilidad de las pendientes.
- El sistema de coordenadas X, Y puede ser arbitrariamente elegido o relacionado con sistemas universales o locales existentes. Lo mismo con respecto de la coordenada Z o cota.

- Los errores de trazado son más graves que cualquier otro error porque comprometen a todo el proyecto.

- Por ejemplo, errores en el diseño del pavimento o de una alcantarilla, o falta de barrera de defensa o de elementos para controlar la erosión pueden tener consecuencias molestas, pero dentro de todo son errores tácticos, relativamente fáciles de subsanar.
- Mucho más graves y perjudiciales son los errores de trazado, ya que son de consecuencias definitivas y permanentes; de muy difícil y costosa solución en el mejor de los casos. Solucionar un mal trazado por medio de variantes una vez construida la obra no es más que un paliativo. El mal ya está hecho y la inversión perdida no se recupera.
- A pesar de la gravedad de sus consecuencias, difícilmente los errores de trazado trascienden fuera de los círculos especializados y sean objeto de la crítica pública. A veces, ni en los mismos organismos viales son advertidos.
- Esta falta de trascendencia de los errores compromete aún más la dedicación del proyectista para adoptar soluciones suficientemente estudiadas y que satisfagan los intereses generales.
- No ser negligentes ni favorecer los intereses particulares en detrimento de los sociales. Debe tenerse en cuenta que las soluciones más fáciles no serán en general las más convenientes; p. ej., las dificultades de acceso para estudiar determinada alternativa no debe justificar su descarte.
- Para lograr un buen trazado no hay que confiar en raptos de genial inspiración; se trata de una tarea paciente, de investigación, dedicación, esfuerzo mancomunado.
 - Deben evaluarse todas las opiniones, recopilarse todos los datos de interés, ponderarse todas las alternativas prometedoras.



- Es una tarea que lleva tiempo; los apuros suelen ser perjudiciales.

- NO existe *EL TRAZADO*, el mejor de todos, ya que en su evaluación siempre está presente el factor subjetivo. Por ello, además de tiempo, es esencial que el responsable del trazado conozca y domine todas las tareas de diseño geométrico que siguen: El buen estratega debe estar interiorizado de la adecuada aplicación de los recursos tácticos.
 - El trazado debe resolverse con previsión, con amplia visión.
 - Deben desatenderse, más aún, ignorarse, los circunstanciales problemas económicos o estrecheces financieras. Si es necesario bajar costos, el recurso podría consistir en la reducción de la calidad del pavimento, o prever su construcción por etapas, o sencillamente posponer su construcción. También se podría reducir el ancho de coronamiento de la obra básica, construir badenes en lugar de alcantarillas, forzar pendientes para disminuir el movimiento de tierra inicial. Todo con el pensamiento puesto en la posibilidad futura de ejecutar las obras complementarias sin necesidad de cambiar el trazo.
 - Frecuentemente se presentan opciones de óptimas bondades técnicas pero costosísimas e inabordables en la inversión inicial; tales opciones estudiarse para ajustar el resto del trazado a ellas, de modo que cuando sea factible adoptarlas en calidad de perfeccionamiento de la obra primitivamente ejecutada, no signifique el abandono de importantes tramos de la obra. Generalmente, en esos casos es conveniente afectar con anticipación el derecho de vía requerido por la futura mejora.
 - Al estudiar el trazado de un nuevo camino deberán considerarse todas las soluciones posibles. Debe tenerse siempre en cuenta que la elección del trazado es lo fundamental en el proyecto, la fase de importancia primordial, y que los no previstos ajustes posteriores por lo general no serán posibles por la valorización de las tierras adyacentes, como directa consecuencia de la construcción del camino.
 - Cualquiera que sea la denominación de la etapa, Trazado, Estudios Previos, Anteproyecto, tan importante se considera el trazado que su determinación se trata como un estudio independiente, sin cuya aprobación por parte de la DNV no se podrán efectuar los estudios definitivos posteriores ni el proyecto final.
 - Aparentemente, el estudio de trazado puede faltar en ciertos casos. Por ejemplo, cuando se trata de obras básicas ya ejecutadas, sobre las cuales se proyecta una pavimentación u otro tipo de mejora. En realidad, no es que falte la etapa de trazado, sino que fue realizada antes de proyectar la obra básica existente.
 - En otros casos el estudio de trazado se reduce a la determinación de una línea paralela a otra existente. Por ejemplo, trazado contiguo y paralela a un camino o ferrocarril, o canal existente.
 - Como excepción, cuando su elección no signifique ningún problema, el trazado puede desarrollarse con los estudios definitivos. Pero, en general, el estudio de trazado es previo al de los estudios definitivos.
-

9.2 FACTORES DEL TRAZADO

El trazado de un camino está influido por distintos factores llamados controles.

- Los controles de diseño fundamentales, expresados en el [Capítulo 2 CONTROLES DE DISEÑO], son los factores humanos, la topografía, el tránsito y las características de los vehículos. Constituyen los factores determinantes para la asignación de la categoría de camino y gobiernan la disposición de los elementos geométricos, tales como anchos de calzada, alineamientos, pendientes, distancias visuales
 - Estos elementos geométricos, de los cuales depende la operación segura de los vehículos, deben estar correlacionados para predisponer a los conductores a mantener velocidades de circulación uniformes, lográndose un diseño coherente [Capítulo 3 DISEÑO GEOMÉTRICO]
 - Estos elementos geométricos, de los cuales depende la operación segura de los vehículos, deben estar correlacionados para predisponer a los conductores a mantener velocidades de circulación uniformes.
 - El trazado se resuelve para una dada velocidad directriz, la cual depende de la categoría del camino (tránsito y topografía) y de la clasificación funcional, según las conclusiones conjuntamente acordadas entre Planeamiento y Estudios y Proyectos. Los caminos de la red nacional son esencialmente arteriales.
 - Los controles de paso son los factores determinantes de la ubicación del camino.
 - Los controles de paso primarios u obligados son los establecidos en la etapa de planeamiento: los puntos extremos del tramo y eventualmente algunos 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 ser clasificados en naturales y artificiales.
 - La topografía es el factor natural fundamental. Tiene relación con la mayoría de las características de diseño a establecer.
 - La geología es de capital importancia en zona montañosa, donde puede afectar la ubicación y elementos de un camino.
 - El clima, lluvias, heladas, nevadas, pueden decidir la elección de ubicar un camino sobre una u otra ladera de un valle o cerro.
-

- Los tipos de suelos influyen en el costo de la construcción y conservación de un camino. Se procurará evitar el cruce de terrenos medanosos, orgánicos, arcillosos, salinas. Evitar los suelos malos, como así también los demasiado buenos, la roca, dado lo costoso que resulta su movimiento. Aproximadamente, la relación de costos es 6:1 con respecto al suelo común.
- Las aguas superficiales y subterráneas, si están próximas pueden ascender por capilaridad y afectar la estabilidad y resistencia del terraplén y pavimento.
 - Se recomienda evitar el cruce de zonas de inundación, esteros, lagunas, y donde la napa esté muy alta, dados los costos de las soluciones técnicas adecuadas.
 - Los cursos de agua conviene cruzarlos en puntos estables de su cauce.
 - Procurar no alterar el escurrimiento natural de las aguas superficiales; es conveniente desarrollar el trazado cerca de las divisorias de aguas, si ellas no difieren demasiado de las líneas de deseo del trazado.
- La existencia de yacimientos de materiales aptos para la construcción del camino en las cercanías puede afectar el trazado.
- A mayor altura sobre el nivel del mar disminuyen la presión atmosférica, el abastecimiento de oxígeno y la potencia de los motores de los vehículos. Por tanto, las pendientes de control serán menores.
- El uso del suelo es uno de los factores artificiales más importantes.
 - Las zonas forestales, agrícolas, de cultivos intensivos, industriales, centros comerciales, regimientos, iglesias, escuelas, cementerios, comisarías, hospitales, 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; en lo posible se procurará cruzar las propiedades particulares de modo que los remanentes continúen siendo económicamente explotables. Normalmente ello se logra desarrollando el trazado por las divisorias, cuando no difieren demasiado de las líneas de deseo del trazado.
- El tránsito, su volumen y composición, es el factor artificial principal; a mayor tránsito, mejores condiciones deben corresponderle al proyecto. El consecuente mayor costo de construcción y mantenimiento será compensado por los ahorros en el costo de operación de los vehículos y en el tiempo de los conductores y pasajeros.
- El carácter del camino indica la función o necesidad a satisfacer: comercial, turístico, defensa nacional, fomento. Según el carácter del camino ha de ser el trazado.
 - Es clásico el ejemplo de la incongruencia que significa un trazado directo entre los puntos extremos de un camino turístico que deja a un lado los principales atractivos paisajísticos.
 - En general, los caminos participan de varios caracteres al mismo tiempo.

Aparte de los anteriores hay factores económicos, estéticos y ambientales a considerar.

- Como en todos los emprendimientos, el factor económico es decisivo.
 - Los caminos son obras que requieren grandes inversiones cuya recuperación, mediante los ahorros en los costos de operación y el cobro de peaje, se va acumulando durante su vida útil, variable alrededor de los 25 años.

- Según los casos, puede escalonarse la inversión mediante la construcción por etapas; p. ej., primero las expropiaciones, construcción de la obra básica y obras de arte menores, después el pavimento y por último las grandes estructuras. Este proceso puede llegar a demorar entre 5 y 10 años hasta tener la obra terminada.
- Al escalar la inversión mediante la construcción de la obra por etapas, se emplean los fondos disponibles en la medida que se los obtenga, y se los aplica cuando la necesidad del camino lo justifique. Esa planificación debe ser cuidadosa y selectiva, dado que el beneficio al usuario no es inmediato y se realiza en forma incompleta, y a veces resulta en significativas demoras lo que provoca inquietud por el modo en que el estado invierte lo recaudado por impuestos. No obstante, es un mecanismo que trae beneficios aun cuando no son cuantificables en su totalidad en forma rápida.
- Lo dicho sobre las expropiaciones se refiere a la necesidad de que la zona que abarca el derecho de vía sea lo suficientemente ancha y larga para construir la obra inicial y las ampliaciones previstas, dado lo oneroso de que será adquirir terreno adicional por la revaloración de las propiedades adyacentes al camino.
- Cada vez más, los ingenieros y arquitectos paisajistas se ocupan del tema de la estética vial. La estética del camino no se refiere únicamente a la apariencia atractiva, belleza de las estructuras y tratamiento del paisaje después de terminada la construcción, pues su propósito es lograr la *armonía interna* de los alineamientos en su conjunto, el desarrollo del paisaje, y una circulación segura.
- Debe procurarse alcanzar estos propósitos al mínimo costo y sin provocar deterioros. El respeto por la naturaleza y la vida animal, cuyo hábitat pueda ser afectado por el trazado y por las obras complementarias del camino, o por la circulación de vehículos y emisión de gases y ruidos, se logra mediante lo que se denomina *armonía externa entre camino y entorno*.
- En las fases iniciales del estudio de una ruta, el proyectista deberá prestar particular atención a las implicaciones ambientales de las decisiones que lo conduzcan a la selección de la traza definitiva. Aunque en esas etapas iniciales y en las posteriores del diseño geométrico pormenorizado siempre deberá satisfacer y cumplimentar los requerimientos de evaluación ambiental estipulados por la DNV, las primeras decisiones son esenciales, ya que por lo general las opciones vinculadas con el trazado implican consecuencias de muy difícil corrección o mitigación si no resultasen acertadas. Se advierte la conveniencia de que los especialistas que intervengan en la evaluación del impacto ambiental realicen sus visitas y evaluaciones de campo contemporáneamente con las tareas de selección de la traza y los relevamientos topográficos iniciales, para contribuir a que las decisiones de trazado consideren desde el comienzo de los trabajos los resguardos ambientales que la reglamentación vigente estipula. Para facilitar la identificación de esos aspectos ambientales estructurales en la etapa de planeamiento y trazado del proyecto, se reiteran los consejos detallados en el punto 6.1. Pautas Ambientales de Diseño Manual de Evaluación y Gestión Ambiental de Obras Viales (MEGA) en su versión MEGA II / 2007 de la Dirección Nacional de Vialidad:

- **Trazado por áreas ambientalmente sensibles. Trazados alternativos.** Evitar el trazado de un nuevo camino por áreas de manejo especial protegidas por ley o por zonas ambientalmente sensibles, ya sea por razones de paisaje, patrimonio natural o cultural y localización de pueblos originarios, o áreas donde existan comunidades biológicas especialmente frágiles o valiosas, tales como humedales o hábitats de especies amenazadas, yacimientos arqueológicos, paleontológicos o sitios históricos y arqueológicos. Puede evitarse impactar sobre estos elementos mediante trazados alternativos.
 - **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.
 - **Afectación de comunidades indígenas.** Evitar en lo posible la afectación de los territorios, asentamientos y comunidades indígenas, sitios de valor patrimonial, cementerios y demás sitios relevantes para dichas comunidades, para reducir los impactos ambientales, evitando la eventual relocalización de personas y el deterioro de la calidad de vida de la población local.
 - **Consulta a responsables de planeamiento urbano.** Conjuntamente con el responsable de la planificación de cada ciudad afectada por la traza de la obra, determinar las medidas de diseño necesarias para minimizar los impactos actuales y los futuros en función de los planes de consolidación y expansión urbana.
 - **Viabilidad económica de la obra y costos de medidas de mitigación.** En caso que sea absolutamente necesario efectuar el trazado por áreas ambientalmente sensibles, el proyectista deberá verificar especialmente la inclusión de los costos de la aplicación de las medidas de mitigación ambiental necesarias para ese medio receptor, en el análisis de viabilidad económica de la obra.
 - **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.
 - **Minimizar el efecto barrera del camino.** Diseñar la instalación de obras complementarias de tipo y tamaño adecuado para el paso de la fauna silvestre, ganado, vehículos o peatones, para minimizar el efecto barrera de la ruta, p. ej., cuando parte un ecosistema valioso, como un humedal o un bosque nativo.
 - **Identificación de costos de traslados y eventuales re-ubicaciones.** Identificar los elementos culturales singulares que pueden ser afectados por el trazado de una nueva obra o la ampliación de una existente; prever su traslado, estimar costos y definir las acciones correspondientes a ser incluidas en las Especificaciones Técnicas Ambientales.
-

- **Prever y resolver conflictos con tránsito local.** Considerar las características del uso del suelo del área que atraviesa la traza para minimizar los conflictos entre el tránsito pasante y el local, especialmente en zonas de uso agropecuario intensivo, con presencia de maquinaria agrícola o ganado circulando por la zona de camino.
- **Diseño sensible al contexto.** En áreas turísticas, áreas naturales protegidas o áreas de valor paisajístico, es recomendable que los parámetros de diseño geométrico atiendan estos contextos particulares, para evitar mayores impactos ambientales por predominancia exclusiva de los objetivos tradicionales de dicho diseño (máximas velocidades y mínimos recorridos) por sobre otros criterios de tipo socio-ambiental. El ancho de la zona de afectación directa por construcción de la obra básica, los radios mínimos de curvas, la velocidad directriz y la pendiente máxima longitudinal (y por lo tanto el movimiento de suelos) serán determinantes en la generación de impactos ambientales en estos ambientes sensibles.
- **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 frente a retornos ambientales.
- **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, especialmente para las especies de valor especial.
- **Amenazas naturales y costos de prevención y mitigación.** Proyectar las obras minimizando su exposición a las amenazas naturales y en los casos correspondientes verificar la inclusión de los costos de la aplicación de las medidas de prevención y mitigación ambiental necesarias para ese medio receptor, en el análisis de viabilidad económica de la obra.
- **Participación pública.** Los parámetros de diseño de la obra deben incluir los aportes derivados de las instancias de participación pública para evitar posibles impactos y conflictos sociales.

Los factores humanos, el tránsito, más la topografía en zona montañosa y el uso del suelo en zona llana pueden gobernar casi completamente la ubicación de un camino y ciertas características de diseño. Armonizar todos los factores, muchos de los cuales tiene influencias contrapuestas es un verdadero arte. La acertada conciliación de todas las condiciones revelará el buen criterio del proyectista.

9.3 ETAPAS DEL TRAZADO

Con la palabra etapa se designa el agrupamiento de tareas que tienen ciertas características comunes. No se trata del cumplimiento de un proceso lineal en el que se cumple una etapa, después la siguiente, y así hasta terminar.

Se trata más bien de un proceso de aproximaciones sucesivas en el que los límites entre las etapas pueden ser difusos. Por ejemplo, frecuentemente se vuelve atrás para volver a empezar y probar en otra ubicación, lo cual puede requerir la búsqueda de mayores datos cuando parecía que tal etapa, la de recopilación de datos, había sido completada.

Con las prevenciones anteriores pueden identificarse las siguientes etapas de trazado:

- Recopilación de antecedentes
- Trazados tentativos
- Reconocimientos
- Selección de rutas
- Trazados preliminares
- Trazado definitivo

9.3.1 Recopilación de antecedentes

Es una labor de investigación, tipo gabinete, mediante la cual se recopilan todos los datos disponibles, oficiales y privados, que tengan relación con la zona por la que se desarrollará el trazado. La topografía, geografía, geología, drenaje, uso del suelo y tránsito, tienen efecto determinante en la elección del trazado y constituyen la información básica para el proyecto.

Lo primero por averiguar son los fundamentos en que se basó Planificación Vial para decidir la construcción o mejoras del tramo en consideración, los puntos principales de control, las características principales de diseño establecidas y la categoría de camino. Se averiguará sobre la existencia de estudios anteriores y sobre otras obras planeadas en la zona de influencia del camino. En particular, se requiere reunir información sobre:

- Estudios existentes viales: trazados, anteproyectos, proyectos en organismos oficiales en la Dirección Nacional de Vialidad, Direcciones Provinciales de Vialidad, Consultoras privadas, etc
- Estudios existentes varios: Canales, Ferroviarios, Gasoductos, Puertos, etcétera.
- Aerofotogrametría: fotogramas, restituciones, fotocartas, cartas topográficas, fotos satelitales. Instituto Geográfico Nacional, servicios privados de fotogrametría. Imágenes satelitales y planchetas del Google Earth.

- Cartografía: planos generales, hidrográficos, geológicos, orográficos, división política, edafológicos, de uso del suelo, geológicos, planchetas, restituciones, catastrales. Instituto Geográfico Nacional, oficinas técnicas del gobierno, catastro, negocios inmobiliarios. Imágenes y planchetas de Google Maps.
- Clima: régimen de lluvias, heladas y nevadas, temperaturas, vientos. Servicios 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 y riego.
- Geología: monografías, informes, memorias técnicas, cartas geológicas, publicaciones. Organismos oficiales de geología.
- Topografía: ubicación y cotas de puntos fijos de nivelación y ubicación con coordenadas de puntos trigonométricos. Instituto Geográfico Nacional. DGI provinciales.
- Tránsito: censos realizados, futuros desarrollos con impacto.
- Desarrollo Territorial y Poblaciones: Planes de desarrollo nacionales, etcétera.
- Desarrollo económicos: Régimen de Promoción Industrial, Zonas Francas, etcétera.
- Medio Ambiente: ubicación de áreas sensibles en las cercanías de la traza, etc
- Servicios Públicos: aeropuertos, líneas ferroviarias (estaciones de transferencia multimodal), gasoductos, oleoductos, líneas de alta tensión, canales, acueductos, agua corriente, alcantarillado, líneas de fibras ópticas, etcétera.
- De particular interés son las restituciones, planos con curvas de nivel, en escalas 1:50000 o mayores.

9.3.2 Trazados tentativos

La mejor cartografía disponible se complementa volcando sobre ella los datos relativos a las condiciones de drenaje, valor de la tierra, tamaño, tipo y valor de mejoras importantes, programas oficiales y privados para el mejoramiento de la zona, tipos de suelos, división de la propiedad. Sobre esa cartografía se indican algunas líneas tentativas. Para ello se comienza por marcar los puntos de control de paso primario, por lo menos los puntos extremos del tramo. Luego, a mano levantada sobre tablero o pantalla, con ayuda de hilos o reglas flexibles (polilíneas redondeadas con los comandos *Fit* o *Spline*) se esquematizan las líneas que en primera instancia se consideran factibles y convenientes según los datos hasta entonces disponibles.

Las líneas tentativas se dividen en tramos y éstos en subtramos o secciones (archivos de ágil manejo), designados generalmente con los nombres de los pueblos o lugares extremos a los que unen.

Se señalarán sobre la cartografía varias rutas para un estudio comparativo aproximado. En las diferentes rutas aparecerán tal vez nuevos puntos de paso obligado secundarios, tales como cruces de ríos, estrechamientos, cruce con otras vías. Al dibujar las diferentes líneas que definen las posibles rutas deben considerarse los desniveles entre puntos obligados y la distancia entre ellos, para cumplir con las pendientes máximas y reducir las distancias de subida y bajada del camino.

9.3.3 Reconocimientos

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

- Durante esta visita pueden descartarse algunos de las líneas tentativas por resultar a la vista inconvenientes, o modificarlas parcialmente, o pueden aparecer nuevas posibilidades.
- El reconocimiento permite la localización de los puntos de control primarios ya establecidos y otros que puede convenir considerar. Por ejemplo, pasos naturales, estrechamientos aptos para el cruce en los cauces de ríos importantes, secciones de ferrocarril u otros caminos importantes con ventajas altimétricas para cruzarlas a distinto nivel.
- De gran beneficio resultará que el responsable del trazado trazador sea acompañado por el geólogo e ingenieros viales conocedores de la zona.
- El reconocimiento se hará con el medio de locomoción más apto: camioneta, tracción animal o a pie.
 - Obvias son las ventajas de disponer de una avioneta o preferiblemente helicóptero para esta recorrida.
 - El reconocimiento aéreo es el más ventajoso porque permite observar en poco tiempo las principales características de los corredores en estudio.
- Es recomendable la utilización de minigrabadores para el cómodo registro de notas y estar provisto de cámaras fotográficas, grabadoras portátiles de video, largavistas, clinómetros, altímetros, brújulas, radios portátiles, y navegadores GPS (precisión: 3 m), imágenes extraídas del Google Earth.
- Por lo menos, además del trazador, del reconocimiento participarán los especialistas en suelos, drenaje, geología, e impacto ambiental, y cualquier otro cuya asistencia pueda ser provechosa. El reconocimiento terrestre se realiza como complemento del aéreo o cuando no es posible realizar éste.
 - Se efectuará después de haber estudiado el eventual informe del reconocimiento aéreo y las líneas trazadas sobre las cartas y comparar en forma gruesa los costos y beneficios de cada una de ellas, eligiendo las que parezcan más convenientes para confirmarlas sobre el terreno.
 - Es muy importante contar con un guía que conozca la región para tener la seguridad de que el reconocimiento se hace sobre la ruta fijada en la carta.
- Durante el reconocimiento se dejan señales -marcas de pintura en árboles, piedras, postes de alambrados, trozos de láminas de plástico de llamativos colores fosforescentes atadas en ramas de árboles, palos con banderas- para que sean fácilmente identificadas durante las labores posteriores y al mismo tiempo se marcan “waypoints” y “tracks” en el navegador GPS, para su posterior control en gabinete con el software Google Earth.

9.3.4 Selección de rutas

El proceso de trazado, de aproximaciones sucesivas, implica una búsqueda continua, una evaluación y selección de las franjas de terreno merecedoras de estudios más detallados, después de haber practicado el reconocimiento, evaluación, selección y ajuste de los trazados tentativos. Las franjas seleccionadas son denominadas rutas, las cuales, normalmente no superan el número de tres entre puntos principales de control.

9.3.5 Trazados preliminares

Excepto el reconocimiento expeditivo, hasta ahora las tareas han sido de gabinete. Una vez seleccionadas las rutas se efectúa un levantamiento topográfico para obtener información adicional, cuyo grado de detalle dependerá de la calidad de la información antecedente.

- Cuando no se cuenta con cartografía apropiada, la labor más delicada para la elaboración de un proyecto vial en topografía accidentada es el levantamiento de los datos necesarios para la determinación del trazado a adoptar.
- Los levantamientos pueden ser aéreos o terrestres, utilizados separada o conjuntamente.
 - El método terrestre, topografía convencional, es aconsejable cuando los posibles trazados han quedado bien definidos, el ancho de la franja es reducido y el uso del suelo escaso.
 - El método aéreo es preferible cuando los posibles trazados no han quedado bien definidos, cuando el terreno es muy accidentado y el uso del suelo intensivo. Es de aplicación ideal en terrenos tipo superficie irregular. En cambio no resulta tan práctico en terrenos tipos cañón o valle angosto y encajonado o de espesa cubierta vegetal. Además el método aéreo permite mantener reserva sobre los trabajos preparatorios lo que dificulta la especulación inmobiliaria y las presiones interesadas.
 - En general, la decisión de adoptar uno u otro método estará basada en consideraciones económicas y de disponibilidad de medios físicos y humanos según la exigencia de cada una de las técnicas posibles. Otros factores determinantes: la vegetación, el clima, la topografía, la accesibilidad a la zona, el plazo de ejecución.
 - Aparte de la altura de vuelo y el ángulo de toma de las fotos, la precisión de la aerofotogrametría dependerá de la altura, densidad y tipo de vegetación existente; además, en regiones de clima estacional -posición del sol, nubosidad- dependerá también de la temporada y horas del día en que se tomen las fotos.
 - En general, considerando la topografía, el método aerofotogramétrico es cada vez más conveniente cuanto más accidentado sea el terreno, dadas las mismas condiciones de vegetación y clima.

- Otro factor geográfico que puede decidir la elección del procedimiento a seguir es la dificultad de acceso a la zona del camino en estudio, por los mayores costos logísticos y tiempo, resultantes de la movilización, atención y manutención del personal y equipo de trabajo, y la dificultad de las comunicaciones.
 - Cuando el plazo de ejecución es corto, generalmente favorecerá decidirse por el método aerofotogramétrico.
 - Sin embargo, en caso de no contar con los fotogramas o que su toma no pueda realizarse de inmediato por condiciones meteorológicas desfavorables, podría ser conveniente utilizar el método terrestre o convencional.
 - Si se adopta el método terrestre, será necesario enviar al terreno una comisión de estudios con personal técnico, obreros, instrumental, equipo y movilidad adecuados a la tarea por realizar.
 - Es muy difícil indicar valores, aunque sean medios, de la extensión y duración de las tareas. Depende mucho del tipo de zona, del ancho de las fajas, la calidad de la cartografía disponible, de la experiencia del personal.
 - Las tareas de levantamiento deben realizarse o ser supervisadas directamente por el profesional responsable del trazado para relevar lo que realmente interesa. Por ejemplo, sistema de escurrimiento de las aguas pluviales, divisorias de propiedades, aguas permanentes, uso del suelo, líneas de servicios públicos, singularidades topográficas.
 - Para el levantamiento de la franja se toma como base una poligonal, conviene que sea cerrada, cuyos lados no se aparten demasiado de lo que en principio se estima puede ser la línea del trazado.
 - Según cuál sea el instrumental con que se cuente y los accidentes y vegetación de la zona, será el método de levantamiento a emplear.
 - Cuando se estudia un trazado probable, no basta con el estudio del alineamiento planimétrico. Es necesario también tener clara idea de las posibilidades de una determinada línea para desarrollar la altimetría. Pueden darse varias situaciones:
 - Zona accidentada con vegetación escasa: levantamiento areal planialtimétrico con estación total.
 - Zona accidentada con vegetación densa: poligonales auxiliares abiertas para levantamientos por coordenadas rectangulares o levantamientos taquimétricos con teodolito o nivel con tornillo de pendiente, o clinómetro y cinta.
 - En todos los casos de levantamientos en zona accidentada será recomendable que la poligonal básica se mida con estación total, y materializada con referencias de hormigón.
 - El método de levantamiento terrestre no tiene por qué ser único para todo el tramo; se irá cambiando de método según lo aconsejen las circunstancias.
 - Por ejemplo, en determinada zona de particular dificultad se realizará un levantamiento detallado, sobre la base de poligonal básica y líneas auxiliares. A continuación puede haber una llanura, una meseta, un amplio valle que puede levantarse rápidamente con odómetro, clinómetro y GPS navegador. Luego puede venir otra zona difícil que requerirá el apoyo de otra poligonal que no es necesario conectar exactamente con la anterior.
 - La relación establecida por medio del odómetro, navegadores GPS y clinómetro es suficiente para los propósitos de esta etapa.
-

- Deben dejarse identificados en el terreno puntos suficientes para los trabajos posteriores, y es muy conveniente que uno o más peones del personal auxiliar sean buenos conocedores de la zona, ahorrando recorridos inútiles y búsquedas infructuosas.
- Sobre la base del previo análisis de la cartografía y fotografías, y del reconocimiento aéreo y terrestre preliminar, pueden detectarse las cuencas de los ríos, arroyos y quebradas que los trazados preliminares intersectan.
 - A esta altura del estudio los caudales se calcularán con métodos con los cuales se dimensionarán las obras de arte menores en forma preliminar.
 - Análogamente, para los puentes se efectuará un estudio hidrológico para estimar el caudal máximo que se puede esperar y un análisis hidráulico para predeterminar el área de la sección necesaria.
 - Si en las inmediaciones del cruce, aguas abajo o arriba, existen puentes viales o ferroviarios, hay que averiguar su comportamiento, ya sea por referencias de vecinos o por registros de la oficina responsable.
- A la par de las tareas técnicas hay que desarrollar una intensa actividad de búsqueda de información adicional, tanto en los pueblos como en el campo. Puede ser muy útil pedirle a las autoridades públicas de la zona, averiguar el valor de las tierras en las empresas inmobiliarias, conversar con puesteros, baqueanos, poceros. Mediante esta actividad social se pueden obtener invalorable datos no registrados, a lo mejor, en la información anteriormente recopilada.
- 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 los especialistas en suelos y materiales, principalmente en zonas donde se sospeche la presencia de sales, arcillas expansivas, suelos orgánicos, o suelos colapsibles. El conocimiento de los suelos indicará si se podrán utilizar en los terraplenes los productos de las excavaciones, o si habrá que buscar préstamos de suelos mejores.
 - Se reconocerán los posibles yacimientos de materiales para el pavimento y las estructuras y se tomarán muestras para ensayos expeditivos para determinar las cantidades disponibles de materiales adecuados para materiales seleccionados, capas granulares, pavimentos y hormigones.
- Las recomendaciones para los estudios preliminares de suelos de la traza, perforaciones, sondeos, perfil edafológico y perfiles geotécnicos están indicadas en la Parte B de las Instrucciones Generales.
- Todos los asesoramientos especializados pesan económicamente muy poco en el presupuesto de la obra y gracias a ellos se podrán elegir las soluciones correctas en lugares dificultosos.

Como en cualquier otra actividad de la ingeniería vial, debe ser una tarea de equipo de frecuente consulta a los especialistas, para que las ideas se vayan aclarando y tomando forma.

- El proyectista responsable y capaz va imaginando la obra construida, superando mentalmente las dificultades y previendo los posibles contratiempos. A medida que se efectúan los levantamientos y se evalúan críticamente, se va ajustando la línea o las líneas que se consideran factibles de llegar a ser el eje del futuro camino. Los levantamientos en zona accidentada se representan en planos de trabajo con curvas de nivel a escala y equidistancia adecuadas.
- Los datos de los levantamientos realizados con estación total, almacenados automáticamente en libretas electrónicas, directamente se transfieren a la computadora que con un programa vial calculará rápidamente el modelo digital del terreno, a partir del cual pueden plotearse planos con curvas de nivel y perfiles longitudinales y transversales de cualquier línea de interés.
- Sobre los planos con curvas de nivel se podrán trazar las líneas de pendiente uniforme que se deseen, con el método tradicional del compás o con reglas flexibles graduadas, o con comandos de los programas viales.
- Si el programa de diseño geométrico asistido por computadora lo permite, sobre el modelo digital del terreno, o sobre las curvas de nivel respectivas, se podrán realizar en forma interactiva los trazados tentativos y las evaluaciones correspondientes.

9.3.6 Trazado definitivo

Cuando no hay dudas sobre las bondades superiores de uno de los trazados preliminares estudiados y existe el convencimiento de no haber otra solución sensiblemente mejor, se la adopta como trazado definitivo

- En general será posible adoptar definitivamente un único trazado; si ello no es posible se compararán con mayor detenimiento las opciones posibles. Corresponderá hacer rápidas evaluaciones económicas empleando costos unitarios de procedencia estadística correspondientes a caminos de características similares.
- Si las dudas persisten, habrá que preparar anteproyectos para cada uno de los trazados considerados posibles; realizar cómputos métricos, análisis de precios y presupuestos de máxima.
- En otras ocasiones la elección puede estar dictada por factores de ponderación más subjetiva: la seguridad, la estética, la armonía con el paisaje.
- También puede ocurrir que estas tareas de valoraciones relativas se realicen para el área de planificación vial; para que pueda tomar sus decisiones con mayor fundamento. Serían asimilables a estudios de factibilidad, una especie de subetapa entre la planificación y el proyecto.

En lo relativo a estudios de trazados específicos, la metodología de los estudios de factibilidad no se aparta de lo tratado para los estudios preliminares.

- Para una buena elección del trazado definitivo puede ser conveniente complementar los siguientes estudios:
 - Hidrológicos
 - Suelos y materiales
 - Yacimientos
 - Impacto ambiental

- Predimensionamientos de las alcantarillas
 - Puentes
 - Pavimento
 - Adoptado el trazado definitivo, habrá que materializarlo con referencias de hormigón o madera dura. Antes de esta etapa, la materialización fue mediante estacas; en las secciones donde se han estudiado varias líneas debieron tomarse precauciones para distinguir las estacas correspondientes a cada una de ellas. Ello puede lograrse por la inscripción de la estaca, por el color de su pintura u otro medio que se considere apropiado.
 - Los mojones de hormigón, están normalizados según [Capítulo 10 INSTRUCCIONES GENERALES], y se ubicarán en lugares preferentes: en las alturas, en ambas orillas de un río o quebrada importante, a la entrada de un bosque, en estructuras, en las inmediaciones de cruces con otras vías, etcétera.
 - Según cuál sea el tipo de instrumental topográfico para los levantamientos y replanteo, será el tipo de poligonal a materializar.
 - Cualquiera que sea la poligonal básica o envolvente, los mojones de hormigón se denominan puntos de línea (PL), o vértices (V). Los mojones de hormigón deben ser prolijamente balizados, referidos a elementos físicos fijos que haya en las inmediaciones, o en todo caso a otras referencias de hormigón testigo. No es aconsejable balizar sobre estacas, pero sí sobre grandes árboles, postes de alambrado, cabeceras de alcantarillas, edificios. La finalidad principal del balizamiento es doble: facilitar la ubicación del mojón de hormigón, que puede estar completamente enterrado, o reconstruir su ubicación en caso faltante. Aunque con dos medidas sería teóricamente suficiente, es recomendable tomar por lo menos tres medidas de balizamiento.
 - Una buena ubicación de las referencias de hormigón para preservar su permanencia es cerca, más o menos un metro, de los alambrados. No ubicarlo demasiado cerca porque puede dificultar el hacer estación sobre él con el instrumento.
 - La materialización se complementa con estacas de línea (EL) debajo de cada alambrado que se cruce y el pintado de la cabeza de los postes más cercanos.
 - A la entrada de montes y bosques conviene pintar marcas en los árboles a cada lado de la senda.
 - En la materialización del trazado conviene pecar por exceso que por defecto; más vale gastar unos litros más de pintura que perder tiempo para encontrar la línea. Además puede ocurrir que las siguientes tareas de estudio definitivo no se realicen enseguida y pasen varios años entretanto, o - no es conveniente pero suele ocurrir - que el estudio definitivo se realice sin la participación de ninguno de los responsables del trazado.
 - Una vez materializada, la poligonal será medida totalmente, lineal y angularmente, directa o indirectamente, y se completará el levantamiento planialtimétrico.
 - Las poligonales se cerrarán sobre sí mismas o en puntos trigonométricos del Instituto Geográfico Nacional.
-

- Aunque angularmente se acepta una aproximación de 1', sin mayor esfuerzo se puede obtener mucha mejor precisión, en razón de la calidad del instrumental actualmente en uso. No estará de más tomar en cada estación el rumbo magnético.
Con preferencia, las mediciones y replanteo se realizarán con estación total, con libreta electrónica de registro automático de datos y programas para replanteos viales.
- Se complementará el levantamiento ubicando todos los accidentes topográficos característicos del lugar y todo elemento adherido al suelo que interese al trazado: casas, plantaciones, caminos, líneas férreas, alambrados, líneas telegráficas, telefónicas, eléctricas.
- En los casos comunes, las estaciones del trazado se llevan por los lados de la poligonal; es decir, pueden no replantearse las curvas en esta etapa. Pero sí debe tenerse en cuenta su probable desplazamiento respecto de la poligonal para el levantamiento de los detalles que interesen al trazado de las respectivas curvas. En tales casos, el replanteo de la curva se hará en la posterior etapa del estudio definitivo.
- De particular interés es el levantamiento de los límites de propiedad y el registro de los nombres de los propietarios; estos datos permitirán la iniciación de las gestiones para adquirir los terrenos necesarios para la obra.
- Se anotarán las condiciones y características de los terrenos afectados, tipos de cultivos, obras de riego; costo aproximado de terrenos, de edificios y demás mejoras afectadas, para estimar los costos de las expropiaciones.
- El detallado levantamiento altimétrico, longitudinal y transversal, se hará en los sectores accidentados y en la medida suficiente como para tener la seguridad de poder proyectar oportunamente una rasante con pendientes admisibles, bien coordinada con la planimetría y sin excesivo movimiento de suelos.

9.3.7 Particularidades del trazado en zona montañosa

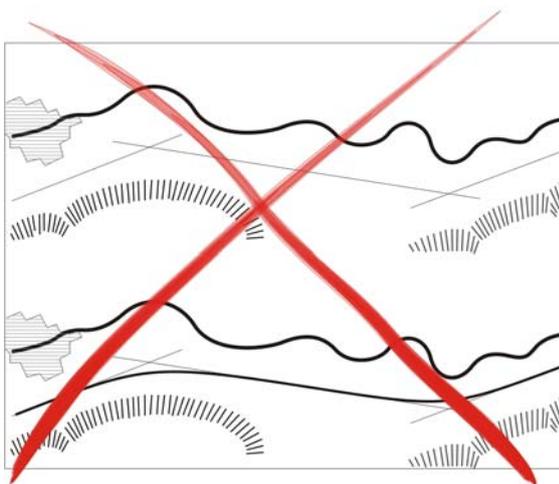
El trazado en zona montañosa tiene ciertas particularidades que lo distinguen del trazado en zona llana.

- La ley del mínimo esfuerzo, instintiva en los animales y elaborada en los hombres, indica que entre los puntos de paso obligado, el plano inclinado del camino debe ser lo más directo posible habida cuenta del uso de la capacidad de ascenso del vehículo de carga más representativo del parque automotor que se haya considerado.
- En llanura, el trazado más directo entre dos puntos es el segmento de recta que los une.

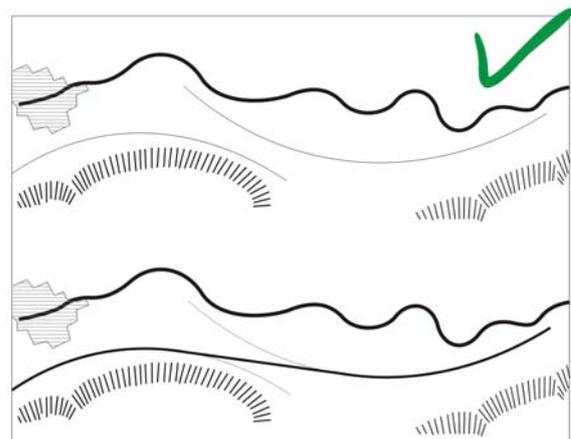


- En montaña, en cambio, cuando la razón entre el desnivel entre dos puntos y su distancia horizontal supera el valor de la pendiente máxima admisible, será necesario aumentar la longitud del trazado mediante faldeos. En quebradas o valles lineales de pendiente natural relativamente suave, el trazado más directo resultará del mejor aprovechamiento de la topografía.
 - Cuanto menor sea la pendiente máxima admisible, mayor será la longitud de camino necesaria para salvar un desnivel dado. El problema es determinar cuál es la pendiente máxima recomendable. Se trata de un complejo problema técnico y económico con distintos factores a considerar: volumen y composición del tránsito actual y futuro, capacidad operación del tránsito, principalmente del pesado, condiciones de seguridad, velocidad y comodidad, efecto combinado de pendientes y curvas horizontales, variación de los costos de operación de los vehículos, costos de construcción, de conservación. Según algunos estudios, tal pendiente es del orden del 5 % para condiciones medias.
 - Para el caso particular en consideración se deberá determinar la pendiente máxima recomendable según el modelo teórico más conveniente según los datos disponibles, o por comparación con caminos existentes de similares características, es decir, sobre la base de la experiencia.
 - El valor de la pendiente máxima constituye uno de los parámetros básicos en el proyecto de caminos en montaña. Si se descuida su consideración en la etapa de trazado, será muy costoso, difícil o imposible pretender enmendar los errores mediante el trazado de una rasante abundante en profundos desmontes y altos terraplenes. En la determinación del valor de la pendiente máxima no debe omitirse la consideración de la altura sobre el nivel del mar y su influencia en la potencia de los motores de los vehículos.
 - A mayor número de curvas y menor radio, en mayor proporción resultará reducida la pendiente media y por consiguiente aumentada la longitud del camino entre dos puntos con un desnivel dado. No siempre resulta económico reducir el radio de una curva para evitar importantes movimientos de suelos o muros de sostenimiento, ya que procediendo así se está imponiendo una disminución de la pendiente, lo que significa una mayor longitud de camino. Este alargamiento puede requerir la inversión de lo pretendidamente economizado en la curva, a la vez que se establece una mayor dificultad para la operación de los vehículos.
 - Al proyectar curvas de radio reducido, tomar en cuenta que la curva exterior, ciega, convexa, es más peligrosa que la interior, entrante, cóncava. Por lo tanto, en las primeras se evitarán con más empeño los radios reducidos.
 - No siempre será posible llevar una pendiente aproximadamente uniforme; se tratará de evitar las bajadas que luego deban volverse a subir.
 - Para evitar en lo posible grandes obras de arte se tratará de desarrollar el trazado por las partes altas, por las divisorias de aguas que se presenten en ubicaciones favorables y adecuadas. Siendo así, las obras de arte serán de menor importancia y se reducirán o eliminarán los riesgos de destrucción de la obra por avenidas de agua, avalanchas, desmoronamientos y aludes. Un trazado en zona montañosa puede tener partes con características de camino de llanura.
-

- Para evitar que la ubicación del eje signifique importantes elevaciones del costo, se deben aplicar procedimientos, ya sea mediante métodos gráficos, con el uso de programas de computación, o mixtos, que permitan la minimización de los costos de movimiento de tierra mediante el ajuste de la ubicación del eje.
 - Para ello, primero se traza una rasante tentativa con el criterio de compensar las áreas de corte y terraplén. Las cotas de la rasante tentativa se trasladan a las respectivas secciones transversales del terreno natural. Sobre cada una de ellas se minimiza el volumen de movimiento de tierra en sentido transversal mediante desplazamientos exclusivamente laterales del eje. Luego se trasladan a la planimetría la posición óptima del eje en cada sección transversal. Algunos programas de diseño computarizado registran esas posiciones deseables del eje en forma automática, para que el proyectista las tenga presentes al elaborar una nueva versión del mismo. Si el nuevo eje así obtenido está conforme por lo menos con los requerimientos planimétricos mínimos de las normas, será adoptado como definitivo.
 - Caso contrario, se lo modifica rectificándolo o curvándolo de modo que represente el promedio ponderado de los desplazamientos laterales óptimos.
- Se recomienda el mayor cuidado al considerar el trazado de las curvas y pendientes en las secciones de topografía cambiante; entre las velocidades compatibles con las distintas características del terreno debe resultar una transición razonable y no sorpresiva para el conductor. Son especialmente aplicables para estos casos las indicaciones de esta norma sobre la necesidad de mantener la coherencia geométrica del diseño planimétrico del [C3].
- En llanura, la técnica de trazado es relativamente sencilla: se traza la poligonal del eje del proyecto y sus lados se acuerdan con las curvas tratadas en el [C3].



NO



SI

En terreno montañoso la técnica correcta es al revés: primero, sobre el MDT con curvas de nivel (en papel o pantalla) se ubican las curvas circulares con ayuda de plantillas físicas o virtuales, se deja entre ellas por lo menos la separación mínima total p (curva-curva) requerida por las curvas de transición, y luego se trazan las tangentes a las circunferencias de radio R más el p individual (curva-tangente), con el comando *Offset*.

Recomendaciones generales

Es imposible establecer un método exacto o dar reglas concretas para la elección del trazado; la indeterminación es grande y debe primar una exhaustiva investigación de los datos de campo y de gabinete y el buen criterio del proyectista.

Lo que sí puede establecerse es una serie de recomendaciones, pautas o guías generales, cuya observancia dependerá del caso particular.

Frutos de la experiencia acumulada en la especialidad, las recomendaciones suelen clasificarse según el aspecto preponderante involucrado. Así se las puede considerar según la planimetría y altimetría; técnica y economía; funcionalidad y estética; seguridad y capacidad. Pero como los límites no son precisos y para no sugerir un inexistente orden jerárquico, a continuación se las reitera [C3] al azar, sobre la base de las recomendaciones de los recordados ingenieros Palazzo, Costantini y Rühle, a tener en cuenta DESDE el TRAZADO.

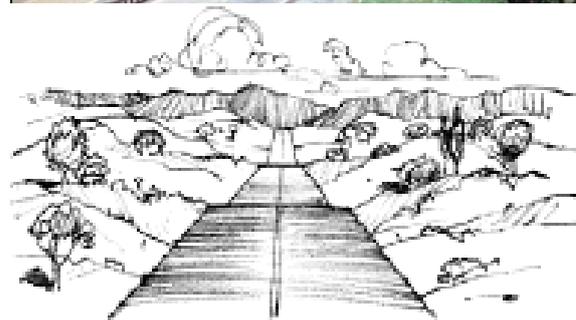
- Con la debida consideración de todos los factores, principalmente topografía y uso del suelo, tránsito, seguridad y en beneficio de la economía, el trazado debería ser lo más directo posible entre los puntos de paso obligado.
- En la actualidad, trazado directo no quiere decir trazado recto. Una línea que se adapte al terreno natural es preferible a otra con tangentes largas con repetidos cortes y terraplenes. Antiguamente el trazado en zona llana o suavemente ondulada se reducía a unir directamente con segmentos de recta los puntos principales a servir. Además, los investigadores viales, principalmente norteamericanos, comprobaron la inconveniencia de las largas rectas.
Se constató una mayor frecuencia de accidentes en tales tramos, atribuibles a la falta de atención en la conducción y al aumento de los tiempos de percepción y reacción motivados por fatiga y aburrimiento, consecuencias de la monotonía del paisaje. Además es grave el problema de encandilamiento, ya sea por las luces de los faros del tránsito opuesto en operación nocturna o por el resplandor del sol naciente o poniente en trazados de sensible dirección este-oeste.
Para evitar estos inconvenientes y mantener la atención del conductor se recomienda reducir la longitud de los alineamientos rectos mediante la introducción de pequeños quiebres, alrededor de 5 a 10° de ángulo de desviación, acordados con curvas de amplio radio, pero no tan grande que invalide la razón de su introducción. Para ello se recomienda no proyectar radios superiores a los 5000 m. En cuanto a la longitud máximas de las rectas, esta norma recomienda no superar la relación de $L_{m\acute{a}x} (m) = 20 V$ (km/hora).

Que el límite sea 5, o 2 km resulta irrelevante; lo importante es que el proyectista pondere con propiedad el concepto de la inconveniencia de los largos alineamientos rectos, y el de contar con adecuadas y frecuentes secciones para la operación de adelantamiento en caminos comunes de dos carriles. Al aplicar este criterio, el proyectista debe procurar sacar ventajas en otros aspectos del proyecto; p. ej.: en la forma de dividir las propiedades afectadas o el emplazamiento de alcantarillas y puentes.

- En las rectas de zona ondulada, el camino aparece y desaparece a los ojos del conductor, resultando una evidente falta de armonía entre el camino y el paisaje circundante. Cada ocultamiento del camino en el perfil con posterior aparición más lejana se denomina *pérdida de trazado*. Más gráficamente se denomina "*montaña rusa*"; es una solución sin ningún realce estético que debe evitarse. Se debe procurar que la longitud de las rectas forme un conjunto armónico con el resto del trazado y no generar un trazado artificialmente curvilíneo que restrinja en demasía la visibilidad para rebasar.



- Para una velocidad directriz dada, se debe tratar de evitar el uso del radio mínimo permisible. En general se debe tender a usar curvas suaves reservando el radio mínimo para las condiciones críticas inevitables. Es deseable un alineamiento uniforme sin quiebres bruscos en su desarrollo. Deben evitarse las curvas forzadas después de largas rectas, o el paso repentino de tramos de curvas suaves a otros de curvas forzadas.



En estos casos, la solución consiste en intercalar curvas con radios gradualmente menores y variaciones de velocidad entre 15 y 20 km/h en longitudes de un par de kilómetros.

- Por razones de seguridad, es preferible construir los inevitables terraplenes altos y largos sobre alineamientos rectos o de muy suave curvatura.
- En terreno plano deben evitarse las curvas compuestas; en terreno accidentado pueden ser imprescindibles. La conexión directa puede realizarse para una relación de radios no mayor de 1,5. En los demás casos deberá introducirse una transición ovoide de gradual y conveniente variación de la curvatura.

En todos los casos las curvas inversas deben proyectarse con transiciones de longitudes suficientes para que los cambios de fuerza centrífuga y peraltes sean suaves.

- Es preferible proyectar curvas reversas de radios suficientemente grandes y con transiciones en lugar de introducir una corta tangente intermedia entre curvas cerradas. De esta forma el giro del volante en la inversión de curvatura es gradual y continuo; el cambio de fuerza centrífuga en uno y otro sentido es imperceptible y la variación del peralte puede resolverse con elegancia.

Evitar las curvas horizontales próximas del mismo sentido. Buscar de reemplazarlas por una única curva simple o compuesta. La razón es doble: estéticamente es una combinación de apariencia distorsionada y psicológicamente el conductor que toma una curva en un sentido, inconscientemente espera que la siguiente sea en sentido contrario. Si la unificación de las curvas no es posible o económicamente conveniente, se tratará que la recta intermedia cumpla con los valores mínimos definidos en la [SS3.5.1].

- Si bien el alineamiento vertical se proyecta en detalle en la etapa de proyecto final, es en el trazado cuando se condiciona la resolución posterior del perfil de la rasante. Si esta recomendación es desatendida durante el trazado, será difícil y costoso tratar de observarla en el proyecto final. Advertir *“pérdida de trazado”* en la fotografía →
- En los caminos de dos carriles y dos sentidos, la necesidad de proveer tramos a intervalos frecuentes con visibilidad para rebasar con seguridad, influye en la combinación de los alineamientos. Hay que dar secciones rectas suficientemente largas para asegurar la distancia visual para rebasar. esta condición es innecesaria en caminos con dos calzadas físicamente divididas, mediante mediana o barrera; y en el caso de separación suficientemente ancha, se pueden emplear diferentes combinaciones planialtimétricas para cada sentido de circulación.
- En las subidas largas procurar que la pendiente mayor esté al comienzo del ascenso y luego la pendiente menor. Principalmente tener en cuenta esta recomendación donde en la composición del tránsito sea importante el número de vehículos pesados que, con pendientes dispuestas en la forma recomendada podrán operar más eficientemente. Un perfil escalonado es preferible a una sola pendiente sostenida, porque un tramo en pendiente reducida permite a los vehículos pesados aumentar su velocidad ante un ascenso más fuerte. En caminos en zona montañosa con alta proporción de camiones, puede ser económicamente ventajoso al reducir el movimiento de tierra, la separación planialtimétrica de las calzadas. Los beneficios, aparte de los económicos resultantes del menor movimiento de tierra, pueden ser ahorros en los costos operativos y aumento de la velocidad, seguridad y capacidad.
- No adosar el trazado a vías férreas o canales. La recomendación está referida a las rutas troncales de la red nacional. Si se las adosa a ferrocarriles o canales se reduce su zona de influencia por la limitación de ingreso desde uno de sus lados. Ingreso que por otra parte resulta difícil de solucionar en forma técnicamente correcta. Excepto los casos en que insalvables obstáculos topográficos no permiten otra solución, o que se trate de proyectos conjuntos, deben alejarse los caminos de los ferrocarriles y canales; la distancia mínima debería ser del orden de un par de kilómetros.



Un frecuente inconveniente por adosar el camino al ferrocarril es el paso por los pueblos que se han desarrollado alrededor de las estaciones del ferrocarril.

- El paliativo típico es el desvío (by-pass), variante formada por doble curva-contracurva que pasa por las afueras del pueblo. Hay numerosos ejemplos, algunos muy peligrosos por el inadecuado diseño de las bifurcaciones que posibilitan graves choques frontales.
- Servir a las poblaciones sin cruzarlas. La razón básica es evitar la interferencia del tránsito local sobre el directo de larga distancia. Los caminos deben servir a las poblaciones pasando por las afueras a distancias variables en función de la importancia de aquellas y de su previsible crecimiento. Puede haber justificables excepciones; no sería razonable alejar el trazado de la única población existente después de un largo recorrido o al final de éste, a donde la gran mayoría de los vehículos ingresarán.
- En resumen:
 - Asegurar buenas condiciones de drenaje
 - Minimizar el costo de las expropiaciones
 - Destacar y realzar las bellezas naturales
 - Resolver los cruces ferroviarios a distinto nivel en ubicaciones planialtimétricas favorables
 - Los cruces ferroviarios a nivel inevitables, deben tener óptima visibilidad
 - Las obras de arte mayor deben estar pensadas desde el trazado



9.4 DOCUMENTACIÓN DEL TRAZADO

La documentación resultante del estudio de trazado comienza a prepararse en el gabinete de campo y puede complementarse en las oficinas centrales. Constará de planos, memoria descriptiva, presupuesto de máxima, datos, antecedentes y elementos de juicio básicos.

9.4.1 Planos

- Deberá prepararse una planialtimetría general; de ser posible, en escalas H y V apropiadas para que quepa el tramo en una sola lámina, y un croquis de ubicación que comprenda por lo menos todo el departamento con indicación de las rutas principales.

- Se confeccionarán las planimetrías con curvas de nivel a equidistancias iguales al número de miles del denominador de la escala y planialtimetrías de detalle y perfiles transversales de las secciones que lo han requerido, por sus accidentes y complejidad, levantamientos particularizados de los sectores que lo merezcan.
- Se agregarán los diagramas de velocidades directrices, de curvatura, y de peraltes.
- Se indicará la ubicación, tamaño y tipo tentativos de los puentes y otras estructuras importantes previstas, ríos, poblaciones, divisorias de propiedades, estructuras existentes, etcétera.
- Se preparará en escala 1:100 un perfil tipo de obra a ejecutar que muestre además la posición de la obra con respecto de los límites de la zona de camino propuestos.

9.4.2 Memoria descriptiva

Es la parte medular de la documentación de trazado, el alegato técnico y económico del proyectista ante las autoridades competentes, a las que debe demostrar la bondad y conveniencia del trazado elaborado para merecer su aprobación. Al respecto, para reducir los tiempos de demora puede ser conveniente ir pidiendo la aprobación del trazado por secciones entre puntos principales de control o de paso obligado.

Se tratarán sucesivamente los puntos siguientes, agregándose todo otro dato que se estime de interés:

- Elementos de juicio consultados previamente: datos recopilados, conclusiones de los estudios previos de planificación.
- Tipo de región.
- Descripción de los puntos principales de paso.
- Descripción detallada del trazado adoptado y su justificación. Longitud medida del tramo, pendientes máximas, cambios de velocidad directriz.
- Personal profesional jerárquico de la autoridad competente que inspeccionó las tareas, y sus comentarios, sugerencias, recomendaciones u órdenes.
- Instrumental utilizado.
- Cantidad y ubicación de referencias de materialización del trazado dejadas en el terreno, con monografía de balizamientos.
- Sistema de coordenadas y de nivelación adoptados.

9.4.3 Presupuesto de máxima

- Deberá prepararse un presupuesto de máxima de las obras a ejecutar y de las inversiones necesarias para la adquisición del derecho de vía.
- Los alambrados deberán considerarse en detalle y por separado puesto que puede convenir construirlos por administración antes de la licitación de la obra, para contar con la zona liberada y físicamente delimitada antes de iniciar los trabajos. Así se podrá cumplir con el programa de trabajo que más convenga, sin estar supeditados a las contingencias debidas a la especulación de los terrenos o a la oposición de sus propietarios.

- Se estimará el costo de las obras a ejecutar por kilómetro, separando en rubros principales: obras básicas, pavimento, estructuras y obras complementarias. En caso de presentarse variantes, se estimará su costo por separado.
- Los precios unitarios a utilizar serán los suministrados por la autoridad competente en estimar y actualizar los costos de construcción vial.
- Al costo total estimado, que incluirá el costo de las expropiaciones, se incrementará en un 15 % para imprevistos y un 10 % para cubrir el costo de inspección de la obra.

9.4.4 Antecedentes

- Se acompañará todo elemento de juicio de interés en beneficio de los argumentos utilizados para la elección del trazado y en beneficio del posterior estudio final. Convendrá acompañar fotografías y videos de los puntos característicos del trazado.
- Se agregarán todos los planos que fue posible obtener de las propiedades particulares, planchetas, restituciones, planos generales, que hayan servido de base para el estudio, en los cuales se marcará la traza estudiada. Por tratarse de un material de frecuente uso y consulta en campaña, es probable que sus condiciones de conservación no sean las mejores, por lo que puede convenir su acondicionamiento en resistentes cajas de archivo.

9.5 EVOLUCIÓN DE ALGUNAS TÉCNICAS DE TRAZADO

- Las técnicas usadas en el arte de proyectar y construir caminos se han desarrollado gradualmente desde las más remotas épocas, adaptándose a los cambios de los vehículos y aplicando los adelantos tecnológicos para producir caminos mejores y más económicos.
 - Desde la antigüedad hasta el desarrollo de los ferrocarriles, la selección del trazado de un camino era un proceso que sólo requería conocer el lugar y alta dosis de sentido común, pero no mucha habilidad técnica.
 - Algunas de las operaciones ejecutadas antiguamente por métodos terrestres de levantamiento son ahora ejecutadas mejor y más rápidamente mediante fotografías aéreas, estaciones totales, instrumentos GPS, modelos digitales del terreno, pero el método en sí se mantiene esencialmente sin cambios. En realidad, al trazador poco le importa que el resultado del método topográfico -plano topográfico con curvas de nivel que abarque la franja en estudio- se haya obtenido a partir de datos levantados por métodos fotogramétricos o terrestres; sólo le importa la fidelidad de la representación. Un buen plano a gran escala del área estudiada es la herramienta más útil que puede encontrar un trazador para su trabajo. Aun los mapas planialtimétricos de pequeña escala son de valor.
 - Al hacer un trazo utilizando el método topográfico, el objeto de todo trabajo preliminar de campo es producir un plano de una faja de unos 200 metros de ancho que contenga el mejor o los dos mejores trazados preliminares. Dado que los estudios topográficos mediante métodos terrestres son lentos y costosos, desde antiguo los trazadores procuraron reducir el área a relevar. Por eso desarrollaron la técnica denominada línea de banderas.
-

- La señalización con banderas es un proceso para seleccionar la ubicación de una línea preliminar de trazo, que se toma como poligonal básica o armazón para apoyo de la faja topográfica sobre la que se proyectará el trazado definitivo.
 - Para encontrar la mejor posición de esta línea preliminar, el trazador experimentado va caminando adelante de la comisión de estudios, examinando el terreno en detalle y determinando los controles. Marca la ruta con señales de pintura en los árboles o atando retazos de telas, denominadas banderas.
 - Los métodos utilizados para trazar la línea de banderas dependen de que el terreno sea tan plano o tan accidentado como para que la pendiente sea o no un control.
- La señalización con banderas donde el trazado no está controlado por la pendiente es la condición más usual en zonas planas o en terreno suavemente ondulado.
 - Por lo general, al cruzar terrenos planos las rectas largas serán apropiadas, pero deberán usarse con reservas.
 - No vacilar en romper las rectas largas para reducir los costos de derecho de vía o para evitar obstáculos naturales o artificiales.
 - Las curvas de conexión deben ser lo suficientemente largas y suaves.
 - En terreno suavemente ondulado, un alineamiento de largas rectas no armoniza con el entorno, aunque sus pendientes sean inferiores que las admisibles. Un alineamiento curvilíneo, que vaya bordeando las ondulaciones, que busque los puntos de paso, generalmente es de construcción más económica, aunque la distancia sea ligeramente mayor.
 - La señalización con banderas en terreno plano se facilita si se dispone de fotografías aéreas o cartas en escala 1:50000 o mayor. El trazador marca los puntos de paso en la fotografía o carta y luego los señala en el terreno.
 - Si no dispone de fotografías aéreas ni cartas, será necesario que el trazador recorra varias líneas con una brújula o instrumentos GPS.
 - Pueden darse distintos casos típicos:
 - cruce de una planicie costera
 - trazado paralelo a un río
 - cruce de ciudades
 - cruce de una planicie de inundación
 - La señalización con banderas donde el trazado está controlado por la pendiente es la condición usual en zonas de cerros, donde deban cruzarse profundas quebradas.



- Pueden darse distintos casos típicos:
 - descenso por una ladera
 - cruce de una quebrada y promontorio
 - cruce de un paso natural desde un valle
 - línea sobre los cerros
 - cruce de un río encajonado
 - Los más recientes adelantos relacionados con las técnicas del trazado y proyecto vial se dieron en el campo de la informática. No tanto por la aparición de métodos novedosos, sino por la mayor precisión y rapidez para el estudio de alternativas. Todavía impera el método de aproximaciones sucesivas, y la decisión del proyectista.
 - La gran capacidad gráfica de las computadoras y la facilidad de uso de los periféricos de ingreso y salida de información han generado una herramienta muy valiosa. Los periféricos de aplicación son tableros digitalizadores, scanners, mouses, plotters, monitores en colores de alta resolución, impresoras láser y a chorro de tinta de alta resolución, instrumentos GPS, estaciones totales con libreta electrónica de registro automáticos de datos.
 - Las computadoras y programas viales disponibles permiten una interacción permanente con el proyectista, quien tiene un control visual y numérico del proceso de diseño.
 - Se pueden ensayar numerosas variantes de trazado sin tener que perder tiempo en encontrar la expresión analítica de las soluciones que se plantean. Inmediatamente cuenta con el cálculo de los volúmenes de movimiento de tierra y otros resultados con los que puede evaluar la calidad de cada alternativa en cuestión de minutos. El ajuste del diseño y la preparación de los dibujos automatizados se simplifica sin mayor esfuerzo y se eliminan los errores propios del trabajo manual.
 - El componente más interesante de un sistema de Diseño Asistido por Computadora, DAC, es el modelo digital del terreno, MDT.
 - Un modelo digital del terreno es una imagen o representación en forma de un conjunto de puntos definidos por sus coordenadas en un sistema de referencia tridimensional. Se tiene en la memoria de la computadora las características morfológicas del terreno representadas analíticamente por superficies diédricas de caras triangulares.
 - Las fuentes de datos para la generación de los MDT son diversas: levantamientos topográficos terrestres, restituidores de aerofotogramas, estaciones satelitales, instrumentos *GPS*.
 - La aplicación de los MDT en la ingeniería vial permite realizar el trazado considerando todas las características topográficas en forma gráfica y matemática, de manera que para una expresión gráfica o analítica del trazado se calcula rápidamente la línea tridimensional de corte con el modelo. Inmediatamente pueden generarse los perfiles longitudinales y transversales, y evaluarse el resultado del cálculo del movimiento de tierra. La fidelidad de los perfiles está en relación directa con la cantidad y grado de representatividad de singularidades de los puntos levantados en campo.
-

9.5.1 Valor del trazo a mano alzada

La curvatura forma parte de la naturaleza. El trazo a mano alzada sobre planchetas con curvas de nivel, empleando lápiz y goma de borrar, es una de las mejores herramientas disponibles para generar trazas tentativas, utilizando la técnica “prueba y error”.

También se puede dibujar digitalmente a mano alzada empleando programas de diseño asistido por computadora, mediante tableta digitalizadora y lápiz óptico.

9.5.2 Diseño 3D

El *software* de diseño 3D y los MDT (modelos digitales de terreno) son potentes herramientas que permiten al proyectista prácticamente “transitar” por su traza virtual reiteradas veces, modificándola hasta lograr el producto deseado.

9.6 DEFINICIÓN DEL TRAZADO

9.6.1 Ejemplos ilustrativos

Fuente: AID 1965 *El Arte del Trazado*

Ejemplo 1

Situación:

A y B puntos de control primarios; C y D puntos de control secundarios.

Comentario: La línea ACB es la más corta pero, teniendo en cuenta el desarrollo urbano previsto en E puede ser más conveniente la línea ADB, para un futuro acceso a E.

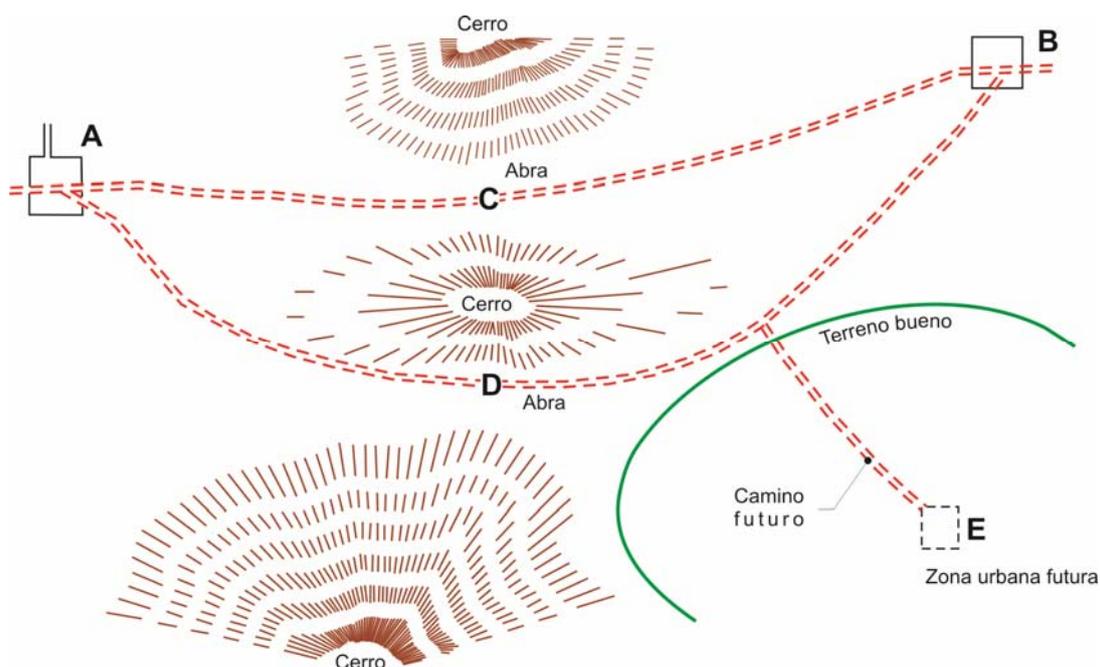


Figura 9.1 Selección de alternativa

Ejemplo 2

Situación:

Faldeo con pendiente predeterminada y dos accidentes topográficos intermedios: un cerro y una quebrada.

Comentario:

- Si la quebrada es importante y tiene algún sector con ventajas para el emplazamiento de la obra de arte puede fijarse el cruce y subir y bajar en faldeo desde ese punto. Lo mismo si es el cruce del cerro el que tiene una ventaja localizada en las inmediaciones de la línea de deseo.
 - Descenso directo desde 301+600 con una poligonal de pendiente uniforme, 1% menos que la admisible para compensar la disminución de desarrollo al introducir las curvas horizontales.
 - Faldeo en gabinete: el valor igual a la equidistancia entre las curvas de nivel dividida por la pendiente. Otra técnica mejor: Con regla flexible graduada sujeta con contrapesos. Faldeo en campo: Con cinta métrica, clinómetro brújula o sextante de bolsillo.

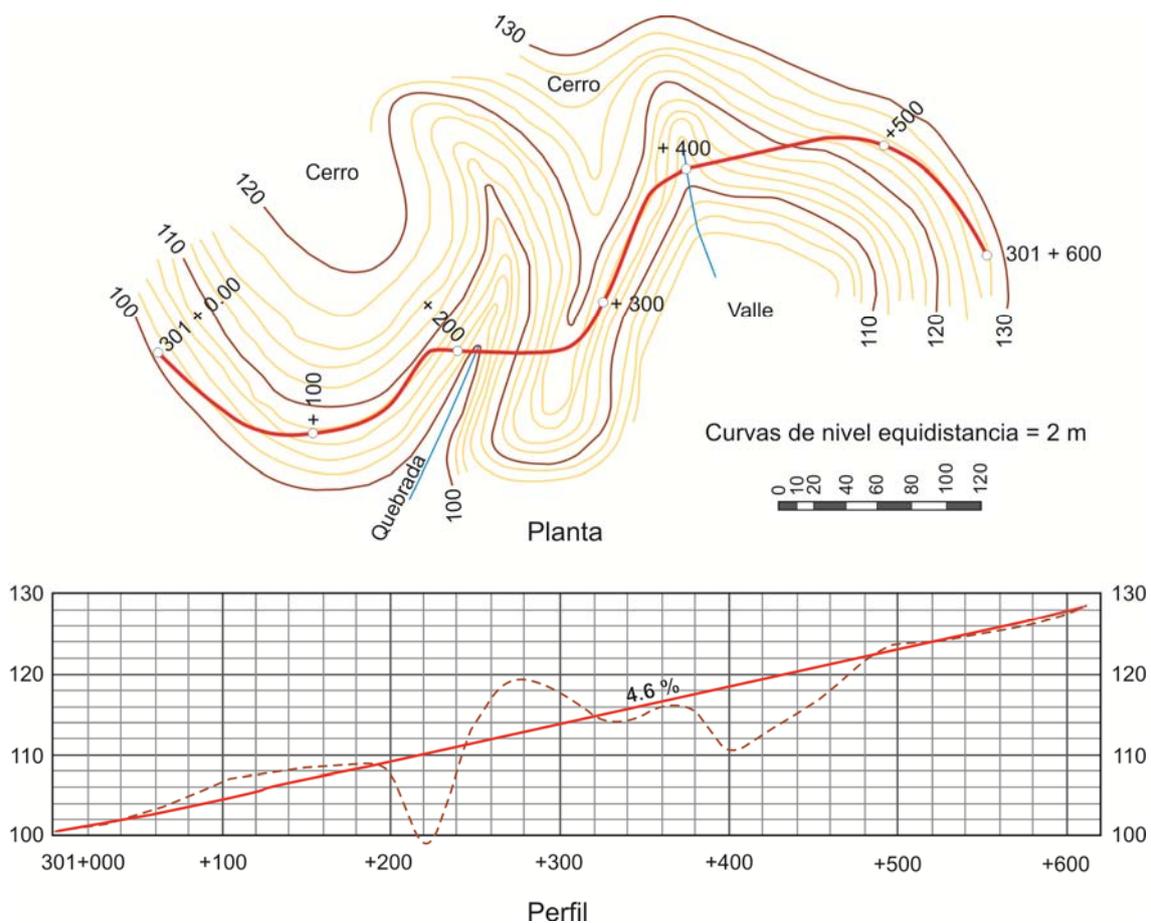


Figura 9.2 Línea de pendiente en terreno accidentado

Ejemplo 3

Situación:

Trazado suave, de izquierda a derecha por el fondo casi plano del valle, a pasar por el punto B de un abra en una pendiente determinada; 5% en el ejemplo.

Comentarios:

- Conviene bajar desde B, en lugar de probar subir desde puntos indeterminados. Desde C hay dos líneas de pendiente posibles, una a cada lado de la quebrada, líneas 1 y 2, por la derecha e izquierda de la quebrada, respectivamente que limitan un sector desde el cual no es posible trazar una línea con la pendiente determinada sin introducir cambios de dirección de 180° (revueltas).
- La línea 1 es la más corta y directa, pero puede convenir la línea 2, a pesar de que requiere más obras de arte, si se trata de la ladera con mayor soleamiento en una zona de acumulación de nieve.

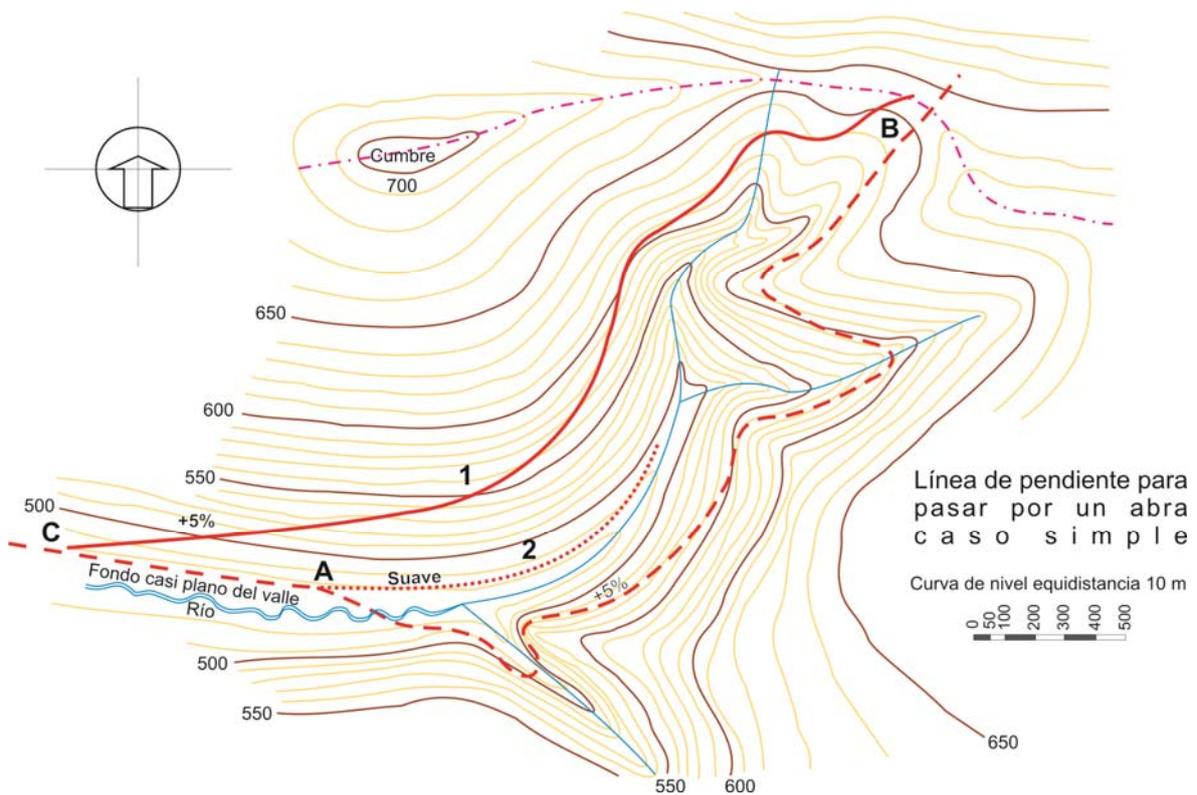


Figura 9.3 Línea de pendiente para pasar por un abra. Caso simple

Ejemplo 4

Situación:

En general, muy parecida a la de la Figura 9.3

Comentarios:

Aunque la línea 1 es más corta y directa, las profundas y frecuentes quebradas transversales pueden decidir la adopción de la línea 2.

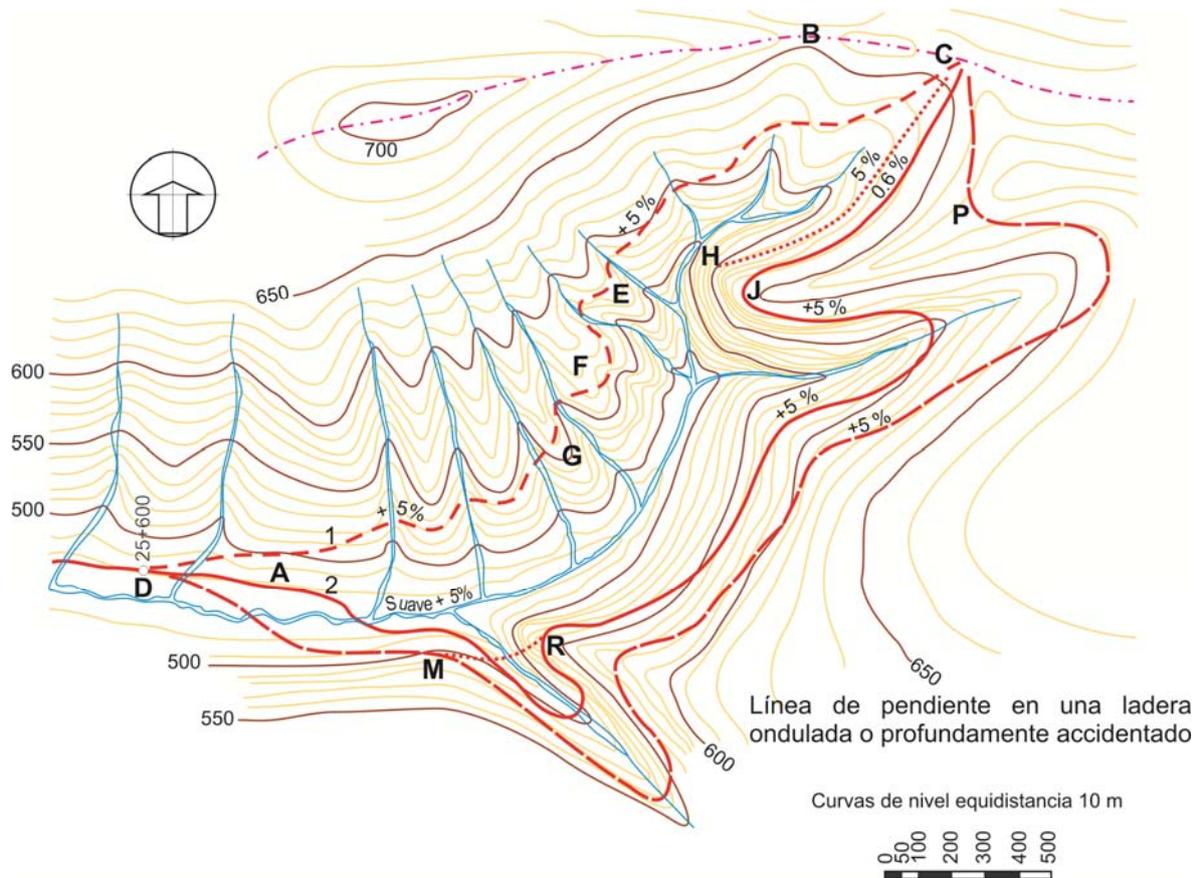


Figura 9.4 Línea de pendiente en una ladera ondulada o profundamente accidentada

Ejemplo 6

Comentario:

- Las ventajas del cruce del río en C son tales que lo convierten en un punto de paso obligado.
- En general los cruces del río son oblicuos, bajando por una margen y subiendo por la otra sin cambiar de dirección; en forma de U con dirección opuesta en cada margen y, como caso particular, normales.
- En el caso del ejemplo, la margen derecha del río es muy escarpada aguas arriba de C, por lo que se requiere un cruce en U.
- Según la pendiente límite se busca desarrollo desde C hasta A mediante faldeos y revueltas. Se procura ubicar las revueltas en ubicaciones con ventajas topográficas, como son los promontorios localizados.

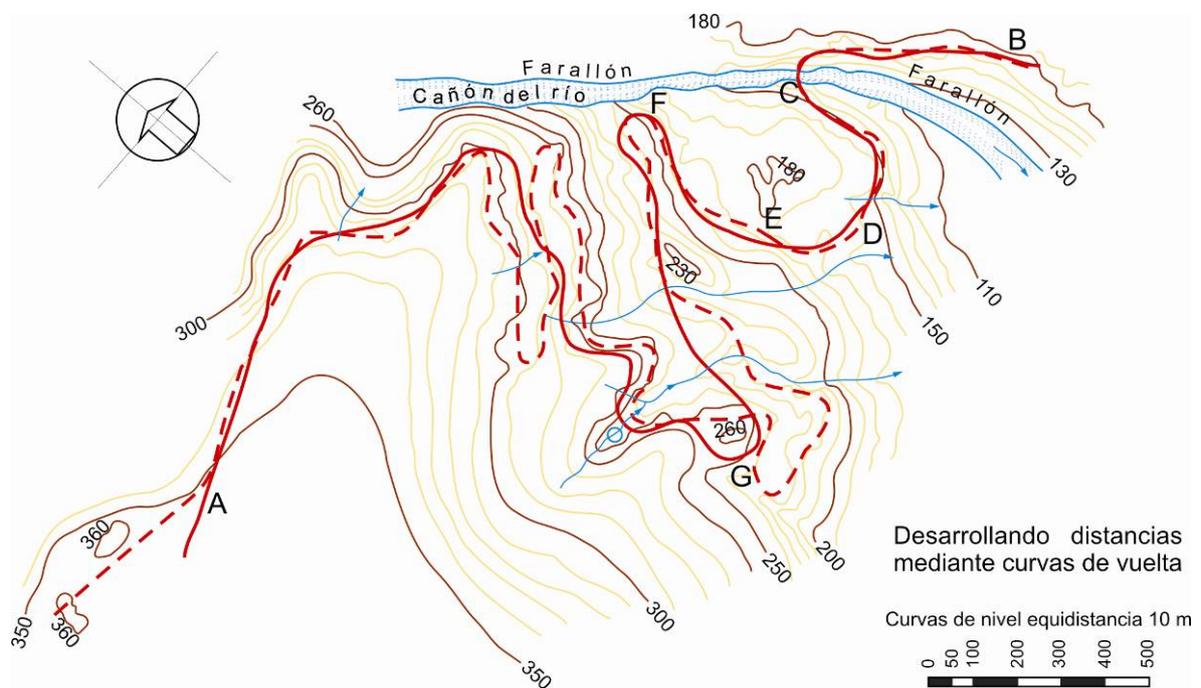


Figura 9.6 Desarrollo de distancias mediante revueltas

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

9.7 BIBLIOGRAFÍA PARTICULAR DE CONSULTA

9.7.1 En español original o traducciones

- 01 PASCUAL PALAZZO – Argentina 1934
Reglamento de Trazado.
- 02 AID AGENCIA PARA EL DESARROLLO INTERNACIONAL – Méjico 1965
El Arte del Trazado
- 03 SOPTRAVI – Honduras 1996
Manual de Carreteras – Tomo 2 Trazado
- 04 CARCIENTE CARRETERAS - Venezuela 1980
Rutas p. 15-26
Trazado p. 29-46
Anteproyecto p. 77-122

9.7.2 En español, archivos pdf en DVD de la Actualización 2010 C 9Trazado

