

## Etapas / Fases de Diseño

Se realiza en etapas o fases en las que se tiene la posibilidad de evaluar progresivamente la viabilidad económica del proyecto.

**Fase 1. Pre – Factibilidad.** En esta Fase se identifican uno ó varios corredores de ruta posibles, se realiza el prediseño aproximado de la carretera a lo largo de cada corredor y, recurriendo a costos obtenidos en proyectos con condiciones similares, se realiza la evaluación económica preliminar, generalmente utilizando un modelo de simulación (HDM – 4, por ejemplo). En términos simples, la evaluación económica consiste en comparar, a lo largo de un periodo de análisis económico, la suma del costo inicial de construcción, el costo del mantenimiento rutinario y el costo del mantenimiento periódico con los beneficios que se obtendrían, representados mayoritariamente en los ahorros en el costo de la operación vehicular.

El objetivo concreto de la Fase 1 es establecer si el proyecto ofrece posibilidades de ser viable económicamente, es decir, si supera umbrales preestablecidos para indicadores como la relación Beneficio / Costo B/C ó la Tasa Interna de Retorno TIR. Si la evaluación económica no es satisfactoria en ninguno de los corredores estudiados se archiva el proyecto. En caso contrario, se debe continuar afinando los estudios a nivel de Fase 2 en el corredor que presente la mayor rentabilidad.

**Fase 2. Factibilidad.** En el corredor seleccionado se debe diseñar en forma definitiva el eje en planta de la carretera. La posición de dicho eje deberá ser compatible con el cumplimiento de las especificaciones geométricas tanto del perfil como de las secciones transversales y de todas las estructuras y obras complementarias que se requieran.

Con la trayectoria definitiva en planta del eje de la vía y con los prediseños del eje en perfil, de las secciones transversales, de las obras de drenaje superficial subterráneo, de las estructuras como puentes y muros de contención, del pavimento, etc, se procede a la evaluación económica final, generalmente mediante la simulación. Esta evaluación se realiza con un mayor grado de confiabilidad por cuanto en ésta Fase ya se cuenta con elementos suficientes tanto para elaborar el presupuesto con menor incertidumbre como para cuantificar los costos de la operación vehicular.

El objetivo concreto de la Fase 2 es la decisión final de continuar ó no con el proyecto dependiendo de su rentabilidad. Si éste resulta rentable se debe continuar con la elaboración de los diseños definitivos de la carretera a partir del eje ya definido. Tales diseños constituyen la Fase 3 del proyecto.

**Fase 3. Diseños Definitivos.** Como se acaba de mencionar, en ésta Fase se elaboran los diseños detallados, tanto geométricos como de todas las estructuras y obras complementarias que se requieran, de tal forma que un constructor pueda materializar la carretera.

En el otro extremo de la jerarquía vial se encuentran las carreteras Terciarias cuya construcción pretende básicamente desarrollar zonas potencialmente productivas u ofrecer posibilidades de bienestar a núcleos de población atrasados por la carencia de una vía de comunicación terrestre. En ambos casos la decisión de construir la carretera es de carácter eminentemente político, respetando, claro está, el orden de prioridades establecido por las autoridades gubernamentales.

Una vez tomada la decisión de construir la vía se procede a la elaboración de los diseños, de manera continua, hasta su nivel de detalle. La metodología para una carretera Terciaria nueva es una versión simplificada y en una sola etapa del método que se desarrolla en tres fases cuando se trata de vías Primarias. El método de diseño por Localización Directa solo se recomienda cuando el trazado sea en terreno plano.

Con relación a las carreteras Secundarias es poco frecuente el caso de construir una carretera nueva con el carácter de Secundaria. Por lo general éstas carreteras son el resultado del mejoramiento continuo que en el transcurso de los años se realiza a carreteras que originalmente fueron Terciarias. El método de diseño de rectificaciones y mejoras de vías existentes es una adaptación del método aplicable a carreteras Terciarias y sus actividades obviamente dependen de la naturaleza y magnitud de los trabajos a realizar en cada caso particular.

### Secuencias Metodológicas.

Se presenta una breve descripción de las actividades principales que se deben llevar a cabo para la realización del proyecto de una carretera Primaria y de una carretera Secundaria ó Terciaria. Dichas secuencias metodológicas son de carácter general y no consideran la totalidad de las actividades requeridas y obedece a la conveniencia de hacer énfasis en que las decisiones asociadas al diseño geométrico deben ser tomadas en estrecha concordancia con las condiciones prevalecientes en cuanto a la geología, la geotecnia, la hidrología e hidráulica de cauces, las facilidades para el emplazamiento y construcción de las estructuras viales e intersecciones, las fuentes de materiales y las afectaciones al medio ambiente.

### Carreteras Primarias. Fase 1. Pre Factibilidad.

#### 1. Adquisición de la cartografía existente de la zona del proyecto.

- Mapas topográficos y geológicos en escalas reducidas.
- Fotografías aéreas. Generalmente a escala 1:50.000 ó 1:40.000
- Restituciones aerofotogramétricas a escala 1:10.000 con curvas de nivel cada veinticinco metros (25 m) ó menos, si es posible.
- Imágenes de satélite u otro sistema de información geográfica.

#### 2. Estudio de Tránsito.

El estudio debe estimar la probable demanda de tránsito en un horizonte de análisis de veinte (20) años a partir del año de entrada en operación de la carretera. Períodos de análisis mayores implicarían un excesivo grado de incertidumbre en la proyección. El estudio de tránsito debe indicar el Volumen Horario de Demanda (VHD) en el año veinte y su composición vehicular.

#### 3. Identificación, con base en la información cartográfica, de los posibles corredores de ruta.

Se deben considerar, como mínimo, los siguientes aspectos: la estabilidad geológica, la pendiente transversal del terreno (clasificándolo en plano, ondulado, montañoso ó escarpado),

la estabilidad geotécnica, el patrón de drenaje, el número de cauces mayores, opciones de sitios de cruce de líneas divisorias de aguas (puertos secos) y ponederos, posibilidad de fuentes de materiales y zonas de vida ó ecosistemas. Se puede presentar que por las características topográficas de la zona no sea evidente el desarrollo de algún corredor que se desea analizar. Para ayudar a delimitarlo con más precisión se deben establecer, sobre restituciones, los puntos secundarios de control y entre ellos trazar una línea de ceros provisional. Para ello se puede asumir, a título de una primera aproximación, la Pendiente Media Máxima del corredor de ruta (PM<sub>máx</sub>) asociada a la Velocidad de Diseño de un tramo homogéneo (VTR) que se considere apropiada para ese tipo de terreno. La definición de Pendiente Media Máxima del corredor de ruta se presenta en el paso 7) de esta secuencia.

#### 4. Reconocimiento Aéreo.

Si el proyecto lo amerita y se considera prudente confirmar premisas asumidas con base en la cartografía, se deben realizar reconocimientos aéreos que permitan ratificar ó descartar la viabilidad de corredores de ruta propuestos. Los pasos siguientes se deben llevar a cabo para cada uno de los corredores de ruta propuestos.

#### 5. Identificación sobre restituciones 1:10000 de tramos homogéneos desde el punto de vista de la velocidad de diseño.

El principal criterio es la homogeneidad en el tipo de terreno. En el proceso de asignación de la Velocidad de Diseño se debe otorgar la máxima prioridad a la seguridad de los usuarios. Por ello la velocidad de diseño a lo largo del trazado debe ser tal que los conductores no sean sorprendidos por cambios bruscos y/o muy frecuentes en la velocidad a la que pueden realizar con seguridad el recorrido. El diseñador, para garantizar la consistencia en la velocidad, debe identificar a lo largo del corredor de ruta, tramos homogéneos a los que por las condiciones topográficas se les pueda asignar una misma velocidad. Esta velocidad, denominada Velocidad de Diseño del tramo homogéneo (VTR), es la base para la definición de las características de los elementos geométricos incluidos en dicho tramo.

Para identificar los tramos homogéneos y establecer su Velocidad de Diseño (VTR) se debe atender a los siguientes criterios:

a) La longitud mínima de un tramo de carretera con una velocidad de diseño dada debe ser de tres (3) kilómetros para velocidades entre veinte y cincuenta kilómetros por hora (20 y 50 km/h) y de cuatro (4) kilómetros para velocidades entre sesenta y ciento diez kilómetros por hora (60 y 110 km/h).

b) La diferencia de la velocidad de diseño entre tramos adyacentes no puede ser mayor a veinte kilómetros por hora (20 km/h).

No obstante lo anterior, si debido a un marcado cambio en el tipo de terreno en un corto sector del corredor de ruta es necesario establecer un tramo con longitud menor a la especificada, la diferencia de su velocidad de diseño con la de los tramos adyacentes no puede ser mayor de diez kilómetros por hora (10 km/h).

6. Asignación de la Velocidad de Diseño Preliminar a cada tramo homogéneo.

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO $V_{TR}$ (km/h)										
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	
Primaria de dos calzadas	Plano							///	///	///	///	///
	Ondulado							///	///	///	///	///
	Montañoso						///	///	///	///	///	///
	Escarpado						///	///	///	///	///	///
Primaria de una calzada	Plano							///	///	///	///	///
	Ondulado							///	///	///	///	///
	Montañoso						///	///	///	///	///	///
	Escarpado						///	///	///	///	///	///
Secundaria	Plano							///	///	///	///	///
	Ondulado							///	///	///	///	///
	Montañoso						///	///	///	///	///	///
	Escarpado						///	///	///	///	///	///
Terciaria	Plano							///	///	///	///	///
	Ondulado							///	///	///	///	///
	Montañoso						///	///	///	///	///	///
	Escarpado						///	///	///	///	///	///

7. Trazado de la línea de ceros sobre las restituciones 1:10.000

Sin exceder la Pendiente Media Máxima del corredor de ruta ( $PM_{m\acute{a}x}$ ) asociada a la Velocidad de diseño preliminar asignada a cada tramo homogéneo, se debe trazar la línea de ceros entre los puntos secundarios de control considerados como fronteras entre tramos homogéneos. La Pendiente Media Máxima del corredor de ruta ( $PM_{m\acute{a}x}$ ) en un determinado Tramo Homogéneo debe ser menor que la pendiente máxima permitida para una tangente vertical incluida en dicho Tramo Homogéneo. El valor de la Pendiente Media Máxima del corredor de ruta ( $PM_{m\acute{a}x}$ ) en ningún caso puede ser superior a siete por ciento (7%) y sus valores se indican en la Tabla siguiente.

Pendiente Media Máxima del corredor de ruta (%) en función de la Velocidad de Diseño del Tramo homogéneo ( $V_{TR}$ )

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO $V_{TR}$ (km/h)									
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	-	-	-	-	-	6	6	6	5	5
Primaria de una calzada	-	-	-	-	7	7	6	6	5	-
Secundaria	-	-	7	7	7	7	6	-	-	-
Terciaria	7	7	7	-	-	-	-	-	-	-

Si la pendiente media del corredor es menor que la máxima permitida para una tangente vertical es poco probable que, al momento de realizar el diseño en perfil del eje de la carretera, se presenten dificultades para cumplir la especificación de pendiente máxima de una tangente vertical.

El requisito que establece que la pendiente media del corredor de ruta no debe superar siete por ciento (7%) tiene sentido fundamentalmente en el caso del proyecto de una carretera Terciaria. En estas carreteras, por su categoría, se permiten pendientes fuertes, las que se pueden diseñar sin objeción mientras la vía sea Terciaria. Si con el paso de los años es necesario mejorar sus especificaciones geométricas, será posible ensanchar la corona y ampliar el Radio de las curvas, pero no disminuir la pendiente ya que una variante con pendientes menores difícilmente volvería a empalmar más adelante con la carretera existente.

Es claro que en un principio se requiere mayor longitud para superar iguales desniveles, pero esta situación se verá compensada cuando al momento del mejoramiento de la carretera no sea inexorable el abandono del corredor, con todo el desarrollo social y económico logrado durante el transcurso del tiempo.

#### 8. Reconocimiento Terrestre.

Una vez trazada la línea de ceros sobre las restituciones se debe llevar a cabo un reconocimiento terrestre con el propósito de validar los planteamientos formulados con base en la cartografía. Para conceptuar si la línea de ceros es factible, se debe establecer, con un altímetro, la cota de los puntos secundarios de control propuestos. Con el desarrollo de dicha línea, medido sobre las mismas restituciones, se debe calcular la Pendiente Media del corredor entre puntos de control y constatar, sobre la realidad del terreno, si se supera o no la máxima permitida según la Velocidad de Diseño asignada al tramo homogéneo. Además, se debe analizar la estabilidad geológica y la estabilidad geotécnica, el patrón de drenaje, las condiciones reales de los puertos secos y ponteaderos definidos como puntos secundarios de control, las posibles fuentes de materiales, las zonas de vida ó ecosistemas y todos los demás aspectos que el grupo de especialistas a cargo de la Fase de Pre-factibilidad considere necesario valorar.

#### 9. Ajuste de tramos homogéneos y de las velocidades de diseño preliminares.

Si las conclusiones del reconocimiento terrestre indican la necesidad de llevar a cabo modificaciones, que podrían consistir, a manera de ejemplo, en el descarte total o parcial de un corredor de ruta, en desplazamientos de ponteaderos, sitios de cruce de líneas divisorias de aguas (puertos secos) ó fronteras entre tramos homogéneos y/o en cambios en las Velocidades de Diseño preliminares consideradas para dichos tramos, el procedimiento se debe revisar desde el paso cinco.

#### 10. Estudio de Capacidad y Nivel de Servicio.

Una vez que el resultado del reconocimiento terrestre permita concluir que los tramos considerados homogéneos y sus velocidades asignadas como preliminares no requieren ajustes, se debe proceder a realizar el Estudio de Capacidad y Nivel de Servicio.

Para cada tramo homogéneo identificado en el numeral anterior, y con las especificaciones geométricas asociadas a la Velocidad de Diseño preliminar asumida, se debe realizar el prediseño de un subtramo, mínimo de un kilómetro de longitud, que sea representativo de las

condiciones típicas del tramo homogéneo. A dicho subtramo se le evaluará su Capacidad y Nivel de Servicio.

En carreteras Primarias, en las que el volumen de tráfico es alto, el parámetro que determina el nivel de servicio es la Velocidad de Operación (VOp), la que, en éste caso, depende fundamentalmente de la intensidad del tráfico.

El estudio de Capacidad y Nivel de servicio debe establecer, para el subtramo considerado típico del tramo homogéneo, el volumen de tráfico horario que hace que la Velocidad de Operación sea igual a la mínima permitida para que la carretera ofrezca a los usuarios el Nivel de Servicio D. Este volumen de tráfico debe ser mayor que el Volumen Horario de Demanda (VHD) estimado para el año veinte y de su comparación se concluirá si la velocidad de diseño preliminar es adecuada ó es necesario modificarla.

#### 11. Asignación definitiva de la velocidad de diseño del tramo ( $V_{TR}$ )

Si del análisis de Capacidad y Nivel de Servicio se concluye que la velocidad de diseño asumida preliminarmente para el tramo homogéneo es compatible con el nivel de servicio D, considerado como el mínimo nivel de servicio a ofrecer a los usuarios de la carretera, entonces la Velocidad de Diseño preliminar puede ser adoptada como definitiva. Por el contrario, si la velocidad de diseño preliminar resulta muy baja ó muy alta es necesario asignar una nueva velocidad de diseño preliminar (siempre dentro del rango indicado en la Tabla y en consistencia con la velocidad asignada a los tramos adyacentes) y reiniciar el procedimiento.

Como es probable que la nueva velocidad de diseño preliminar tenga asociada una Pendiente Media Máxima que dependiendo de las características topográficas del corredor obligaría, al trazar la línea de ceros sobre las restituciones, a desplazar los puntos secundarios de control que marcan las fronteras entre tramos homogéneos, el procedimiento se debe revisar desde el paso cinco.

#### 12. Trazado de la Línea de Ceros.

Una vez establecidas, en forma definitiva, las fronteras entre Tramos homogéneos y asignada su Velocidad de diseño se debe trazar la línea de ceros en el terreno con el propósito de verificar si es posible conectar los puntos extremos del tramo, es decir sus fronteras, sin superar la Pendiente Media Máxima del corredor de ruta (PMmáx) asociada a la Velocidad de diseño adoptada (VTR).

#### 13. Elaboración del croquis de la línea de ceros en el terreno.

Si el resultado de ésta Fase de Pre-Factibilidad indica que se deben continuar los estudios será necesario, al inicio de la Fase 2, replantear la línea de ceros que se trazó en el terreno según el paso 12) de esta secuencia. Para hacer posible el replanteo se debe elaborar un croquis de la línea de ceros, dibujado a partir de datos topográficos levantados en el terreno con instrumentos que pueden no ser de precisión como la brújula, el nivel Abney, la cinta y los jalones.

#### 14. Estudio Preliminar de Impacto Ambiental.

Se debe atender a los procesos establecidos en la evaluación de impacto ambiental.

#### 15. Evaluación Económica Preliminar.

La evaluación económica preliminar, que es uno de los propósitos fundamentales de la Fase 1, se debe realizar preferiblemente con el modelo de simulación HDM-4 u otro similar.

#### 16. Elaboración del Informe Final de Fase 1. Pre-Factibilidad.

### Carreteras Primarias. Fase 2. Factibilidad.

#### 1. Reconocimiento terrestre del corredor de ruta

En ésta actividad se debe hacer énfasis en la identificación de los puntos secundarios de control que son frontera entre Tramos Homogéneos de diseño.

#### 2. Replanteo de la línea de ceros en el terreno

Para ello se debe recurrir al croquis de la línea de ceros y a la cartera de campo que sirvió de base para su dibujo.

#### 3. Levantamiento topográfico del corredor de la ruta

La primera actividad es el establecimiento de una poligonal cuyos vértices serán bases de topografía a partir de las cuales, mediante radiación, se toman las coordenadas de puntos del terreno.

Se aceptará el uso de equipos GPS para la realización de esta actividad, prescindiendo así de la poligonal conformada por las bases de topografía, siempre y cuando su precisión sea la suficiente para justificar su uso en lugar de equipos convencionales.

El ancho de la faja de terreno a levantar en cada sector del corredor será definido por los ingenieros a cargo del diseño en función de las características topográficas del sitio. Para que el modelo digital elaborado a partir de la nube de puntos tenga una precisión suficiente es deseable que la distancia entre ellos no supere diez metros (10 m)

#### 4. Estudio Preliminar de la estratigrafía a lo largo del corredor de la ruta.

El diseño del eje en planta debe ser compatible con el diseño en perfil y en sección transversal. Tanto el diseño en perfil como de la sección transversal están condicionados por la naturaleza de los materiales que eventualmente deban ser excavados. En consecuencia, definir la posición del eje en planta sin conocer, al menos en forma aproximada, las características de los estratos involucrados en la explanación es exponerse a sorpresas durante la ejecución de los diseños definitivos en el caso de tener que continuar los estudios en su Fase 3.

Por lo anterior, se debe llevar a cabo mediante métodos indirectos y de bajo costo, como los geo sísmicos, una auscultación preliminar que permita inferir la probable estratigrafía del corredor.

#### 5. Diseño definitivo del eje en planta, prediseño de perfil y secciones.

Todas estas actividades se enuncian en un solo numeral porque su ejecución se debe realizar simultáneamente en un proceso de aproximación sucesiva a la solución más equilibrada. Se debe proponer una primera alternativa del eje en planta. Como se cuenta con el modelo del terreno se elabora el prediseño del eje en perfil. A partir del eje en planta y del eje en perfil se prediseñan las secciones transversales. Para proponer la primera alternativa del eje en planta, formular el prediseño en perfil y el prediseño de las secciones transversales es necesario tomar en cuenta algunos aspectos complementarios que se deben definir paralelamente al proceso de diseño geométrico y que condicionan sus decisiones.

Los aspectos que se deben estudiar simultáneamente con el diseño definitivo del eje en planta son:

- Aspectos geotécnicos
- Posibles requerimientos de estabilización de laderas
- Prediseño de los taludes. Para ello los especialistas, basados en la estratigrafía deducida y fundamentalmente en su experiencia y buen juicio, deben valorar, obviamente en forma aproximada, aspectos como la condición de los macizos rocosos (rumbo, buzamiento e intensidad de sus diaclasas) y la resistencia al corte de los estratos de suelo.
- Evaluación de la capacidad portante y compresibilidad de los estratos que servirían como fundación de terraplenes y estructuras viales.
- Localización de eventuales zonas de material de préstamo para terraplenes.
- Posibilidades de sitios de botadero
- Estudios de hidrología e hidráulica de cauces
- Ubicación y prediseño de las alcantarillas
- Cota mínima de rasante en cada sitio de ponteadero
- Prediseño de las intersecciones con otras carreteras

Concluido el diseño de la primera alternativa del eje en planta y el prediseño correspondiente del eje en perfil y secciones transversales, elaborados tomando en cuenta las ventajas y desventajas desde los puntos de vista de la geotecnia, posibilidades de disposición de los materiales producto de las excavaciones, hidrología y cauces e intersecciones con otras vías, se debe analizar si la carretera que resultaría de esa primera alternativa del eje en planta cumple con las especificaciones geométricas exigidas y es compatible con un costo razonable. Si, a juicio de los proyectistas, el diseño resultante de ésta primera alternativa estudiada es susceptible de mejoras haciendo modificaciones en la posición del eje en planta, estas se deben hacer, procediendo enseguida a elaborar nuevamente el prediseño del eje en perfil y de las secciones transversales. Se analiza el resultado y si es necesario se repite el proceso hasta que se concluya que el diseño corresponde al mejor equilibrio posible entre todos los aspectos que inciden en la construcción y operación de la eventual carretera. Al eje definitivo en planta se le debe elaborar su Cartera de Localización, mediante coordenadas

planas cartesianas, a partir de las bases de topografía establecidas a lo largo del corredor ó a partir de puntos auxiliares enlazados a éstas bases.

#### 6. Elaboración del estudio definitivo de impacto ambiental.

En esta Fase 2 se debe evaluar en forma definitiva el impacto ambiental que produciría la construcción y operación de la carretera. Si el impacto no es mitigable, el proyecto se debe descartar, al menos por el corredor de ruta en estudio. Si el impacto ambiental es mitigable, se debe continuar con los siguientes pasos.

#### 7. Elaboración preliminar de estudios y diseño complementarios.

Se deben elaborar, a nivel preliminar, los siguientes estudios y diseños:

- Estudio preliminar de predios para la adquisición del ancho de zona.
- Prediseño de la solución para la estabilización de laderas, si se requiere.
- Prediseño de los taludes y su protección.
- Prediseño del Plan de Manejo de botaderos.
- Estudio preliminar de bancos de préstamo de material para terraplenes.
- Estudio preliminar de fuentes de materiales para concretos y pavimentos.
- Prediseño de alcantarillas, cunetas, aliviaderos, bordillos, disipadores de energía, sub drenes y demás elementos de drenaje superficial y subterráneo que se requieran.
- Prediseño de pontones, puentes y muros de contención. Estos prediseños incluyen el estudio preliminar de fundaciones y, en el caso de pontones y puentes, el de una eventual socavación.
- Prediseño del pavimento.
- Prediseño de las intersecciones viales.
- Prediseño de obras especiales, si se requieren, como viaductos y túneles.
- Prediseño de la señalización y demarcación de la carretera y sus intersecciones.
- Prediseño del amoblamiento vial.
- Prediseño de las obras de mitigación ambiental.

#### 8. Elaboración del presupuesto preliminar.

El presupuesto preliminar debe incluir, como mínimo, los siguientes rubros:

- Adquisición de predios.
- Movimiento de tierras (excavaciones, terraplenes y acarreos).
- Estabilización de laderas y taludes.
- Obras de drenaje menor.
- Estructuras.
- Intersecciones.
- Pavimento.
- Señalización y demarcación.
- Amoblamiento.
- Obras de mitigación ambiental.
- Interventoría de la construcción

## 9. Evaluación económica definitiva.

La evaluación económica definitiva, que determina si se justifica construir ó no la carretera, se debe realizar preferiblemente con el modelo de simulación (ejemplo HDM-4.)

## 10. Elaboración del Informe Final de Fase 2. Factibilidad.

### Carreteras Primarias. Fase 3. Diseños Definitivos.

#### 1. Eventual mejoramiento del modelo del terreno en el ancho de zona.

Si los ingenieros encargados del diseño geométrico consideran necesario mejorar la precisión del modelo, elaborado con base en el levantamiento topográfico del corredor llevado a cabo durante la Fase 2, se puede proceder de dos maneras, dependiendo del tiempo y los recursos disponibles para la ejecución del proyecto:

Primera. Densificar la nube de puntos en el ancho de zona radiando desde las bases de topografía existentes a lo largo del corredor. La definición de este ancho de zona es en forma aproximada. Las coordenadas de los puntos adicionales se incorporan al modelo digital, con lo que se obtiene una mayor exactitud en la topografía.

Segunda. Localizar el eje de la carretera radiando desde las bases de topografía existentes a lo largo del corredor y utilizando las carteras elaboradas durante la Fase 2 del proyecto. Si por facilidad se efectúa la radiación desde otros puntos, éstos deben estar debidamente enlazados a las coordenadas de alguna de las bases de topografía. Una vez localizado el eje en el terreno se procede a nivelarlo con nivel de precisión utilizando las bases de topografía existentes como BM. Conocidas las cotas precisas de las abscisas completas del eje y de sus puntos principales (TE, EC, CE, ET) se corrige la coordenada Z (cota) de estos puntos, con lo que se tienen incorporadas en el modelo digital las coordenadas exactas del eje de la vía. A partir de abscisas del eje, convenientemente elegidas, se efectúan radiaciones tomando puntos en el ancho de zona con el espaciamiento entre ellos que se considere suficiente para obtener un modelo del terreno adecuado para los diseños a nivel de detalle.

#### 2. Evaluación geotécnica a lo largo del eje de la carretera

Esta actividad consiste en definir con exactitud el perfil estratigráfico y las características de los materiales. Implica necesariamente la ejecución de sondeos y toma de muestras para ensayos de laboratorio.

#### 3. Estudios previos al diseño del eje en perfil y de la sección transversal

Para el diseño definitivo del eje en perfil y de las secciones transversales los ingenieros deben conocer, como mínimo, los siguientes parámetros:

- Inclinación máxima de los taludes en función de su altura.
- Localización de botaderos.

- Localización de bancos de préstamo de materiales aptos para la construcción de terraplenes.
- Cota mínima de rasante en los emplazamientos de las obras de cruce de cauces como puentes y pontones. Para ello se debe establecer el área hidráulica requerida y el peralte aproximado de las estructuras.
- Espaciamiento máximo entre alcantarillas.
- Diseño de las cunetas.
- Espesor del pavimento.

#### 4. Diseño definitivo del eje en perfil

#### 5. Diseño definitivo de las secciones transversales

#### 6. Análisis del movimiento de tierras

Este análisis debe incluir lo siguiente:

- Determinación del volumen de excavación a lo largo del eje, discriminándolo en roca y material común.
- Determinación del volumen de terraplén.
- Determinación del volumen de excavación en bancos de préstamo para terraplenes.
- Programación de los acarrees utilizando el Diagrama de Curva-masa u otra herramienta equivalente.

#### 7. Estudios y diseños complementarios definitivos

Se deben elaborar, a nivel de detalle para construcción, los siguientes estudios y diseños:

- Estudio de predios para la adquisición del ancho de zona.
- Diseño de la solución para la estabilización de laderas, si se requiere.
- Diseño de los taludes y su protección.
- Diseño del Plan de Manejo de botaderos.
- Estudio de bancos de préstamo de material para terraplenes.
- Estudio de fuentes de materiales para concretos y pavimentos.
- Diseño de alcantarillas, cunetas, aliviaderos, bordillos, disipadores de energía, subdrenes y demás elementos de drenaje superficial y subterráneo que se requieran.
- Diseño de pontones, puentes y muros de contención. Estos diseños incluyen el estudio de fundaciones y, en el caso de pontones y puentes, el de una eventual socavación.
- Diseño del pavimento.
- Diseño de las intersecciones viales.
- Diseño de obras especiales, si se requieren, como viaductos y túneles.
- Diseño de la señalización y demarcación de la carretera y sus intersecciones.
- Diseño del amoblamiento vial.
- Diseño de las obras de mitigación ambiental.

#### 8. Elaboración del presupuesto definitivo

Para la elaboración del presupuesto se debe calcular el cuadro de cantidades de obra y conformar el precio unitario de cada uno de los ítems involucrados en el proyecto. Es pertinente manifestar que en el presupuesto se debe tener en cuenta el costo de la interventoría de la construcción.

#### 9. Elaboración de la documentación final

Los documentos finales constan, como mínimo, de:

- Planos Planta-perfil de la carretera, incluidas sus intersecciones.
- Planos con el diseño de las secciones transversales cada diez metros (10 m) y en abscisas especiales (TE, EC, CE, ET, obras viales).
- Carteras de campo y oficina.
- Planos detallados para construcción y memoria de cálculo de los estudios y diseños relacionados en el paso 7) Estudios y diseños complementarios definitivos.
- Pliegos de licitación para la construcción.