

LOCALIZACIÓN DE LA CARRETERA

La definición moderna de carretera lleva implícita su naturaleza de uso público porque su proyecto, construcción y mantenimiento deben ser asumidos por los órganos del Estado. Las etapas a ser cubiertas entre la decisión política de construir una carretera y su puesta en servicio son:

- 1) Planificación
- 2) Opciones de Rutas, Evaluación y Selección
- 3) Anteproyecto
- 4) Proyecto
- 5) Construcción

1) LA PLANIFICACIÓN

El fin primario para que el Estado asuma la mejora o la construcción de una nueva carretera no es otro que la satisfacción de la demanda. Los altos costos de construcción y aun los de mantenimiento determinan que esa satisfacción se inscriba dentro de una Política Nacional de Transporte. Históricamente los recursos financieros destinados a ese segmento del Plan Nacional de Vialidad han sido mínimos por la imposibilidad de que esas obras lineales, por pequeñas que sean, puedan acometerse por asignación presupuestaria interna. Son los entes financieros internacionales los llamados a suplir los empréstitos teniendo en cuenta que no solo se trata de recursos económicos sino que también se deben cubrir las exigencias de seguridad, impacto ambiental, ordenación territorial y desarrollo socio-económico.

La decisión gubernamental de solicitar los créditos externos debe estar avalada por a) Los planes de factibilidad socio-económica y financiera b) los estudios técnicos de Transporte que valoren la demanda, actual y futura, de los movimientos de pasajeros y carga y c) los estudios de tráfico, su composición, previsión de tránsito atraído, costos de operación, etc.

El acopio de información parte de un inventario de las actividades agrícolas e industriales y de una caracterización general del uso y propiedad de la tierra. En esta etapa debe definirse explícitamente el propósito de la obra entre cuyos objetivos destacan: a) la reducción de la accidentalidad de algún tramo carretero b) el desarrollo de áreas aisladas c) la interconexión de centros poblados d) la reducción de la congestión de tráfico en vías saturadas por el crecimiento vegetativo del parque automotor e) la mejora de la

accesibilidad a lugares escénicos f) la disminución de los niveles de contaminación sónica, atmosférica, etc. Muchos de estos objetivos pueden medirse concretamente pero otros son de difícil cuantificación, es decir, que el propósito buscado a veces resulta de valoración intangible o incierta.

En esta fase, con base en los estudios de tráfico, se definirán las Clasificaciones **Oficial y Funcional** de la vía así como su **Velocidad de Proyecto** (algunos tramos pudiesen tener velocidades de proyecto ligeramente distintas) y las características geométricas de su **Sección Transversal** (ancho y número de canales, hombrillos, tipo de divisoria en caso de vías multicanal).

2) OPCIONES DE RUTAS, EVALUACIÓN Y SELECCIÓN

Si bien es cierto que el Ingeniero Trazadista es el profesional que técnicamente gerencia el desarrollo del proyecto, no es menos cierto que esa ingente tarea no puede acometerla solo. Precisa de un equipo de profesionales de naturaleza diversa: un ingeniero geólogo, uno hidráulico, un administrador, un sociólogo, un arquitecto preferiblemente urbanista y personal medio: técnicos en computación, asistentes de ingenieros, topógrafos, dibujantes y obreros especializados, entre otros. Ciertas labores como levantamientos topográficos especializados, sobre-vuelos o ensayos de laboratorio pueden ser contratados externamente.

Este equipo pluridisciplinario tiene un propósito común: la definición de las distintas rutas, la valoración particular de cada una y la selección final de aquella que represente la mejor opción. Se denomina **ruta** a la banda de terreno, de ancho variable, que contendrá el eje geométrico de la futura vía. Aquí interesa puntualizar que la dirección general de una carretera debe tomar en consideración los requerimientos de desarrollo social y económico definidos en las macropolíticas gubernamentales ya citadas en la etapa de Planificación. La satisfacción de esas exigencias condicionan el paso de la ruta por localidades obligadas que reciben el nombre de **"Controles Primarios"**. También constituyen controles primarios los sitios de origen y término de una carretera.

De ordinario se definen varias rutas que discurren por ámbitos físicos diversos. La evaluación de esas rutas es un trabajo complejo donde los factores físicos como la topografía, la geología, el drenaje y los factores sociales, tenencia y uso de la tierra, conforman los elementos a ser valorados. Estos factores condicionantes de la dirección general reciben el nombre de **"Controles Secundarios o intermedios"**.

Interesa volcar sobre los planos, foto-croquis y mapas recopilados en el inventario de información básica, los siguientes puntos de control:

- a) Caseríos o pueblos cerca de los cuales interesa pasar.

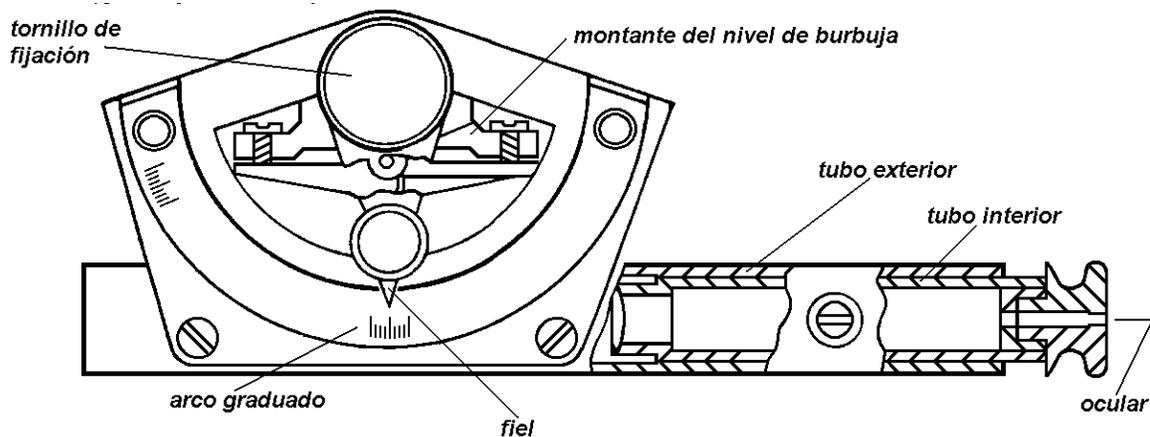
- b) Sitios de ponteadero especialmente aquellos obligados que ya han sido empleados en antiguos caminos.
- c) Depósitos de materiales apropiados para ser utilizados en la construcción de terraplenes.
- d) Abras, cuando sea necesario cruzar cadenas de montañas.
- e) Zonas de terreno firme para el caso de localidades con altos niveles freáticos, pantanosas o anegadizas en períodos lluviosos.
- f) Fondos o fincas en producción con tradición histórica.
- g) Lugares apropiados para la disposición final de materiales de corte que por su baja calidad o por estar contaminados no pueden ser utilizados en los terraplenes.
- h) Localidades sujetas a regímenes especiales de uso como Parques Nacionales, zonas protectoras de ecosistemas frágiles, Santuarios de Flora y Fauna, lugares históricos, etc. en las que interesa restringir los potenciales accesos que una vía pudiera eventualmente promover.

Determinados los controles se procede a efectuar los reconocimientos de las zonas o áreas previamente identificadas. Sobre las restituciones aerofotogramétricas y planos geológicos a escala pequeña, se van haciendo las anotaciones pertinentes a medida que se avanza. Los reconocimientos terrestres, que de ordinario son pedestres o en bestia se pueden complementar con viajes en vehículos rústicos —en caso de existir trochas o caminos vecinales— y con vuelos contratados. Los reconocimientos pedestres son de carácter preliminar y permiten, usualmente sobre restituciones 1:25.000 o más pequeña, ir ubicando los elementos resaltantes: pendiente, "formas de tierra", tipos de suelo, uso de la tierra, tenencia y aún aspectos como ecosistemas frágiles o bellezas escénicas.

El reconocimiento pedestre se realiza usualmente con un baquiano de la zona y con la ayuda de instrumentos topográficos simples como los niveles de mano o Clisímetro, los barómetros y las brújulas del tipo "Brunton" que además de permitir la medición de direcciones magnéticas permiten también conocer, entre otros usos, los buzamientos de los estratos geológicos. Los Clisímetros, a veces carentes de sistema óptico lenticular, son niveles de burbuja de precisión menor incorporados a un tubo de sección cuadrada a través del cual se realiza la visual y la colimación. Si el nivel tiene incluido un semicírculo vertical se habla de clisímetro "Abney" y caso contrario, sin semicírculo, se le conoce como nivel "Locke" que solo posibilita establecer diferencias de alturas en nivelaciones geométricas simples. El nivel Abney permite, con la ayuda de jalones, materializar en campo líneas de pendiente dada o determinar la pendiente de una línea. Su elemental

sistema óptico limita las mediciones y las visuales superiores a los 60 metros son difíciles de realizar. El semicírculo de estos instrumentos puede estar graduado en grados sexagesimales, en porcentaje, en 'pendiente en uno' o en combinación de dos modalidades. La **Figura 14** muestra las principales partes de ese instrumento tan empleado en los reconocimientos preliminares. Los Clisímetros Abney se emplean de ordinario, conjuntamente con los barómetros, en la determinación aproximada de desniveles y pendientes, sean estas últimas conocidas o por determinar.

En la **Figura 15** de la página siguiente se ilustra el procedimiento para la determinación en campo de la pendiente de una línea.



*Figura 14 Corte esquemático de un Clisímetro K+E tipo Abney
Fuente: Catálogo de la empresa Keuffel & Esser Company*

Se verticaliza un jalón en el punto "A" de la línea y se le adosa el clisímetro a una altura dada (usualmente 1,75 m para aprovechar las franjas del jalón); luego se visa el otro jalón verticalizado en el punto "B" haciendo la colimación a la misma "altura de ojo"; finalmente se "cala" la burbuja y se procede a fijar el vernier para hacer la lectura en la escala graduada. La pendiente de la visual será igual a la pendiente media del terreno entre los puntos "A" y "B". Si se midiese con una cinta la distancia inclinada (**Di**), o si se establece con barómetro o el mismo clisímetro la diferencia de nivel A-B, es posible en forma sencilla reducirla al horizonte (**Dh**).

El procedimiento descrito se emplea en terrenos con inclinación constante lo que representa una situación poco frecuente. Lo usual es que al llevar una línea de pendiente dada se obtengan cortes o rellenos y entonces se coloca en el punto distante una mira graduada y se opera como en las **Figuras 16, 17 y 18**.

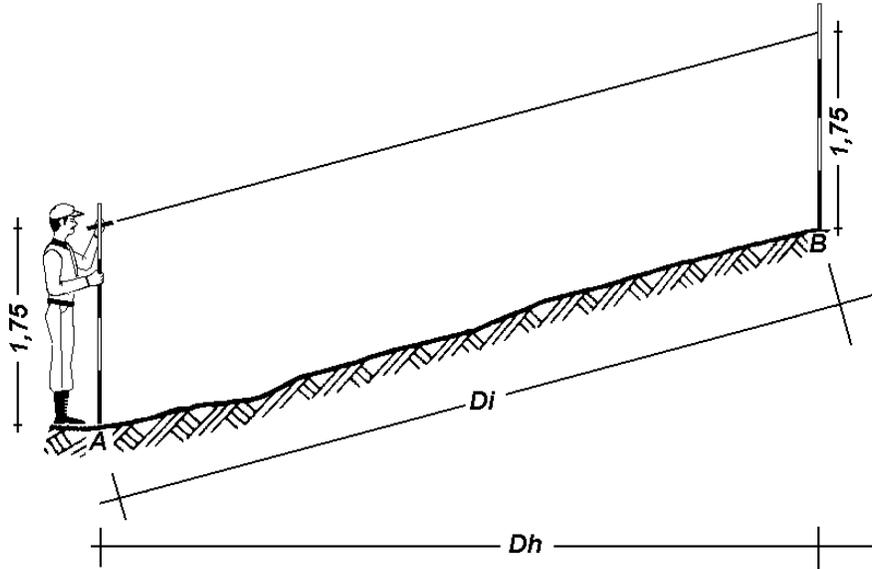


Figura 15 Medición de pendiente en terreno de inclinación constante
Fuente: modificado del manual de "Teodolito de bolsillo Brunton"

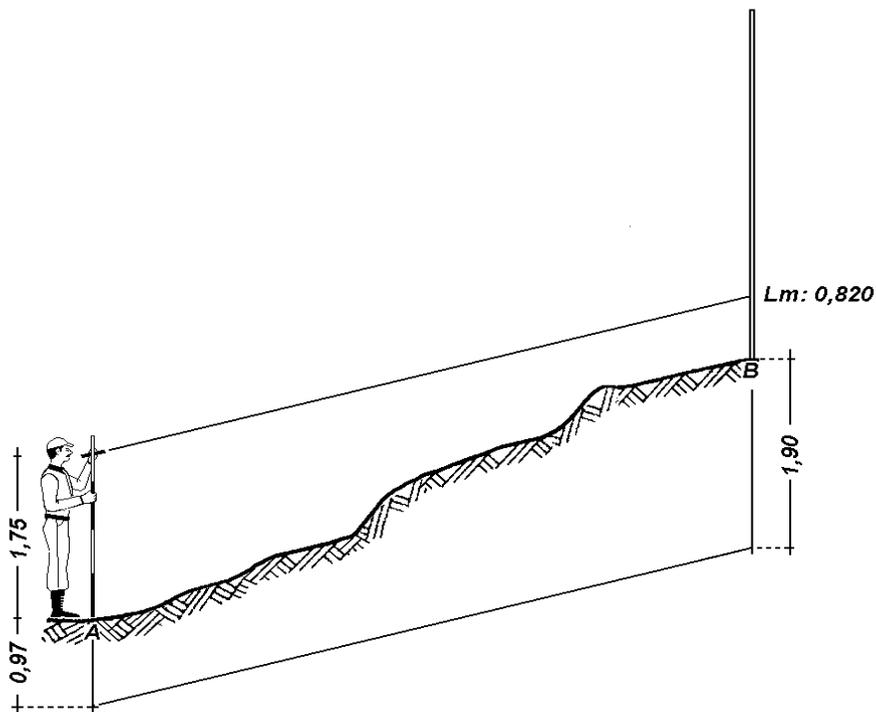


Figura 16 Forma de llevar una línea de pendiente dada. Caso 1.
Fuente: modificado del manual de "Teodolito de bolsillo Brunton"

El valor del corte en el punto B se obtiene de la suma algebraica de los segmentos verticales ordenados según la siguiente igualdad:

$$\text{Corte}_B = Lm_B - \text{altura de ojo} - \text{Corte}_A = 0,82 - 1,75 - 0,97 = -1,90 \text{ m}$$

En la situación planteada en la *Figura 17* se desea llevar una línea de pendiente conocida entre los puntos **A** y **B** partiendo del conocimiento de la cotas de terreno y rasante en el punto **A**, 356,23 m y 355,46 m, respectivamente. Se procede como sigue: se prefija en la escala del clisímetro la pendiente conocida (expresada según cualquiera de las modalidades ya indicadas) y se calcula la diferencia de nivel entre las cotas de terreno y rasante: $356,23 - 355,46 = 0,77$ m, valor que viene a representar el corte a ser practicado en el punto **A**. Se verticaliza una mira graduada en el punto distante **B** y se le visa con el clisímetro colocado en la vertical de **A** por medio de un jalón a una altura de ojo conocida (para el caso del ejemplo que nos ocupa de 1,75 m) para así obtener la correspondiente lectura de mira: 3,36 m. La igualdad para conocer el relleno en el punto **B** es:

$$\text{Relleno}_B = Lm_B - \text{altura de ojo} - \text{Corte}_A = 3,36 - 1,75 - 0,77 = 0,84 \text{ m}$$

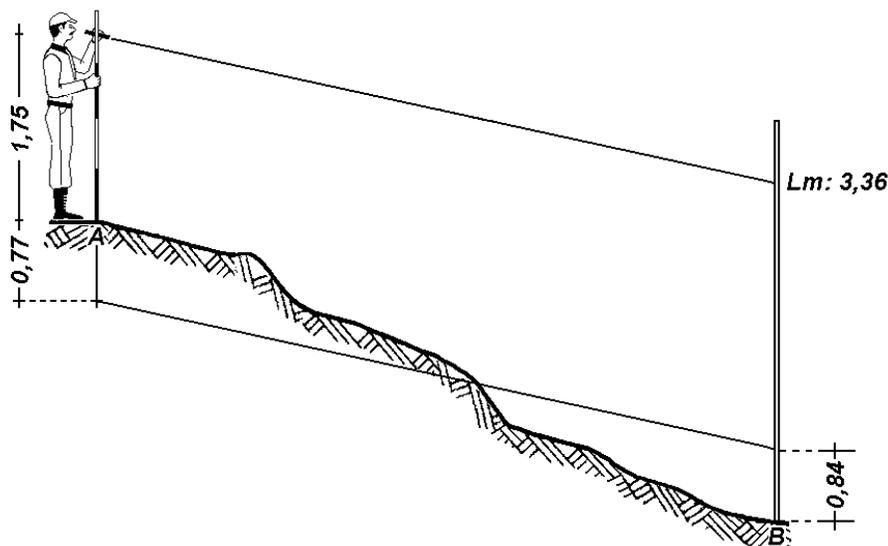


Figura 17 Forma de llevar una línea de pendiente dada. Caso 2.
Fuente: modificado del manual de "Teodolito de bolsillo Brunton"

En el caso de la *Figura 18* se trata de determinar el valor del relleno presente en el punto distante **B** donde se ha verticalizado una mira graduada. En esta ocasión las cotas del terreno y la rasante en el punto **A** son 487,73 m y 488,50 m, respectivamente. Se procede como sigue: se prefija en la escala del clisímetro la pendiente conocida y se calcula la diferencia de nivel entre las cotas de terreno y rasante: $488,50 - 487,73 = 0,77$ m, valor que expresa el relleno que deberá ser conformado en el punto **A**. En el punto distante **B** se verticaliza una mira graduada y se le visa con el clisímetro colocado en la vertical de **A** por medio de un jalón a una altura de ojo conocida para así obtener la correspondiente lectura de mira: 1,41 m. La igualdad para conocer el relleno en el punto **B** será:

$$\text{Relleno}_B = Lm_B - \text{altura de ojo} + \text{Relleno}_A = 1,41 - 1,75 + 0,77 = 0,43 \text{ m}$$

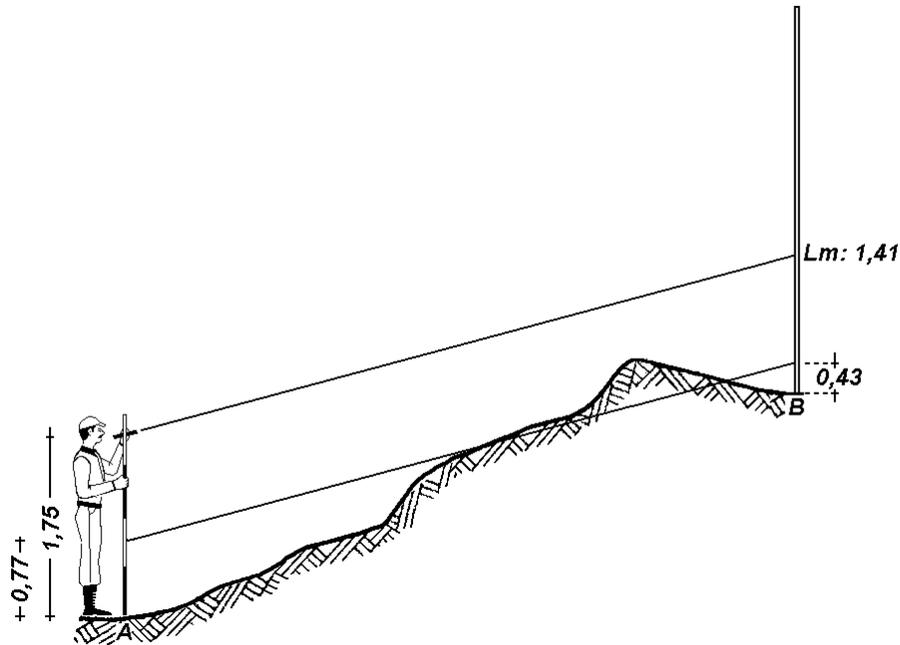


Figura 18 Forma de llevar una línea de pendiente dada. Caso 3
Fuente: Modificado del Manual de "Teodolitos de bolsillo Brunton"

En la **Figura 19**, sobre la base del estudio foto-geológico realizado por SERAVENCA para el M.O.P. en 1970, se representan las variantes consideradas para la "**Autopista Barquisimeto-Carora**" a nivel de Anteproyecto. Cabe destacar que en 1975 por decisión del Ejecutivo Nacional, avalada por la Cámara de Diputados del Congreso, se varió la sección transversal del Anteproyecto de Autopista a Vía Expresa de calzada no dividida y se perdió así la posibilidad de contar con un moderno eje vial de flujos segregados, con dirección este-oeste, entre Cumaná y Maracaibo. Esa aciaga decisión, de carácter evidentemente proselitista dio por resultado la actual carretera "El Rodeo-Carora" que sustituyó al viejo tramo de la "Carretera Panamericana", hoy desechado en gran parte, que discurría por los caseríos Pavia, Las Veras, Padre Diego, Banco de Baragua, San Pablo, Turturia, Pozo Guapo, Cascajales, Puente Torres, Las Cruces, Palo de Olor y Carora, última porción del trazado de poco más de 85 kilómetros de longitud que en un principio formó parte de la "Carretera Trasandina", obra vial cumbre de la larga dictadura del General Juan Vicente Gómez. Sus más de seiscientos estructuras de drenaje transversal (puentes, pontones, cajones y alcantarillas), sus casi 230 curvas y sus rectas de "Las Veras" y "Padre Diego", de 8 y 10 Kilómetros de longitud, respectivamente, son una muestra de un tiempo pasado en el modo de concebir y trazar las carreteras.

Conviene enfatizar que no deben priorizarse los estudios topográficos sobre los geológicos o los hidráulicos porque luego resultará difícil separarse de los aspectos geométricos y se condicionará la búsqueda de préstamos a las inmediaciones del área seleccionada sin posibilidad racionalmente económica de acceder a fuentes de materiales que han podido identificarse en los reconocimientos preliminares.

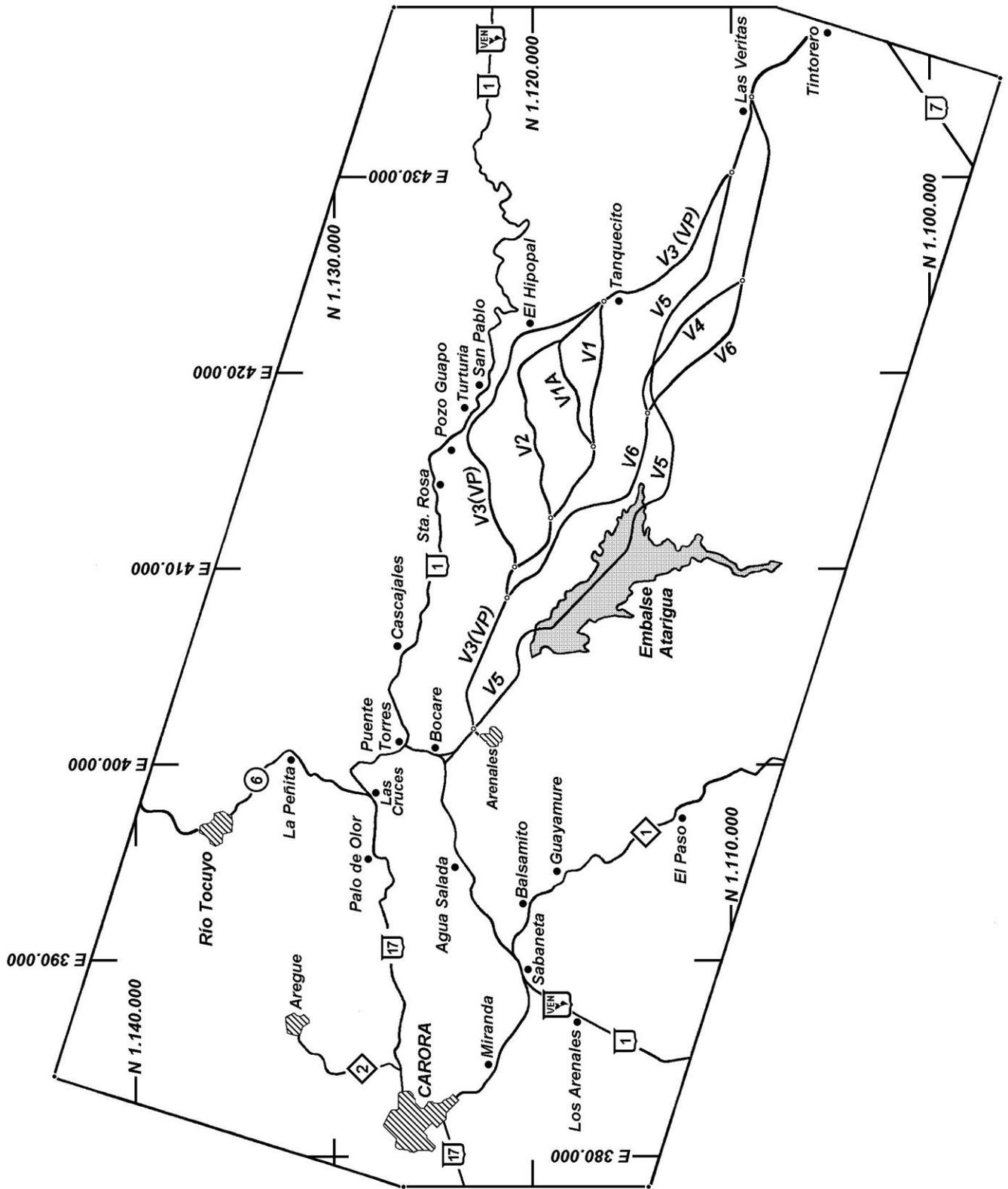


Figura 19: Croquis de opciones de rutas "Autopista Barquisimeto-Carora"

Dibujo, compilación y digitalización: J. R. de la Cruz F.

Fuente: Estudio Fotogeológico M.O.P. Dirección de Vialidad 1970

Abreviaturas: (V) Variante; (VP): Variante Propuesta

Modernamente la fotointerpretación —análisis de las formas de tierra a partir de imágenes estereoscópicas provenientes de fotografías aéreas— es la técnica que más aportes brinda a la valoración y selección de la ruta definitiva. En principio se emplean fotomosaicos de conjunto que abarquen grandes extensiones de las rutas alternativas y luego, a nivel más detallado, se emplean fotogramas a escala 1:20.000 o mayores. Estas fotografías aéreas pueden obtenerse en el Instituto Cartográfico “Simón Bolívar”, en empresas aerofotogramétricas y en entes gubernamentales de planificación regional como Corpoandes, Corpozulia, Corpolar y otros organismos homólogos. Si no existen misiones de sobrevuelo de la zona, o la escala de las existentes no es apropiada, habrá que cuantificar el costo adicional de un sobrevuelo para toma de fotografías y sopesar los beneficios y desventajas que esa decisión acarrearía. Otra ventaja de las fotografías aéreas estriba en que con instrumentos sencillos como los estereoscopios de espejo y las barras de paralaje se pueden hacer determinaciones físicas de desniveles, distancias horizontales y pendientes.

El fotointérprete analizará los patrones de drenaje, erosión, vegetación, uso del suelo y hará particular énfasis en las "formas de tierra", unidades geomorfológicas cuyas características pedológicas y comportamiento físico son de ámbito universal. Así, por ejemplo, los abanicos aluviales, tan comunes en los sistemas montañosos, tienen distribución mundial y su actividad en cortos períodos de tiempo es un factor a considerar en la selección de la ruta.

Recuerde que una carretera es una sucesión de cortes y rellenos y que su construcción disturba el equilibrio ambiental que ha dado lugar, en el tiempo geológico, al relieve terrestre. La construcción de largos tramos carreteros en ladera, en zonas donde la pendiente transversal al alineamiento horizontal es un factor determinante para la elección de este tipo de sección transversal, resulta, desde el punto de vista de la estabilidad de la vía, una problemática potencial. También constituyen un potencial peligro para la estabilidad de la vía los terraplenes en zonas con riesgo de inundación. El represamiento de quebradas y ríos puede ser causado por obras de drenaje transversal subdimensionadas transformándose los terraplenes en largos diques que son fácilmente cortados por las aguas de inundación. De lo expuesto puede evidenciarse la necesidad de identificar estas localidades bajas y anegadizas (controles secundarios) para que sean consideradas al momento de la valoración de la ruta.

Otras formas de tierra particularmente importantes para el estudio de las franjas son: las terrazas aluviales, las lutitas, las planicies costeras, los lechos lacustres, las calizas, las areniscas y las cárcavas. Las cárcavas son para el fotointérprete un elemento indicativo de la naturaleza de los materiales donde está forma de tierra tiene lugar y por otra parte es una evidencia contundente de la erosión (remoción rápida de los materiales constitutivos del suelo) de la zona. Cada forma de tierra tiene una tipología propia

relacionada con los materiales geológicos subyacentes, la vegetación, el drenaje y la erosión y el fotointérprete debe ser capaz de inferir su comportamiento evitando así los sitios potencialmente peligrosos, o por el contrario, seleccionando los beneficiosos para la construcción y mantenimiento de la obra. Otras consideraciones a las formas de tierra y su fotointerpretación son propias de cursos más avanzados o especializados por lo que damos por concluido este tópico.

ANÁLISIS DE LAS POLIGONALES DE ESTUDIO

La franja o faja de terreno definida por la dirección general de la vía y los controles primarios y secundarios, es en sí misma un soporte físico para la inserción del futuro eje de la carretera por lo que de ordinario son varias las poligonales que en ella pueden proyectarse. Es imprescindible contar con restituciones aerofotogramétricas a escala grande, 1:10.000 o mayor. Si estas restituciones no estuvieran disponibles el número de poligonales y sus variantes estará limitado pues se haría necesario ubicar las poligonales directamente en el terreno.

Se comienza entrelazando los puntos de control secundario ya mencionados con anterioridad haciendo especial énfasis en aquellos que pudieran económicamente afectar la relación beneficio/costo; tal es el caso de los puentes, túneles y en general obras de fábrica y de arte que necesariamente deben proyectarse para una vida útil superior a la de la calzada misma.

La geología, el drenaje y particularmente la topografía condicionan los alineamientos horizontal y vertical de las poligonales y en ese nivel de estudio ya algunos elementos del diseño geométrico como los radios mínimos de la curvatura horizontal y las pendientes del alineamiento vertical deben irse considerando.

En atención a que la futura vía discurrirá por terrenos de distinta pendiente el ingeniero trazadista —habiéndose ya definido la **Velocidad de Proyecto** en la etapa de Planificación— subdividirá la ruta en tramos caracterizados por su pendiente media para correlacionarlos con las pendientes admitidas en las Normas para el Proyecto de Carreteras. Sabido es que las pendientes del alineamiento vertical influyen considerablemente en la operación de la corriente viaria sobre todo cuando la composición del tráfico presenta un porcentaje alto de vehículos pesados. La reducción de velocidad en las pendientes longitudinales **positivas**, su aumento en las **negativas** y su dispersión como consecuencia de la combinación sinérgica, incrementan la accidentalidad sobre todo en vías de calzada única. Resulta entonces obligante definir las *pendientes máximas* prescritas normativamente y tratar, en la medida de lo posible, de emplear valores menores. Las Normas Venezolanas para el proyecto de Carreteras prescriben las pendientes reportadas en la **Tabla 4**.

Tipo de Relieve	Pendiente Máxima (%)
Llano	2-3
Ondulado	3-7
Montañoso	5-12

Tabla 4 Pendientes Máximas de Proyecto

Fuente: Normas para el Proyecto de Carreteras (M.T.C. 1997)

El límite inferior de los rangos de pendiente reportados debe usarse preferentemente en autopistas y vías expresas. El superior debe usarse solamente en vías secundarias. En algunos casos, en vías locales de montaña, se pueden usar pendientes más fuertes, hasta de 20 %. No obstante, se debe considerar que en vías secundarias muy pendientes, en muy corto tiempo, los costos de mantenimiento pueden superar cualquier ahorro logrado en el costo de construcción.

El relieve **llano** (denotado en la Normativa Vial Venezolana como terreno plano) abarca las áreas que no presentan dificultad alguna para la ubicación del trazado. Su pendiente general va de baja a muy baja propiciando el diseño de largas tangentes que modernamente son sustituidas por alineamientos curvilíneos o semicurvilíneos mas correlacionados con los resultados estéticos y menos con la monotonía e hipnosis asociadas a las largas rectas.

El relieve **ondulado** es aquel donde la interconexión de los controles primarios se puede obtener con pocas restricciones adaptando la poligonal a la configuración de las curvas de nivel para obtener una compensación adecuada de los cortes y rellenos. La pendiente general, en el sentido de avance de la vía, es menor que la máxima admisible de diseño. Puede tener una modalidad denominada **relieve quebrado** caracterizado por abundancia de elevaciones de poca altura (colinas) originadas por el entallamiento que causa el sistema de drenaje natural.

Se define el relieve como **montañoso** cuando la pendiente general del terreno es superior a la máxima admisible para diseño. La interconexión de puntos no puede realizarse en línea recta sin sobrepasar el valor de las pendientes límite. La imperiosa necesidad de reducir la pendiente se traduce en un aumento del desarrollo longitudinal de la vía. Un típico caso de esta obligante restricción tiene lugar cuando se trata de unir, con una línea de pendiente constante, dos puntos de distinta cota situados en vertientes opuestas de una **divisoria de aguas** en relieve montañoso. En la porción de plano topográfico a escala 1:1000 de la **Figura 20** se ilustra el procedimiento a seguir para realizar la interconexión.

De la observación realizada al plano de la **Figura 20** concluimos que la equidistancia vertical (separación altimétrica entre dos curvas de nivel consecutivas) es 2,0 m de donde la cota de **"A"** es 502 m mientras que la de **"B"** es 514 m. La línea curva

punteada representa la divisoria de aguas mientras que el segmento recto discontinuo "AB" es la línea de menor longitud entre dichos puntos representando en consecuencia la línea de máxima pendiente. Los puntos en cuestión se localizan en vertientes opuestas y la recta discontinua que los une tiene en el plano una longitud de 6,55 cm equivalentes en el terreno a 65,50 m; la pendiente porcentual de esa línea, relación por cociente entre la separación vertical de sus puntos extremos y el correspondiente desarrollo horizontal, viene dada por la expresión:

$$P_A^B = \frac{\Delta h_A^B}{D_A^B} \times 100 = \frac{514 - 502}{65,5} \times 100 \approx 18,32\%$$

resultando el valor obtenido inadmisibile para diseño. Por otra parte, y constituyendo otra restricción, a lo largo de toda la línea **A-B** habría necesidad de cortar el terreno hasta valores de 8,43 m como se evidencia en el punto "C". Detalle del corte en la **Figura 21**.

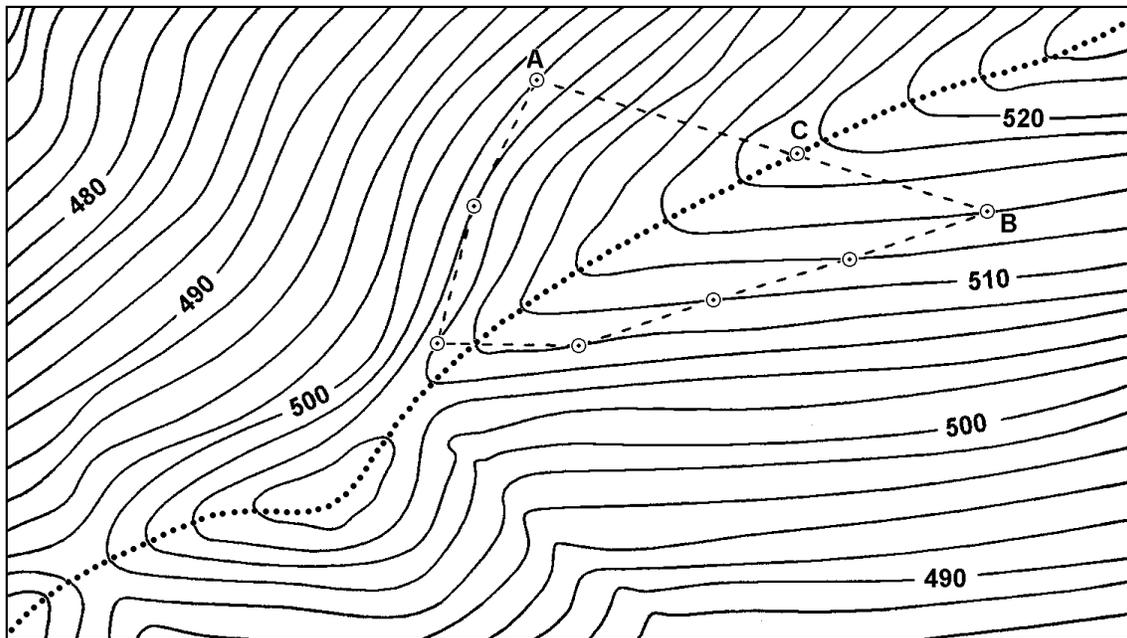


Figura 20: Interconexión de puntos (A-B) en terreno montañoso
Dibujo y digitalización: J. R. de la Cruz

$$Corte_C = Y_C - Y_C' = 517,30 - \Delta h_A^C = 517,30 - \left(502 + \frac{18,32}{100} \times 37,50 \right) = 8,43 \text{ m}$$

Para sortear esa dificultad se requiere disminuir la pendiente de la línea recta que empalma "A" con "B" hasta valores admisibles y esto solo puede conseguirse aumentando el desarrollo horizontal entre los puntos.

Imaginemos ahora que partiendo de "A" y con un valor de pendiente admisible cortamos a las sucesivas curvas de nivel con una abertura de compás igual, a la escala de dibujo, al desarrollo horizontal correspondiente a la pendiente seleccionada. Entonces, si la pendiente en cuestión es 10 %, el desarrollo horizontal, para la línea que salva un desnivel igual a la equidistancia vertical entre curvas consecutivas del plano, será:

$$\frac{Dh}{2} = \frac{100}{10} \therefore Dh = 20 m$$

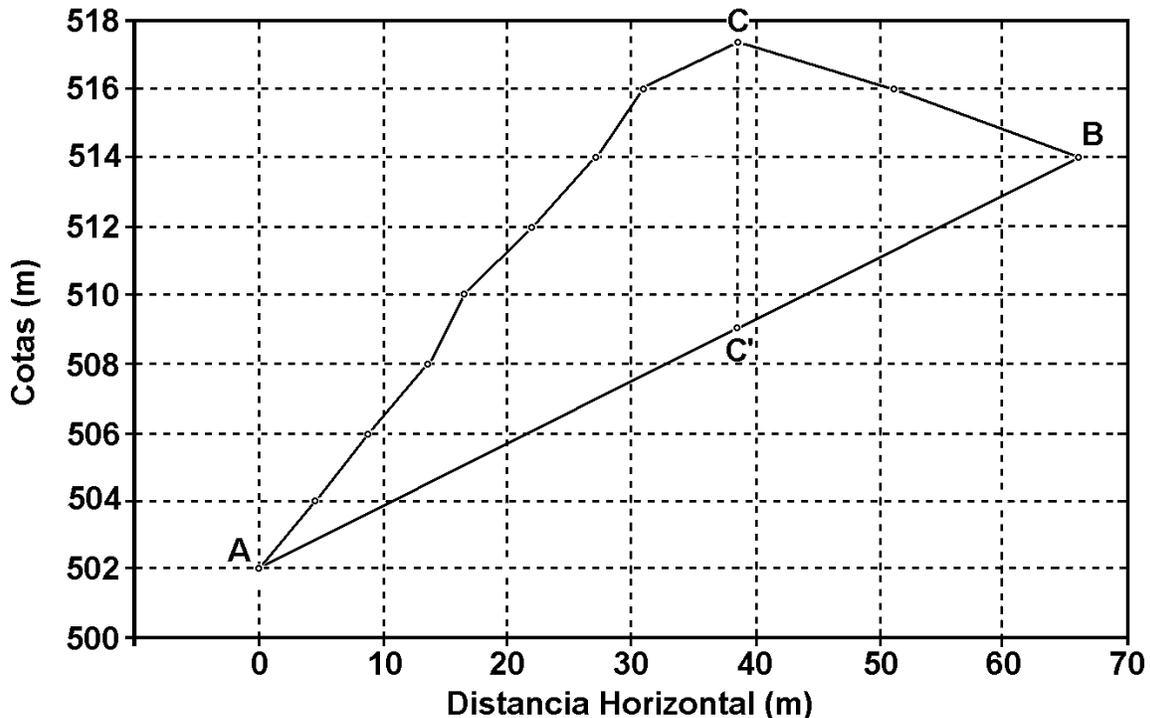


Figura 21 Alzado de la sección A-B (sin escalas)

Con una abertura de compás de 2 cm (equivalente a 20 metros en el terreno) y saliendo del punto "A" se ha graficado en la Figura 20 esa línea de pendiente constante que tiene la particularidad de ir, en teoría, sobre el terreno sin producir cortes o rellenos. La longitud total de esa línea quebrada será el producto del número de segmentos (6) por la longitud de cada uno $6 \times 20 = 120 m$ y la pendiente será 10 %. En realidad el ejemplo de la Figura 20 se realizó por un procedimiento inverso: primero se trazó la línea de pendiente uniforme y luego la de máxima pendiente entre los puntos extremos. En la práctica real se procede como sigue: se traza en el plano, usualmente de origen fotogramétrico, una línea de tanteo entre los puntos a enlazar; luego se determinan a) su longitud (con curvómetro o escalímetro) y b) su pendiente media (diferencia de nivel entre puntos extremos dividida por la longitud); esta pendiente media se lleva a la distancia horizontal que se corresponde con la equidistancia vertical entre curvas de nivel; luego se traza la línea de pendiente constante que con seguridad **no pasará** por el punto distante pero sí en sus

- e) Puesto que el punto "L" se encuentra en el otro flanco de la divisoria de aguas (línea punteada) hay que comenzar a subir con pendiente positiva de 4 % e intersectar a la curva 510 m en el punto "H". Desde allí hay dos alternativas hacia I e I'. Elegiremos la traza por I, J, K hasta L que, a pesar de ser un itinerario sinuoso se rectificó y resolvió con un sistema de curvas revertidas de Radio 50 m y centros de giro O_1 y O_2 .

Al trazar las líneas de pendiente constante se deben tomar provisiones referentes a radios de giro, longitudes críticas de pendiente, canales adicionales de subida y rectas de adelantamiento. Estas consideraciones a nivel de anteproyecto repercuten de manera beneficiosa en los costos de construcción y operación. Para ejemplarizar una de estas situaciones tomaremos de las "Normas para el Proyecto de Carreteras" el siguiente párrafo: "Las longitudes de trayectos de pendiente positiva que motiven reducciones de 25 km/h en las velocidades de los vehículos pesados, constituyen las longitudes críticas de pendientes". Seguidamente las Normas Viales Venezolanas dan el valor de longitud crítica reproducido en la *Tabla 5*:

Pendiente (%)	3	4	5	6	7	8
Longitud Crítica (m)	500	350	245	200	170	150

*Tabla 5: Valores Característicos de Longitud Crítica
Fuente: Normas para el Proyecto de Carreteras (M.T.C.)*

De acuerdo a lo expresado en los párrafos que anteceden deben evitarse, en lo posible, rasantes cuyas pendientes ocasionen la reducción de velocidad citada y en caso de que la magnitud del desnivel a vencer o las limitaciones del desarrollo, por razones topográficas o de otra índole, obliguen a adoptar fuertes y largas pendientes habría que considerar la construcción de un canal adicional en la sección transversal, sobre todo si en los estudios de tráfico se ha encontrado que valores importantes de su composición son originados por vehículos pesados. Por último habría que considerar que en pendientes muy prolongadas también debe evaluarse la construcción de un canal adicional para la bajada especialmente si el alineamiento horizontal presenta fuerte curvatura. Un caso emblemático de canales adicionales en pendiente negativa prolongada lo constituye la "Bajada de Tazón" en la T001, a la salida Oeste de Caracas. La sección transversal del Autopista es de 8 canales y en la pista de bajada, de unos 6,5 Km de longitud, se localizan dos rampas de frenado que pueden ser utilizadas eventualmente por vehículos que presentaran averías en su sistema de frenos. En el año 2006 se incorporaron a la Autopista Caracas–La Guaira, a la altura del peaje de Maiquetía, dos rampas de frenado siendo la pendiente longitudinal media del tramo de –7 % que, además de ser alta para autopistas, está precedida de 15 kilómetros de bajada continua.

En conclusión, podemos afirmar que no es factible ceñirse al alineamiento definido por la línea de pendiente uniforme a riesgo de resultar un trazado sinuoso y errático. Lo lógico y conveniente es rectificar la traza de la referida línea y, admitiendo cortes y rellenos, definir una poligonal que tienda a correlacionarse con los elementos geométricos asociados a la **Velocidad de Proyecto** previamente definida en la etapa de planificación.

Definida la o las poligonales en la franja de estudio se procederá a su inspección directa en campo. El ingeniero vial, con la cooperación del geólogo y del hidráulico, irá identificando los sitios potencialmente problemáticos, niveles freáticos altos, buzamiento de estratos, sitios de préstamo, sitios de ponteadero, etc.

Levantamiento Topográfico

La rectificación de la línea de pendiente constante dio origen a otra línea, menos errática, más aproximada a lo que será el eje de la vía y es sobre esta última donde normalmente se apoya el levantamiento topográfico semidetallado. Si bien es cierto que pueden haber restituciones a gran escala de algunas áreas por donde pasará la futura vía no es menos cierto que este hecho no es usual, sobre todo cuando se trata de áreas rurales. Por otra parte la precisión de las curvas de nivel solo se garantiza en terrenos de vegetación rala ya que en zonas boscosas, riberas de quebradas y aun en los laterales de cauces intermitentes, la vegetación dificulta y hasta impide el posicionamiento correcto de la marca flotante del sistema restituidor. Por esos motivos es razonablemente acertado proceder al levantamiento topográfico del eje y de una banda lateral que tiene un ancho variable que depende de lo accidentado del relieve atravesado. En líneas generales de 60 a 100 metros de ancho son valores adecuados (dependiendo de la sección típica de la plataforma) y de ser necesario algunos detalles adicionales o particulares se volverá al campo a levantarlos.

La materialización en campo de los vértices de la poligonal se hace con monumentos de concreto con cabilla central preferentemente horadada. Estos monumentos deben referenciarse a varios puntos (cercanos y fácilmente identificables) realizando en la libreta de campo un croquis claro de la situación previniendo así su eventual desplazamiento accidental o pérdida.

Las distancias entre vértices se determinarán, además de taquimétricamente al momento de la medición angular, con determinaciones directas en ambos sentidos. El uso de estaciones totales y distanciómetros electrónicos es ya una práctica habitual que tiende a desplazar, por su alta precisión y sencillez, las laboriosas y lentas mediciones con cinta.

Los ángulos horizontales se obtienen con estaciones totales y teodolitos de minutos con la aplicación de los métodos de Reiteración y Repetición en posiciones directa e inversa del anteojo. De no disponerse de Puntos Cartográficos de coordenadas conocidas se procederá al "amarre" de la poligonal a puntos de jerarquía superior de la Red

Nacional de Triangulación por medio de una triangulación de segundo orden. En la actualidad se emplea con profusión y altos rendimientos el **Sistema de Posicionamiento Global (GPS)** con instrumental submétrico que aminora los costos de operación, minimiza los errores asociados a las determinaciones clásicas y reduce los tiempos de ejecución de las operaciones.

El **Control Topográfico Angular** se garantiza con observaciones astronómicas o satelitales a intervalos máximos de 4 kilómetros mientras que el **Control Topográfico Altimétrico** se deriva de nivelaciones geométricas cerradas en circuitos de 2 kilómetros o menores. También se nivelarán puntos intermedios singulares como los de progresiva redonda donde se apoyará el levantamiento de las secciones o perfiles transversales.

La Edición de 1975 de las "Normas para el Proyecto de Carreteras" del M.T.C. prescribía, a nivel de anteproyecto y según relieve e importancia de la vía, las tolerancias de la *Tabla 6*. Las secciones transversales serán normales a los lados poligonales y con dirección bisectriz en los vértices. Normalmente 50 metros a cada lado del polígono y en sitios de ponteadero se puede llegar hasta 200 m a cada lado. La distancia entre secciones será de 20 m, en progresiva redonda, en relieves ondulado y montañoso y de 40-50 m en relieve llano.

<i>Tipo de Vía Relieve</i>	<i>Tolerancia Angular</i>	<i>Tolerancia Lineal</i>	<i>Tolerancia Altimétrica</i>
<i>Rurales/mediana importancia Terrenos fáciles</i>	$90\sqrt{n}$ en segundos	<i>1 : 1.000</i>	$10\sqrt{L}$ cm
<i>Rurales/mediana importancia Terrenos difíciles Rurales/importantes Terrenos fáciles</i>	$90\sqrt{n}$ en segundos	<i>1 : 1.500</i>	$\leq 30\sqrt{L}$ mm Circuitos hasta 5 km
<i>Rurales/importantes Terrenos difíciles Rurales/mediana importancia en zonas poco desarrolladas</i>	$60\sqrt{n}$ en segundos	<i>1 : 3.000</i>	$\leq 20\sqrt{L}$ mm Circuitos hasta 5 km

*n: Número de
estaciones*

*L: Longitud
en kilómetros*

Tabla 6: Levantamiento Topográfico. Anteproyecto: Tolerancias

Fuente: Condensado de las Normas para el Proyecto de Carreteras (M.T.C. 1975)

Luego de compensar las poligonales se procede a su representación gráfica por coordenadas en cuadrícula de 10 cm a escala 1:2.000 o mayor. Las curvas de nivel usualmente se representan a metro en terreno llano y a 2 metros en relieves ondulado y montañoso resaltando las maestras múltiplo de 10 m.

Estudio Geotécnico Preliminar

Se debe ejecutar normativamente antes de la ejecución del anteproyecto. La N.V.V. establece requisitos de carácter preliminar a ser cubiertos:

- a) Estudio fotogeológico de la región y definición preliminar de las posibles variantes.
- b) Identificación de sectores donde predominen cortes o terraplenes o estudios especiales.
- c) Estudio fotogeológico preliminar de las variantes con inclusión de tipos de suelos y rocas y sus propiedades geológicas más resaltantes.
- d) Inclusión en planos a escala media (1:25.000) de la red de drenaje: cursos permanentes, cursos intermitentes, quebradas; tipos de vegetación y patrones de erosión.
- e) En el trabajo de campo se delimitarán con mayor precisión los límites de las formas de tierra ya identificadas en el estudio fotogeológico: abanicos aluviales, conos de deyección, deslizamientos, pantanos, vegas de ríos y quebradas, mesa freática alta, etc.
- f) Además de la exploración de superficie se harán exploraciones del subsuelo con taladros de mano, calicatas y perforaciones profundas a máquina, estas últimas hechas en sitios particulares como ponteaderos.
- g) En el laboratorio se harán estudios de granulometría, materia orgánica, humedad natural, límite de consistencia, ensayos de compactación, ensayos de Índice de Soporte de California (CBR).
- h) Informe contentivo del estudio geológico regional, estudio geológico preliminar de las variantes, planta esquemática de las variantes, unidades geomorfológicas (formas de tierra) atravesadas, perfiles de los taladros y calicatas, recomendaciones particulares para localización de puentes y abras.

3) ANTEPROYECTO

Se comienza trazando, apoyada en la poligonal previamente definida, la primera aproximación al eje de la futura vía. Es una secuencia lógica de pasos donde la selección de los radios para suplir la curvatura horizontal debe hacerse sobre la base de valores superiores al Radio Mínimo correspondiente a la Velocidad de Proyecto del tramo. Los radios normalizados (redondos y múltiplos de 5) deben adaptarse a la forma de las curvas de nivel para minimizar los movimientos de tierra. La **Figura 23** ilustra lo expresado anteriormente en este párrafo.

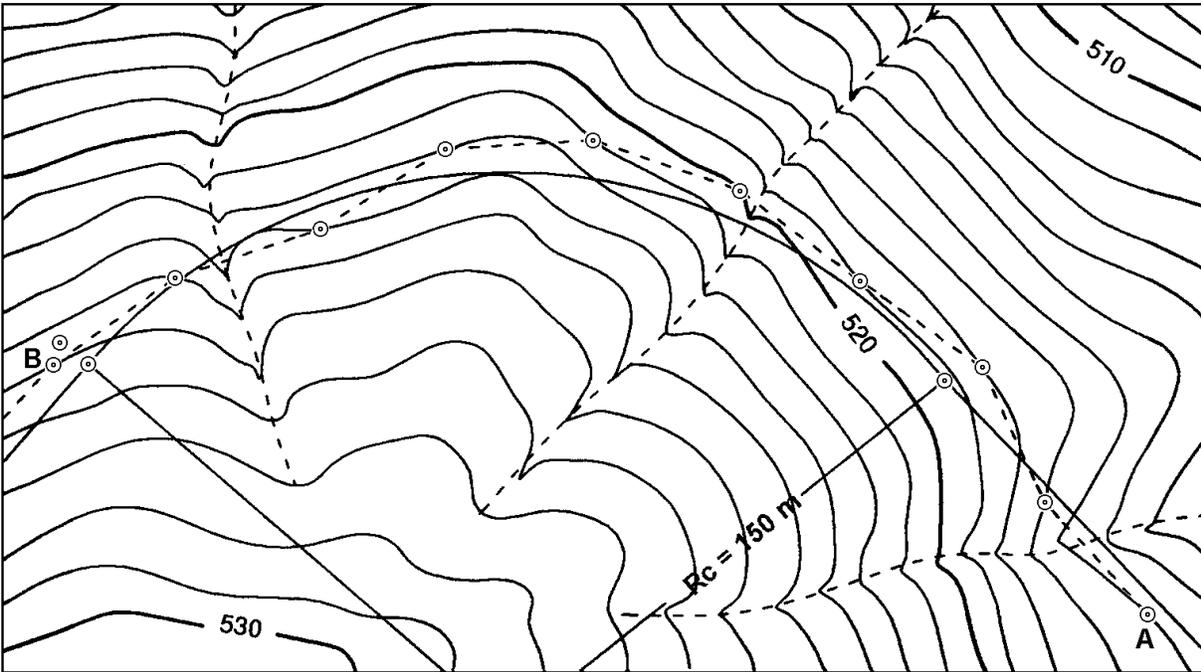


Figura 23: Línea de Pendiente Constante de 4 % empalmado los puntos "A" y "B".
 Rectificación de la traza con un arco circular de 150 m de radio.
 Escala 1:2.000. Dibujo: J.R. de la Cruz. Digitalización J.J. Rodríguez.

Las distancias entre vértices deben ser de magnitud tal que permitan la inserción de las longitudes de **Transición de Curvatura** y **Transición de bombeo** y al menos de las denominadas **Rectas Intermedias Cortas** que son alineamientos rectos, entre dos curvas consecutivas de igual o distinto sentido, donde la sección transversal se encuentra en bombeo neto. No deben confundirse las rectas intermedias cortas con las **Rectas de Paso o Adelantamiento** que son alineamientos rectos de las carreteras de dos canales donde, por su apropiada longitud, se puede ocupar el canal de sentido de circulación contraria para adelantar, con riesgo relativamente bajo, a los vehículos lentos. La provisión de Rectas de Paso en terrenos montañosos es una meta muy difícil de satisfacer a menos que se acometan movimientos de tierra importantes que terminan repercutiendo económicamente en el costo final de la obra. Esa es la razón por la que los trazados de antiguas vías en terrenos montañosos, saturadas por las altas densidades de circulación actual, tienen altos índices de accidentalidad.

Consideraciones de tipo integral entre entorno y posición de puentes, pontones y túneles deben ser analizadas en detalle y nunca prefijar la ubicación de la estructura vial y luego obligar al trazado a concurrir sobre ella como se estiló en tiempos pasados. En Venezuela son numerosos y conspicuos los ejemplos de este tipo de situaciones en antiguos trazados pero no escapan a esta crítica muchos trazados modernos. De importancia significativa resulta la definición de la dirección de los puentes y pontones con respecto al curso de agua ya que el **Esviaje**, de resultar pequeño, puede determinar en

momentos de alto gasto hidráulico, un estado temporal de intensa erosión sobre los materiales de fundación y aún sobre los componentes estructurales: pilas, estribos, vigas y aletas de protección.

Las obras menores de drenaje transversal como alcantarillas, cajones y bateas también deben ser objeto de análisis en cuanto a su dirección pues a lo largo de un tramo pudieran ser muchas (ciertas carreteras de Lara, en zonas áridas, tienen tramos con 8 alcantarillas por kilómetro) y si el esviaje es pequeño la longitud de estas estructuras, a pesar de que su eficiencia hidráulica es mayor, aumentaría notablemente su costo.

Toda estructura de drenaje transversal constituye en sí misma un impedimento al libre paso de las aguas de escorrentía y es por ello que en quebradas y cárcavas de pendiente longitudinal fuerte no es recomendable hacer rectificaciones a los cauces por que el ímpetu de sus caudales esporádicos es tal que pudiesen volver rápidamente a ocupar su trayectoria natural. Todas estas previsiones redundarán en reducción de los gastos de mantenimiento y en garantía de operatividad futura de estas obras de infraestructura vial.

Finalmente se hará la representación gráfica del eje y se valorará el **Alzado** (Perfil Longitudinal) para trazar la rasante y definir el alineamiento vertical que básicamente está regido por la topografía y por las particularidades geológicas y pedológicas de las áreas atravesadas. El paso siguiente, definida ya la rasante, consiste en representar las secciones transversales del Alzado que son el elemento definitorio para efectuar las primeras aproximaciones al cómputo de los movimientos de tierra. Recuérdese que en la etapa de Planificación las características geométricas de la Sección Transversal de la carretera ya fueron definidas.

Conviene también aclarar que las secciones transversales del levantamiento topográfico no son las mismas del Perfil Longitudinal porque mientras aquellas se emplearon para levantar los perfiles perpendiculares a la línea poligonal, éstas están asociadas al alineamiento horizontal de la vía, es decir, al formado por rectas y curvas que consecuentemente tiene una longitud menor y progresivas diferentes.

Las secciones típicas resultantes son **Trinchera**, caracterizada por la presencia de taludes de corte en ambos lados de la plataforma; **Terraplén**, limitada por dos taludes de relleno (esta clasificación aplica también para los **pedraplenes**); **Media Ladera**, con un talud en corte y uno en relleno y **Ladera**, con un talud de corte y el borde opuesto de la plataforma coincidiendo con la ladera natural sin formar talud alguno. Esta última es la menos frecuente de las secciones transversales y pueden verse esquematizadas en la **Figura 24**. La representación de los perfiles se realiza en escalas horizontal y vertical distintas con la finalidad de resaltar las diferencias altimétricas que de ordinario son pocas en comparación con las distancias horizontales asociadas a la sección.

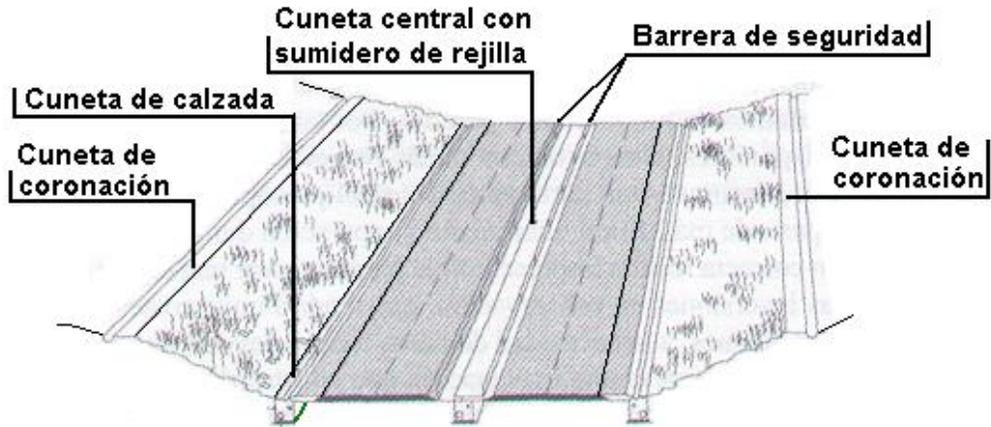


Figura 24.a: Sección Transversal en "Trinchera" en Vía de Calzada Dividida.

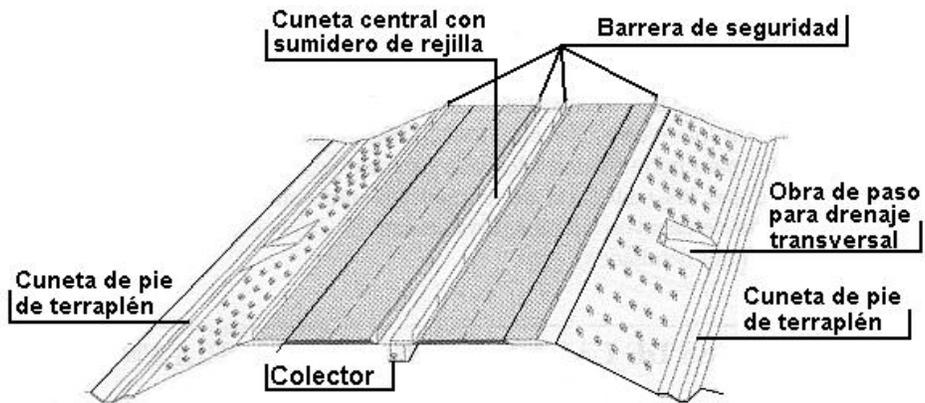


Figura 24.b: Sección Transversal en "Terraplén" en Vía de Calzada Dividida.

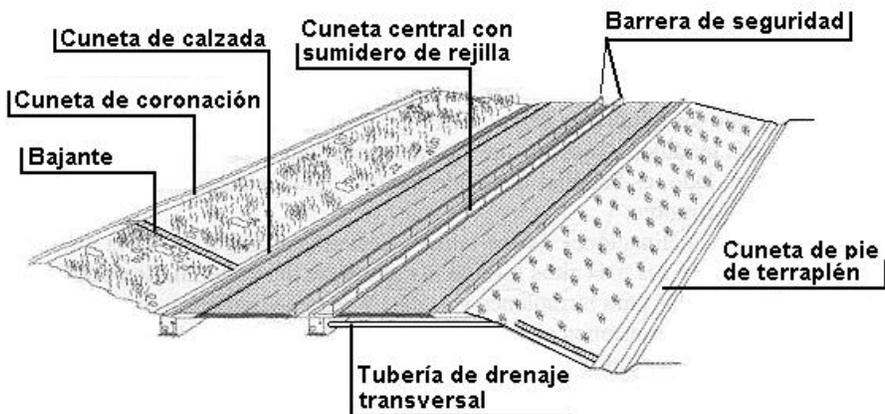


Figura 24.c: Sección Transversal en "Media Ladera" en Vía de Calzada Dividida.

La Sección en trinchera es frecuente en terrenos ondulados y montañosos particularmente cuando la vía es del tipo autopista ya que las limitaciones por pendiente y curvatura obligan a realizar grandes movimientos de masas en aras de imponer el trazado. Es una sección costosa en mantenimiento dado que su construcción disturba el natural equilibrio isostático alcanzado por los materiales en el tiempo geológico y los derrumbes y movimientos en masa tienen alta probabilidad de ocurrencia. También se emplea la sección en trinchera con la finalidad de obtener materiales apropiados para la construcción de terraplenes, sobre todo cuando estos materiales son escasos o sus canteras se localizan alejadas del eje vial.

La sección en terraplén es frecuente en relieve llano donde interesa alejar verticalmente la calzada de los flujos hídricos con los propósitos de a) impedir el ascenso de agua subterránea hasta la subrasante y b) permitir el libre curso de la escorrentía superficial a través de drenajes transversales.

Representando ahora los perfiles transversales en su orden de aparición en el terreno (comenzando por la porción inferior izquierda de la lámina) se podrá tener una valoración de los alineamientos horizontal y vertical diseñados anteriormente y proceder a su modificación con un método que tiene su base en las siguientes consideraciones:

Posiciones Extremas del Eje: Tienen lugar cuando, en la búsqueda de un terreno firme para la plataforma, se induce un corrimiento al eje, a izquierda o derecha según el caso. La posición del nuevo eje se localizará, desde el punto de contacto del terreno con la rasante (o subrasante), a una distancia igual al semiancho de la plataforma. La Sección Típica así obtenida recibe el nombre de **ladera**.

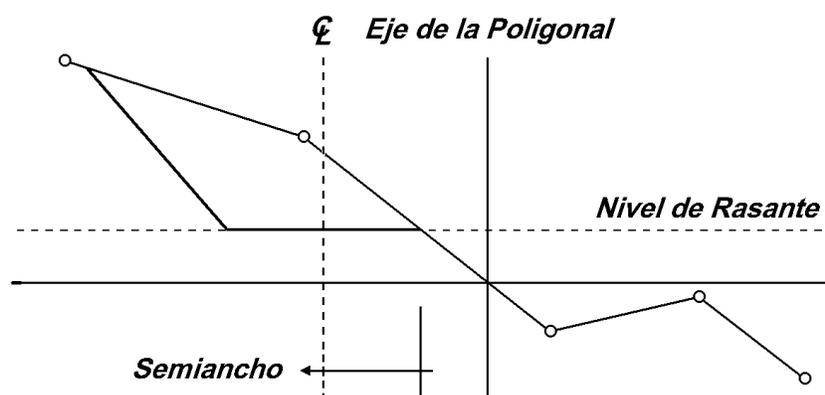


Figura 25: Posición Extrema del Eje; Representación esquemática.
Dibujo y digitalización: JRdelaC.

Esta situación geométrica es usual en relieves donde la pendiente transversal al eje de la poligonal es fuerte y la posibilidad de confinar rellenos solo puede lograrse con

muros costosos. Se sobrentiende que el costo del movimiento de tierras y el mantenimiento del talud generado será menor que el de construcción del muro.

Posiciones Ideales del Eje: Cuando la pendiente transversal del terreno no es fuerte resulta beneficioso tratar de compensar las áreas de corte y relleno sobre todo si se trata de materiales susceptibles de buena compactación. El corrimiento lateral del eje, conservando el nivel de rasante en la sección, da origen a una sección típica en **media ladera**:

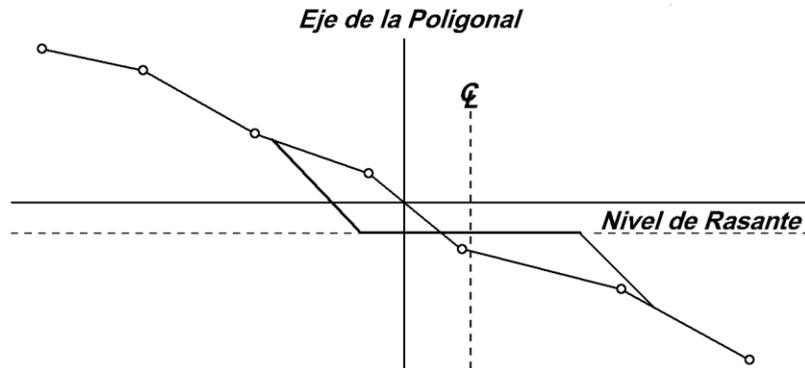


Figura 26: Posición Ideal del Eje. Representación Esquemática
Dibujo y digitalización: JRdelaC.

Posiciones Obligadas del Eje: La debida separación del eje de la carretera con respecto a estructuras preexistentes como urbanismos, canales, muros, otras carreteras, etc. hace necesario guardar distancias mínimas de separación que obligan a la posición del eje con la finalidad de respetarlas:

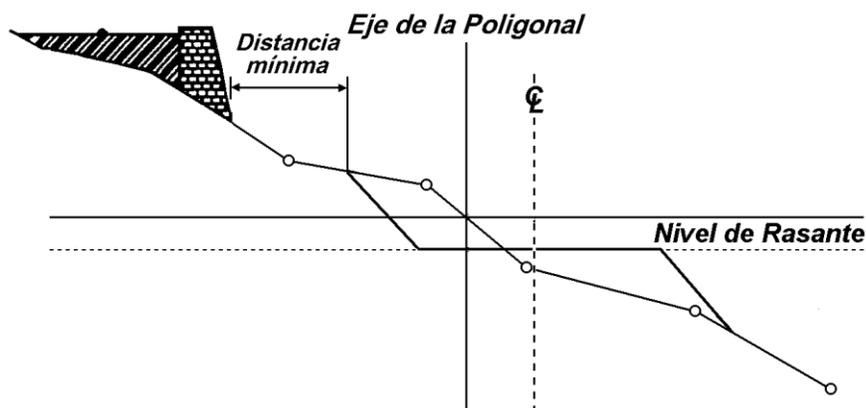


Figura 27: Posición Obligada del Eje. Representación Esquemática
Dibujo y representación: JRdelaC.

Concluido el análisis de las Secciones Transversales se llevan a la planta las traslaciones laterales del eje y se define un nuevo alineamiento horizontal esta vez tomando en consideración la posición de los puntos obtenidos en el análisis y también

(sobre todo en terreno montañoso) los puntos "cero" que son aquellos puntos donde la rasante (o subrasante) interseca al terreno original. El Resultado de los movimientos laterales se muestra en la *Figura 28* donde el eje primitivo (línea discontinua) ha sido rectificado tomando en consideración las nuevas posiciones y sustituido por la segunda aproximación al eje de la vía:

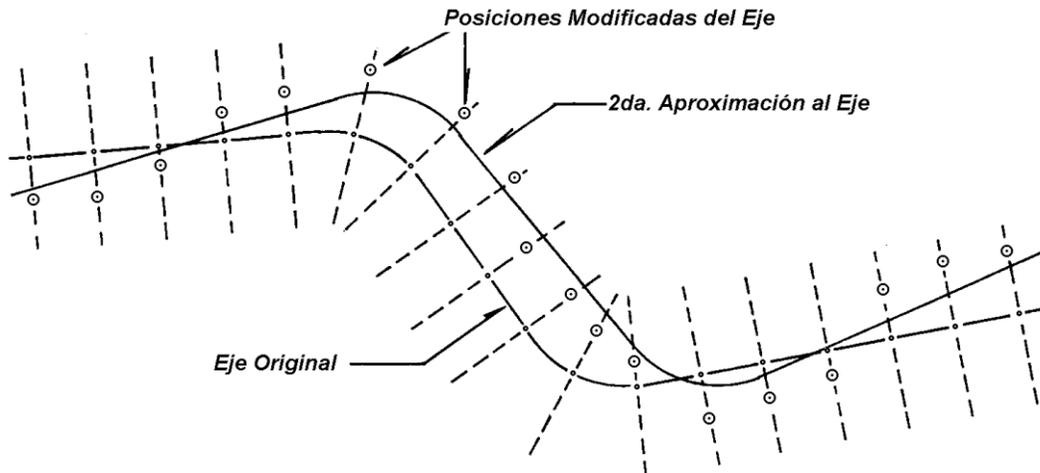


Figura 28: Segunda Aproximación al Eje de la Vía
Dibujo y representación: JRdelaC.

También se analiza a nivel de Anteproyecto el Alineamiento Vertical y se corrige la posición e inclinación de las diferentes pendientes que conforman la rasante en aquellas secciones que resultaran con excesivos cortes o rellenos. Las modificaciones altimétricas se llevan al Alzado (Perfil Longitudinal) y se rectifica la rasante en un procedimiento homólogo al descrito para el Alineamiento Horizontal. En la *Figura 29* se ilustra la segunda aproximación de la rasante en línea continua y la rasante primitiva en línea discontinua.

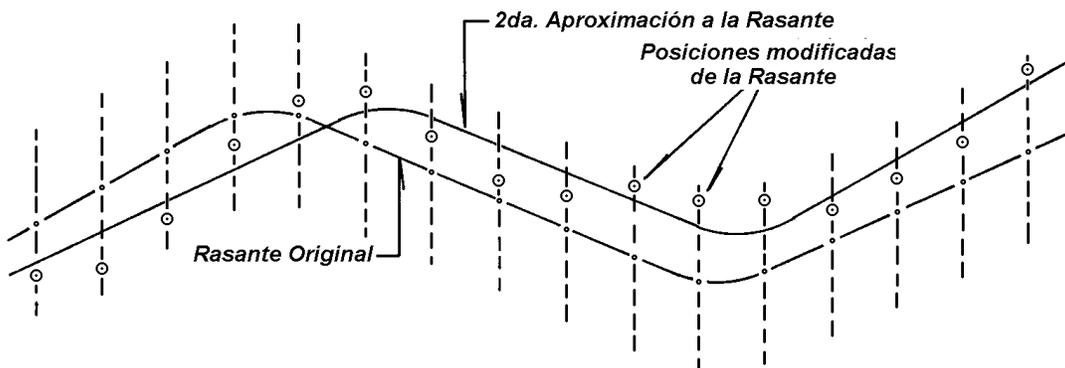


Figura 29: Segunda Aproximación a la Rasante de la Vía
Dibujo y representación: JRdelaC.

Para las primeras aproximaciones a la rasante los arcos de acuerdo empleados pueden ser circulares y se emplearán los parabólicos cuando se tenga el alineamiento

definitivo. Luego de varias aproximaciones, que se realizan dividiendo la longitud total en tramos homogéneos, se llegará al Anteproyecto definitivo de la vía.

Cuando se tengan definidos los Anteproyectos de los Alineamientos Horizontal y Vertical se diseñarán someramente las obras de drenaje transversal, su ubicación plano-altimétrica y las obras de drenaje longitudinal, cunetas, canales laterales y cunetas de coronamiento. Se determinarán todos los elementos geométricos de los acuerdos horizontales y verticales y se correlacionarán con la Velocidad de Proyecto, a partir del proceso de **Geometrización**, las distancias de visibilidad, longitudes de transición de peralte y bombeo, pendientes, longitudes críticas, rectas de paso. También se determinarán las coordenadas rectangulares y las cotas de los puntos singulares de ambos alineamientos.

A este nivel los programas informáticos, hoy disponibles a costos relativamente accesibles para organismos públicos y empresas de proyecto, son herramientas potentes que ayudan, si no al diseño básico donde el ingeniero es insustituible, si a la eliminación de los errores de cálculo, a la reducción de las largas jornadas empleadas en las aproximaciones geométricas tradicionales y a la rápida obtención de planos claros y exactos.

La potencia de estas herramientas informáticas es tal que la laboriosa obtención de los perfiles transversales y el cálculo de sus áreas, la topografía modificada, su representación y la determinación de los diagramas de masas, son algoritmos que vienen integrados al software como funciones básicas. Pero donde la informática ha determinado un cambio estructural es en las representaciones gráficas y dicho sea de paso, el profesional delineador o “dibujante”, como comúnmente se les denomina en Venezuela, cambió el taburete y la mesa de dibujo por la silla ejecutiva y el ordenador. El plotter, o mejor el trazador, es ahora la extensión cibernética de su mano.