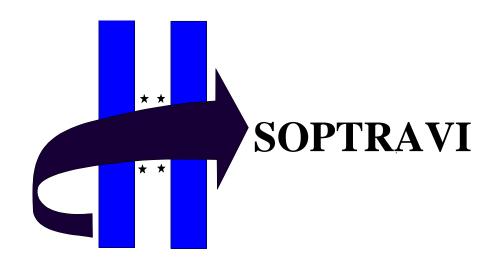
# REPÚBLICA DE HONDURAS

SECRETARÍA DE ESTADO EN LOS DESPACHOS DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTE Y VIVIENDA



# DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS

# MANUAL DE CARRETERAS

# TOMO 2 RECONOCIMIENTO Y TRAZADO DE CAMINOS

# RECONOCIMIENTO Y TRAZADO DE CAMINOS

#### **INDICE**

#### CAPÍTULO I: RECONOCIMIENTO Y TRAZADO DE CAMINOS

#### INTRODUCCIÓN

Generalidades Etapas de un Camino Proyecto

#### RECONOCIMIENTO Y TRAZADO

Generalidades Factores del Trazado Etapas del Trazado Recopilación de antecedentes Trazados tentativos

Reconocimientos

Selección de rutas Trazados preliminares Trazado definitivo

Particularidades del trazado en zona montañosa

Recomendaciones generales

Documentación del trazado

Planos

Memoria descriptiva Presupuesto de Máxima

Antecedentes

Técnicas de Trazado

#### **ESTUDIOS DEFINITIVOS**

Recomendaciones Recomendaciones

### DOCUMENTACIÓN DEL ESTUDIO DEL TRAZADO

Planos

Carátula

Planimetría general Planimetría de detalle Sector Planimétrico

Sector Altimétrico

Perfiles transversales y drenajes

Definición del trazado

Ejemplos ilustrativos

Figura 1

Figura 2

Figura 3

Figura 4

Figura 5

Figura 6

# INSTRUCCIONES PARA LA ELABORACIÓN DE PLANOS

#### INFORME DE INGENIERÍA

Presentación

Indice

Especificaciones, cómputos y presupuesto

Presentación preliminar

Instructivo

Diagrama de masas

Transporte de tierras

Propiedades del diagrama de masas

Reglas de Corini

# ANEXO "ESTACIÓN TOTAL"

#### CAPÍTULO II: GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

#### **GENERALIDADES**

## GEOLOGÍA REGIONAL DE HONDURAS

#### **ESTRATIGRAFÍA**

Basamento paleozoico

Rocas metamórficas

Grupo Cacaguapa (PZM)

Mesozoico

Rocas Sedimentarias

Grupo Honduras (JKhg)

La formación El Plan (Tep)

La formación Todos Santos (Jts)

Grupo Yojoa (Ky)

Formación Cantarranas (Kyc)

Formación Atima (Kya)

Grupo Valle De Ángeles (KTva)

a. (Kvp) Miembro Piligüin

b. (Kvc) Formación Río Chiquito

c. (Kvv) Formación Villanueva

La Formación Jaitique (Ktvaj)

La Formación Esquias (Ktvae)

La Formación Ilama

Cenozoico

Rocas Volcánicas Terciarias

Formación Matagalpa (Tm)

Grupo Padre Miguel (Tv)

Formación Gracias (Tg)

Rocas volcánicas Cuaternarias (Qv)

Aluviones (Qal)

Depósitos Coluviales (Qel)

Tectónica

#### CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS GEOTÉCNICAS DE ALGUNAS ROCAS EN HONDURAS

Esquistos Metamórficos

Rocas Carbonatadas: Grupo Yojoa

Rocas Del Grupo Valle De Ángeles

Formación de lutitas y limolitas

Rocas Volcánicas

Ignimbritas

Tobas

Rocas Ígneas Extrusivas (Lavas)

Basaltos

Andesitas

Rocas Ígneas Intrusivas

Aluviones

## CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE ALGUNOS TRAMOS CARRETEROS DE HONDURAS

Carretera del Sur ( Tramo Tegucigalpa Pespire )

Situación geológica

Problemas Geológicos

Carretera de Occidente (Tramo La Entrada Santa Rosa de Copán)

Situación geológica

Problemas geológicos

Carretera Limones La UniónMame

Situación geológica

Problemas geológicos

## ESTUDIOS BÁSICOS PRELIMINARES

Información Disponible

Estudio Geomorfológico

Estudio Fotogeológico

Reconocimiento Geológico Superficial

Mapa Geológico

Informe Geológico

Levantamiento Geológico

Levantamiento Geofisico Superficial

Mapa Geológico

Informe Geológico

#### TÉCNICAS DE TRATAMIENTOS GEOLÓGICOS ESPECIALES

Introducción

Inestabilidad de Laderas

Fallas

Descripción de una falla

Mecanismos de fallamiento

Tratamientos de fallas

Deslizamientos

Tipos de deslizamientos

Causas de los deslizamientos

Contactos de Roca

Inclinación de los Estratos

Prevención y corrección de los deslizamientos

Desprendimientos

Bloques en cuña

Vuelco de bloques (toppling)

Prevención de los desprendimientos

Estabilidad de taludes

Análisis de estabilidad de taludes

Taludes de corte en suelo

Taludes de corte en roca

Método Matemático

Fuerzas de Inestabilidad: (S)

Fuerzas Resistentes al movimiento: (S<sub>max</sub>)

Método Estereográfico

# CAPITULO III: GUIA AMBIENTAL PARA EVALUACION, LOCALIZACION, DISEÑO, CONSTRUCCION, REHABILITACION Y MANTENIMIENTO DE VIAS

#### Sección I:

Introducción

- I.1 Antecedentes
- I.2 Objetivos
- I.3 Marco Legal

#### Sección II:

Reseña del Escenario Ambiental de Honduras y su problemática

- II.1. Principales Características Ambientales
- II.2. Problemática Ambiental Hondureña. (Resumen)

#### Sección III:

Condicionantes y Restricciones Ambientales para el Desarrollo de la Infraestructura de Transporte de Caminos

- III.1. Introducción
- III.2. Respuesta, Sensibilidad y Riesgos Ambientales para los caminos de Honduras
- III.3. Condicionantes Geológicas y Geotécnicas de algunos substratos rocosos de Honduras

#### Sección IV:

La Unidad Ambiental (SECOPT)

- IV.1. Introducción
- IV.2. Objetivo Principal
- IV.3. Objetivos Específicos
- IV.4. Jerarquización de la Unidad Ambiental (UNA)
- IV.5. Fubciones Generales de la Unidad Ambiental
- IV.6. Organización de la Unidad Ambiental
- IV.7. Funcionamiento de la Unidad Ambiental
- IV.8. Funciones Específicas del Personal

#### Sección V:

Conceptos Básicos para Evaluación Ambiental de Caminos

- V.1. Definición del Estudio de Impacto Ambiental (EIA)
- V.2. Objetivos de EIA
- V.3. Definición de Conceptos y Términos Básicos Vigentes del SINEIA
- V.4. Glosario de Conceptos y Términos, Usados y Publicados en Estudios del Medio Físico y de Evaluación Ambiental
- V.5. Los Componentes de un Camino

#### Sección VI:

Proceso de Evaluación Ambiental de Caminos: Metodologías y Guías

- VI.1. Introducción
- VI.2. El Proceso de Evaluación Ambiental
- VI.3. La Orientación, Recolección de Datos y Evaluación Preliminar durante la Etapa de Reconocimiento y Trazado
- VI.4. Esquema Metodológico General para un EIA

- VI.5. Características de los Impactos Ambientales
- VI.6. Definición y/o Predicción de los Impactos
- VI.7. Recomendaciones en Fase de Vigilancia y Cumplimiento (Monitoreo)
- VI.8. Guía de Términos de Referencia para los Estudios de Evaluación Ambiental (EIA) de Caminos
- VI.9. Nuevas Guías de Evaluación Ambiental para el Area de Transporte del Banco Interamericano de Desarrollo

#### Sección VII:

Las Actividades y Procesos generadores de Impacto

- VII.1. Actividades y Procesos Generadores de Impacto en la Construcción de Nuevos Caminos
- VII.2. Actividades y Procesos Generadores de Impacto en la Reconstrucción y Rehabilitación de Carreteras y Caminos
- VII.3. Actividades y Procesos Generadores de Impacto durante el Mantenimiento de Carreteras y Caminos

#### Sección VIII:

Anotaciones sobre Impactos Ambientales

- VIII.1. Introducción
- VIII.2. Impactos Positivos
- VIII.3. Impactos Negativos del Ambiente sobre los Proyectos o Infraestructura Vial
- VIII.4. Impactos Negativos de Proyectos de Carreteras y/o Caminos e Infraestructura Vial Existentes sobre el Ambiente

#### Sección IX:

Pautas, Normas y Prescripciones para Mitigar y Prever Impactos y Proteger los Recursos del Medio Ambiente

- A) Fase de Reconocimiento y Trazado
- B) Fase de Diseño
- C) Fase de Construcción
- D) Fase de Vida Util

#### Sección X:

Recomendaciones Generales

- Anexo Nº 1
- Anexo Nº 2
- Anexo Nº 3
- Anexo Nº 4
- Anexo Nº 5
- Anexo Nº 6
- Anexo Nº 7
- Anexo Nº 8

# CAPÍTULO I

# RECONOCIMIENTO Y TRAZADO DE CAMINOS

# INTRODUCCIÓN

#### Generalidades

. Se denomina *camino*, a una franja de la superficie terrestre mejorada por el hombre para dotarla de características adecuadas para la circulación de vehículos, principalmente automotores.

Es una de las más extendidas vías destinada a satisfacer con mínimo esfuerzo -siguiendo líneas de mínima resistencia o máximo beneficio- necesidades de comunicación terrestre. De creación instintiva en algunos animales y elaborada en los hombres, en esencia es una aplicación de uno de los descubrimientos más antiguos: el *plano inclinado*.

Aunque el camino sea sólo una aplicación del principio del plano inclinado a la superficie irregular terrestre es un arte altamente desarrollado que hace uso de muchas técnicas

El arte se ha desarrollado gradualmente desde las más remotas épocas adaptándose a los cambios de los vehículos y haciendo uso de los avances de la tecnología para producir trazos mejores y más económicos.

Funcionalmente es un medio destinado a satisfacer anhelos y necesidades de

comunicación, traslado de bienes y personas, comercialización, relación entre la producción y el consumo, desarrollo, defensa, integración, fomento y turismo.

. Las *características del camino* se establecen principalmente en función de las de los *vehículos* que lo transitarán, los cuales se diseñan teniendo en cuenta las características de los *conductores* 

Así, por ejemplo, el gradiente máximo del plano inclinado depende de la capacidad de ascenso del móvil, la cual, a su vez, es función de la potencia de los motores y de la fricción entre calzada y neumáticos.

Algunas de las *características físicas* de los caminos son *invisibles*, en particular las relacionadas con su resistencia para soportar adecuadamente el paso de los vehículos. Otras son *visibles*, como las relativas a anchos, pendientes, curvaturas.

Las *características funcionales* son visibilidad, velocidad, seguridad, capacidad y confort.

. Es frecuente que el *tránsito* en los caminos crezca con el tiempo, en función del crecimiento demográfico o económico de la

zona. Para satisfacer una demanda creciente con satisfactorias condiciones de operación y menores costos de transporte, será necesario construir nuevos caminos o mejorar las condiciones de los existentes.

La decisión de construir o mejorar un camino público no debe basarse en un deseo personal o de grupo, ni tener la finalidad de satisfacer una necesidad aislada o circunstancial, sino que debe ser la resultante de los propósitos del país.

El procedimiento habitual para satisfacer gradualmente la demanda creciente consiste en aumentar el número de carriles, separar físicamente las calzadas a partir de dos carriles por sentido, agregar calles laterales para separar el tránsito directo del local, cruzar otras vías a distinto nivel, reglamentar el acceso al camino principal, conectar con otros caminos por medio de rampas adecuadamente convergentes y divergentes, prohibir el tránsito distinto del automotor. diseñar las características para poder mantener altas velocidades con excelentes condiciones de seguridad, confort y economía. El máximo exponente de obra vial para los vehículos actuales cumple con todo lo anterior y se denomina *autopista*.

. Debido a la escasez de los recursos, antes de decidir la construcción de un camino, o mejorar uno existente, es necesario seguir varios pasos para estar seguros de la conveniencia de la inversión.

Simplificando, la conveniencia se mide comparando los costos de construcción y mantenimiento con los beneficios resultantes de los ahorros en los costos de operación de vehículos, de tiempo de usuario y de accidentes.

La conveniencia sola no decide la inversión, hay que disponer de los fondos, establecer prioridades, elegir el momento propicio, decidir entre obra completa o por etapas, tipo de obra...

- . La etapa en la cual se fundamenta la decisión de construir o mejorar un camino es la *Planificación*.
- . En la etapa de *Proyecto*, intermedia entre la Planificación y la *Construcción* se elabora la documentación integrada por elementos gráficos y escritos que representan la idea de la obra y posibilitan su posterior ejecución.
- . Para que el camino, una vez construido garantice un servicio satisfactorio a lo largo de su vida útil, y para prolongar ésta, será necesario mantenerlo en buenas condiciones. De ahí una cuarta etapa: *Mantenimiento*, durante la cual se realizan una serie de trabajos, unos sistemáticos o de rutina, y otros periódicos.

## Etapas de un Camino

. Mediante la *Planificación* se determina si una obra es necesaria y se verifica si es la más necesaria comparando la demanda y la oferta. La misión básica del planeamiento consiste en identificar proyectos para cubrir necesidades, estudiar alternativas, comparar el esfuerzo que demandará la obra y los beneficios esperados y, como los recursos son limitados, establecer prioridades de inversión y fechas óptimas de realización.

Para evaluar la necesidad de una obra vial se comienza con dos estudios básicos: Inventario y Tránsito. Mediante el inventario se sistematizan los datos que describen objetivamente la situación existente. El estudio de tránsito permite conocer la demanda actual de los usuarios, y pronosticar la futura.

Luego de estos estudios básicos se analiza con qué grado de suficiencia es satisfecha la demanda; para ello se comparan la obra existente y la proyectada con determinadas condiciones patrones previamente establecidas. Si la obra es existente se la compara con patrones tolerables; si es proyectada deberá satisfacer patrones deseables. El grado de suficiencia depende del grado en que los componentes del camino -obra básica, pavimento, estructuras, drenaje y complementarías- cumplen con las condiciones patrones.

Como consecuencia de la evaluación, los proyectos pueden justificarse económicamente, categorizados e incluidos en un plan de transporte. Una vez oficializado un camino dentro de los planes de transporte, es necesario clasificarlo y asignarle características generales de diseño.

Por clasificación se entiende el agrupamiento de los caminos de acuerdo con similares demandas o funciones

En la clasificación técnica se atiende a la demanda y a la economía, a través del tránsito (factor operacional) y de la topografía (factor económico).

En la clasificación funcional se considera el

servicio que da la obra por medio de los conceptos de movilidad y acceso, y según sea la importancia relativa entre ellos los caminos se clasifican en arteriales, colectores y locales.

No hay que ignorar además que la categoría asignada al proyecto puede ser consecuencia de decisiones políticas.

Cualquiera que sea la clasificación, es universal la intervención del tránsito como factor para la clasificación de los caminos. El tránsito es al camino como un sistema de cargas a una estructura resistente, o el caudal fluido para dimensionar un conducto.

Proyectar un camino sin información de tránsito es tan irracional como calcular una viga sin conocer las cargas que deberá soportar, o un conducto eléctrico sin conocer el amperaje.

. En general, el *Proyecto* de una obra es un proceso creativo por el cual se conciben los medios adecuados para satisfacer una necesidad, utilitaria o estética. Es una etapa intermedia entre la intención y la concreción, entre el designio y la realización, entre la planificación y la construcción. Su esencia con las ideas y capacidad creativa del proyectista, y su esfuerzo y dedicación.

En apoyo de su cometido, el proyectista cuenta con diversas herramientas y técnicas auxiliares, entre las que se destacan las *representaciones*, imágenes sustitutas de la realidad futura.

Por extensión, también se denomina proyecto a la documentación formada por el conjunto

de representaciones, escritos y cálculos que se hacen para desarrollar y perfeccionar la idea, dar a entender a otros cómo ha de ser la obra, y lo que ha de costar.

En las obras sencillas es habitual que una misma persona desempeñe las funciones de proyectista y de constructor, y que pase directamente de la idea a la obra. Si ésta no es tan simple, al principio la idea se plasma mediante croquis, esbozos o moldeos, sobre papel, soporte electrónico, yeso, u otro material apropiado. Una vez que la representación -el proyecto- lo satisface, el proyectista se transforma en constructor y pasa a los materiales más nobles, a los que transforma y combina con la habilidad propia de su ingenio y experiencia.

Por razones de tamaño y complejidad, en otros tipos de obras hay un cambio de ejecutor al pasar del proyecto a la construcción, y el individuo es reemplazado por equipos de proyectistas y de constructores. Con más razón, entonces, el proyecto no debe dejar lugar a dudas o malas interpretaciones; cuanto con más cuidado y esmero sea transmitida la idea, con más fidelidad será comprendida y ejecutada.

La obra vial es de este tipo y, en particular con relación al proyecto de sus características visibles, las representaciones gráficas a escala, las relaciones numéricas y la palabra escrita deben indicar la inequívoca posición en el espacio de cada punto, línea o superficie de la obra futura.

Mediante un procedimiento de gradual aproximación se va de lo general a lo particular, del amplio panorama al detalle. El

objetivo final es la obtención de los máximos beneficios a los más bajos costos; los beneficios pueden ser de índole técnica, funcional, económica y estética, y los costos son los económicos y los de alteración del ambiente

Se requiere el concurso y la labor coordinada de distintos especialistas: en trazado y obras básicas, suelos y pavimentos, puentes; y el apoyo y asesoramiento de especialistas en hidrología e hidráulica, geología y geotecnia, fotogrametría y fotointerpretación, análisis de costos, computación, etcétera.

Según cual fuere el grado de aproximación al objetivo final se pueden distinguir tres fases: tanteo, anteproyecto y proyecto final. En el tanteo se estudian a grandes rasgos las diferentes soluciones posibles, se evalúan sus ventajas e inconvenientes y se concibe el proyecto. En el anteproyecto se determinan las características de la obra a realizar sobre la base de los antecedentes disponibles y se determina su presupuesto aproximado. Por último, en el proyecto final se fijan las características definitivas de las obras a construir.

En general, la documentación del proyecto se compone de memorias descriptivas y de cálculo, planos, cómputos métricos y presupuestos, pliego de condiciones y especificaciones. Como respaldo, conviene que toda la documentación se archive en soportes electromagnéticos de las computadoras.

En cuanto al aspecto formal, cada repartición vial establece normas relativas a ordenamiento, formato y presentación,

escalas, unidades de medida.

El crecimiento del tránsito y la mayor velocidad de los vehículos implicaron la necesidad y conveniencia de profundizar las investigaciones y experiencias relativas al comportamiento de los conductores y al mejoramiento de las condiciones de seguridad de los caminos.

Los resultados de esas actividades, junto con las mejoras en los equipos, técnicas y materiales de construcción, hacen económicamente posible en la actualidad proyectar y construir caminos con características de seguridad, velocidad y confort que hasta no hace mucho tiempo eran consideradas prohibitivas.

En un camino moderno el énfasis está puesto, o debería estarlo, en la seguridad más que en la economía. Aunque en realidad no hay dicotomía cuando se tienen en cuenta los costos de los accidentes.

. La *Construcción* es la etapa de realización física de la obra, la cual ahora interesa enfocar desde el punto de vista del proyecto.

Lo ideal es establecer una estrecha relación entre el proyectista y el constructor, de modo que aquél está bien informado sobre la marcha de la obra para poder colaborar en la solución de problemas de proyecto que puedan presentarse, o aclarar dudas de interpretación.

El proyectista debe tener el derecho a defender su proyecto ante cualquier alteración que se proponga; a participar en las eventuales modificaciones o mejoramientos que se justifiquen, ya sea por cambios en la situación existente o sencillamente por errores de proyecto. El proyecto no debe ser desvirtuado por inconsultas o injustificadas modificaciones.

. El *Mantenimiento* es la etapa de más larga duración, la etapa de las rutinarias tareas de conservación, sin las cuales el camino dejaría de cumplir acabadamente su función.

Antes de iniciar el proyecto de remodelación de un camino existente, el proyectista debería consultar al personal de mantenimiento para conocer el comportamiento de las obras durante su vida pasada.

Hay dos tipos de tareas de mantenimiento de particular interés para el área de proyecto: las relacionadas con el drenaje y el control de la erosión. Por ejemplo, los puentes y alcantarillas visualmente pueden lucir impecables, y los hombros, taludes y cunetas mostrar un prolijo perfilado. Esto no permite adelantar juicio sobre la eficiencia de su comportamiento. Pueden haber existido graves problemas ocasionados por tormentas: terraplenes cortados, alcantarillas socavadas, cunetas erosionadas; de los cuales no quedan rastros debido a las tareas posteriores de mantenimiento.

Conviene sistematizar el registro de las tareas de mantenimiento motivadas por el deficiente comportamiento de las obras de drenaje y de control de erosión.

. Es muy recomendable que las distintas tareas descritas sean asignadas a los profesionales viales en el sentido inverso indicado. Es decir, que la carrera profesional de responsabilidades crecientes sea: primero

mantenimiento y construcción, luego diseño final, estudios, trazado y por último planificación.

#### **Proyecto**

En la etapa de proyecto, el diseño geométrico es el proceso mediante el cual se relaciona, a través del proyecto de las características visibles, al camino con las leyes del movimiento, las características de operación del vehículo tipo, y con la capacidad, defectos y psicología del conductor.

Mediante el diseño geométrico de un camino rural debe procurarse: predisponer a los conductores a mantener velocidades sensiblemente uniformes, imposibilitar la ocurrencia, o cuanto menos disminuir sus consecuencias, de ciertos tipos de accidentes, lograr un manejo libre de sorpresas y tensiones.

Los errores en el diseño geométrico causan la temprana obsolescencia del camino con la consiguiente pérdida de parte o de todo el capital invertido. En adición a la perdida de capital y a los accidentes de tránsito, un diseño inadecuado causa pérdidas financieras durante la necesaria reconstrucción correctiva.

Corrientemente, los criterios de diseño geométrico se basan en extensiones matemáticas racionales de las características físicas y de operación de los vehículos, tales como capacidad de aceleración y frenado, peso y tamaño de los vehículos. A partir de experimentos de campo, observaciones, encuestas a los conductores y métodos estadísticos se elaboran modelos matemáticos

de expresión sencilla ajustándolos por medio de coeficientes. Para ciertas variables de diseño geométrico, al hacer estas extensiones matemáticas, es necesario hacer muchas arbitrarias suposiciones con respecto a la velocidad, tiempo de reacción de los conductores, distancia de visibilidad, y varios otros parámetros.

Como ejemplo vale el gráfico de las normas AASHTO que representa la variación del coeficiente de fricción longitudinal en función de la velocidad, para calzada seca y húmeda según distintos investigadores.

Aunque se aprecia una tendencia general la dispersión es grande. Las normas no suelen adoptar la función promedio sino una que esté afectada por un coeficiente de seguridad. El proyectista debe ser consciente de estos conceptos y no sujetarse estrictamente a los valores deducidos de expresiones matemáticas que procuran representar datos de origen experimental. Por lo menos deben redondearse los valores calculados.

. Un problema básico es que las características de los vehículos cambian más rápidamente que las de los caminos y las de los conductores. De ahí surge el imperativo económico de imponer algunas normas restrictivas a los fabricantes de los vehículos, de modo que las características que tienen una fuerte influencia sobre el proyecto de los caminos sean estabilizadas durante lapsos significativos.

Además, el diseño geométrico se basa también en principios o leyes de la Física, Geometría, Capacidad de Calzada y Psicología.

Con estos conocimientos, más el inapreciable buen juicio y criterio del proyectista, es posible obtener excelentes resultados a pesar de la complejidad del problema. Complejidad resultante por la gran cantidad de factores que influyen y no tanto por la dificultad particular de cada uno de ellos. No hay método exacto para proyectar; todavía la adecuada ponderación y evaluación de los factores tienen mucho de arte: el Arte de Proyectar.

En la aplicación de las características deben tenerse en cuenta y armonizarse los siguientes aspectos: Técnico-funcional (capacidad, velocidad, confort); Seguridad (ausencia de sorpresas y peligros); Economía (máximo beneficio a costo razonable); Estética (armonía con el paisaje, respeto del ambiente).

No corresponde ni conviene dictar la adopción de las características de diseño geométrico por medio de rigurosas normas, ni resulta práctico prever para cada caso y en detalle las características aplicables. Dentro de ciertos límites, el proyectista debe tener un amplio campo para desarrollar sus conocimientos, experiencia, creatividad y habilidad

Es frecuente confundir causa y efecto, por lo que se reitera: las expresiones matemáticas utilizadas en el diseño no son representaciones de relaciones exactas, sino de modelos que procuran representar relaciones reales mucho más complejas, y casi siempre del lado de la seguridad. En consecuencia, en el diseño geométrico deben evitarse las actitudes rígidamente legalistas en beneficio de la aplicación del buen juicio

que, dentro de ciertos límites o marcos de referencia, las normas deben alentar.

Para que haya coherencia entre los proyectos de los distintos elementos de un camino, y entre los distintos caminos de una red, es normal y conveniente que los organismos viales oficiales establezcan normas para el proyecto de los caminos dentro de su jurisdicción.

En tal sentido, el objetivo de este manual para el diseño de caminos es el de disponer de un documento que permite la sistematización, ordenamiento y uniformidad en los criterios generales que se utilicen para los estudios y diseños de los caminos hondureños.

Estas especificaciones no sustituyen a los conocimientos de ingeniería, ni a la evolución de los procesos tecnológicos, ni la experiencia o criterio técnico con que éstos deben aplicarse.

Como ya se anticipó, las normas pueden ser precisas, detalladas y de rigurosos cumplimiento; o generales, razonadas y con amplio margen para el ejercicio de la labor creativa.

Las primeras, tipo recetario, al pretender considerar todas las situaciones posibles y establecer para cada caso la solución a adoptar, permitirían la tarea de proyectistas sin mayores condiciones de creatividad, inventiva, imaginación. Los resultados obtenidos serían correctos de acuerdo con la norma, pero estereotipados. En cambio, mediante las segundas se permiten soluciones originales y mejores con respecto a aquellas

adoptadas por inercia, porque "siempre se hizo así".

Afortunadamente, la mayoría de los países adoptan sus normas de diseño sobre la base de *A Policy on Geometric Design of Rural Highways*, el "Libro azul" de AASHTO. Más el "Libro rojo" para caminos urbanos y calles arteriales, más el "Libro verde" como compendio de los dos anteriores, más el "Libro amarillo" para el diseño de los elementos de seguridad.

Estas normas, más que valores escritos, recomiendan franjas de aplicación después de haber razonado y demostrado con resultados de rigurosas experiencias de campo y datos estadísticos la conveniencia de su aplicación.

Al par que se fundamentan las soluciones recomendadas, se deja un amplio margen para la decisión del proyectista.

Los adelantos tecnológicos de la industria automotriz resultan en vehículos más seguros en sí, pero las altas velocidades causan accidentes más serios, involucrando más vehículos, con mayores pérdidas de vida y heridos.

A alta velocidad hay menos tiempo para corregir un error de juicio. El camino debería proyectarse con una seguridad básica, tomando en cuenta el elemento tiempo de manera que el conductor tenga la posibilidad de salvar las situaciones peligrosas.

El tiempo de reacción del conductor actual es el mismo que el de hace 50 años; pero es ese lapso la velocidad de los vehículos puede haber aumentado de 60 a 120 km/h o más.

Si en un segundo se recorrían 17 metros, ahora se recorren 34 metros. Esto impone al proyectista la tarea de alargar la visibilidad delante del conductor y sobre todo evitar la introducción de imprevistos cambios en las condiciones de conducción

Todos los peligros de accidentes atribuibles al camino que se puedan concebir deben ser analizados. El proyectista debe estar *detrás del volante* en cada momento durante el proceso de diseño, teniendo en la mente la velocidad del vehículo en m/s, bajo las condiciones de encandilamiento, lluvia, escarcha, nieve y niebla.

El conductor temerario y peligroso debe ser considerado. Él afecta la vía y propiedad del conductor seguro y no puede ser ignorado.

La tendencia actual en el proyecto de caminos modernos es basar la economía sobre las pérdidas de vidas, heridos, destrucción de bienes materiales, pérdidas financieras debidas a la futura reubicación, y los costos de operación.

Se debe proyectar el camino para salvaguardar al público viajero y preservar la eficiencia del tránsito. Para ello debe utilizar diestramente y combinar adecuadamente los siguientes elementos: velocidad de los vehículos, tiempo de percepción y reacción humana, espacio y tiempo, dinámica, fuerza centrífuga, características de los vehículos, conducta humana y psicología, alineamientos, pendientes, curvaturas, curvas de transición, peralte, sobreancho, canalización de giros, fricción del pavimento, ancho de calzada, hombros, taludes, barreras de defensa, bordillos, tratamiento de la zona

dentro del derecho de vía, posición de los obstáculos laterales y superiores, iluminación eléctrica, reflectorización, señalización horizontal y vertical, señalización luminosa.

Dado que un camino está formado por superficies tridimensionales, su representación más fiel, tanto gráfica como analítica, debería ser también tridimensional. Sin embargo, por razones prácticas, sólo cuando el camino tiene un marcado carácter tridimensional, como en las intersecciones a distinto nivel, se recurre para su representación al empleo de maquetas o planos acotados.

En general se realizan dos tipos de simplificaciones: primero, dado el predominio de la dimensión longitudinal, se adopta como eje de referencia la línea que describe en el espacio un punto característico de la *sección transversal*; segundo, se estudia tal línea por medio de dos análisis bidimensionales haciendo abstracción de una de las tres dimensiones.

La *planimetría* prescinde de la cota; sería vista por un conductor que la recorriera como una sucesión de rumbos.

Definida la planimetría, la *altimetría* tiene en cuenta una dimensión horizontal -estación o longitud- y la cota. Sería vista como una sucesión de pendientes.

Estas simplificaciones, sección transversal, planimetría, altimetría, resultan bastante prácticas, pero no conviene olvidar que se trata de eso, de simplificaciones. Si se quiera evitar la aparición de efectos no deseados hay que coordinarlas.

Después del proceso de planificación en que se definió la necesidad y conveniencia de construir un camino, se establecieron los puntos principales a unir y se fijaron las características principales, interviene el ingeniero vial para realizar el estudio detallado y elaborar el proyecto. Sólo deben ejecutarse las obras cuyos proyectos se encuentren totalmente elaborados en todas sus partes. Para la ejecución correcta de los proyectos se requiere como base que todos los estudios y diseños se hayan elaborado con la mayor precisión.

Existen algunos principios de carácter universal en los que debe basarse el criterio para la elaboración de un proyecto.

- Cuesta más corregir fallas de proyecto advertidos en una obra ya terminada que el costo adicional que hubiera significado los estudios complementarios necesarios para reducir o eliminar la posibilidad de fallas.
- Generalmente, el empleo de tecnologías de punta debidamente probadas permite reducir considerable los costos de estudios, proyectos, construcción y operación.
- Los estudios de campo requieren un esfuerzo continuo, la observación profunda y el registro de todos los datos que intervengan en el comportamiento de la obra a proyectar.
- Para cada rama del proyecto debe contarse con ingenieros especializados en esa materia. Es necesario que el personal profesional y técnico se mantenga actualizado en relación con los avances tecnológicos que le atañen.

La labor de proyecto se va concretando por aproximaciones sucesivas; se va de lo mayor a lo menor, de los grandes rasgos al detalle. Cronológicamente, en una primera fase se determina por dónde pasará el camino, Reconocimientos y Trazado, después se proyecta el alineamiento horizontal, Estudio Final, y por último se proyecta en detalle la altimetría y el drenaje, Proyecto Final.

Esto no significa que se trate de labores independientes, ya que el proyecto queda condicionado y deberá ajustarse a los criterios de diseño que se tuvieron en cuenta al definir la traza adoptada. Al definir el alineamiento horizontal, el perfil del terreno natural queda predeterminado, y será el mismo cualquiera que sea el personal o método con que se nivele el terreno.

Consecuencia: la rasante no podrá variar mucho, cualquiera que sea el proyectista. Además, si en el trazado no se tuvieron en cuenta los principios de la coordinación planialtimétrica, resultará muy difícil y costoso tratar de establecerlos con el proyecto de la rasante. Por lo que resulta muy conveniente que el responsable del trazado continúe con las tareas de estudio y diseño que siguen, o que asesore a los ejecutores de ellas.

Además de subordinación a los condicionantes técnicos, funcionales, económicos y estéticos, y respeto por los controles exteriores naturales y artificiales, la elección y estudio de un trazado vial tiene una cierta naturaleza interactiva: se elige un trazado en planimetría y se estudia la altimetría que origina; según los resultados se ajusta la planimetría, y así se sigue hasta alcanzar una solución satisfactoria.

Esta técnica del trazado puede hacerse ahora más rápidamente debido al

perfeccionamiento de los medios técnicos auxiliares, en especial la aerofotogrametría, las computadoras y las técnicas de simulación. No obstante, la elección del trazado no deja de ser un *proceso de aproximaciones* sucesivas, de progresiva optimización. Al principio, con auxilio de cartografía y fotos aéreas, se reconoce el terreno y se busca sobre él la línea que mejor satisfaga los requerimientos. Después en gabinete, se establecen las relaciones que vinculan las variables de los elementos geométricos componentes; es lo que se denomina "geometrizar" el trazado.

Falta aún la parte más laboriosa y menos creativa de la actividad del proyectista vial: hallar los puntos de tangencia, intersecciones, centros y radios de curvatura, azimutes, coordenadas, desarrollos, curvas de acuerdo vertical, etc.; en síntesis, falta el *cálculo* de los elementos geométricos que intervienen en la solución analítica.

Por último, mediante el *replanteo*, se llevan al terreno las medidas calculadas para que el proyecto sea construido.

Todos estos problemas, y los que suelen plantearse en los tanteos previos, se resuelven recurriendo a la Geometría. En la mayoría de los casos basta con las sencillas relaciones de la Geometría Elemental, expresada según el lenguaje de la Geometría Analítica.

La sencillez de los conceptos y la laboriosidad de los cálculos manuales era una característica distintiva de esta fase del trabajo. Últimamente, las tareas se han simplificado extraordinariamente con el

perfeccionamiento de las herramientas y medios auxiliares -programas viales para calculadoras y computadoras, estaciones totales, aparatos de medición GPS. Ninguna de estas técnicas proyecta, sino que le dan al proyectista la posibilidad de estudiar más alternativas en mucho menor tiempo.

## RECONOCIMIENTO Y TRAZADO

#### 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.

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 rutas que podrían ser convenientes, para seleccionar la que redunde en mayores ventajas económicas, técnicas, sociales, estéticas y de preservación de la naturaleza.

Se entiende por ruta o corredor la faja de terreno de ancho variable entre dos puntos de paso obligado dentro de 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.

La selección de la ruta es un proceso que involucra a 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 alternativas para elegir la más conveniente.

Elegida la ruta, como eje de referencia para los levantamientos se adopta una línea que podría llegar a ser el eje de la futura calzada.

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.

En la etapa de Trazado y Estudios definitivos se establecen principalmente las coordenadas X, Y con precisión, y con menor rigurosidad la coordenada Z, la cual sufrirá posteriores ajustes. Es decir, en el trazado y estudios definitivos se resuelve íntegramente el problema planimétrico y parcialmente el altimétrico.

El sistema de coordenadas X, Y puede ser arbitrariamente elegido o relacionado con sistemas universales o locales existentes. Lo mismo con respecto a la coordenada Z o cota.

Los errores de trazado son más graves que cualquier otro error porque compromete 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 transcienden fuera de los círculos especializados y son 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 a fin de 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; por ejemplo, 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.

Por supuesto que los conocimientos, estudios y experiencia ayudan mucho, pero no debe pensarse en la necesidad de contar con celebridades o genios en la especialidad. Tampoco 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 alternativas de óptimas bondades técnicas pero costosísimas e inabordables en la inversión inicial; tales alternativas deben ser estudiadas con la finalidad de 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 debido a la valorización de las tierras adyacentes, como directa consecuencia de la construcción del camino

Tan importante se considera el trazado que su determinación es tratado como un estudio independiente, sin cuya aprobación por parte de la repartición involucrada no se podrán efectuar los estudios definitivos posteriores ni, por supuesto, 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 junto con los estudios definitivos. Pero, en general, el estudio de trazado es previo al de los estudios definitivos.

En razón de la imprevisibilidad en cuanto a duración y esfuerzos requeridos, la definición del trazado debería estar reservada al personal propio especializado de los organismos viales oficiales. La contratación de terceros para la ejecución de estas tareas puede dar lugar a enojosos conflictos de intereses en la ponderación del justo valor de las labores realizadas. Parece más conveniente que la participación de la actividad privada se limite al área más específica de los estudios definitivos y proyecto final.

# **Factores Del Trazado**

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

Los *controles de diseño* son los datos de tránsito y las características de los vehículos,

las cuales en gran parte están adaptadas a su conductor y pasajeros. 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 de visibilidad. 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. La máxima velocidad segura que puede mantenerse sin variaciones bruscas cuando las condiciones son tan favorables que las únicas limitaciones están determinadas por las características geométricas del camino es la velocidad directriz.

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.
- . Las Condiciones geológicas son de capital importancia en zona montañosa, donde

puede afectar la ubicación y elementos de un camino.

- . Las Condiciones climáticas, lluvias, heladas, nevadas, pueden decidir la elección de ubicar un camino sobre una u otra ladera de un valle o cerro. En el caso particular de Honduras, la no existencia de nevadas o hielo reduce el problema a la estacionalidad de las lluvias
- . 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.
- . En caso de que el Organismo Vial Oficial encomiende el estudio de trazado a un Consultor especializado en localización, éste deberá estudiar diferentes alternativas que resulte más conveniente estudiar, para que sean analizadas sus justificaciones y sea aprobada finalmente por dicho Organismo.
- . 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 deben ser 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; dentro de 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; por ejemplo, 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.

. Para el caso de escalonarse la inversión mediante la construcción de la obra por etapas, este mecanismo permite emplear los fondos disponibles en la medida que se los obtenga, por lo que resulta de conveniencia en aquellos casos en que la necesidad de la carretera lo justifique o permita, por lo que su 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 del 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 respecto de las expropiaciones se refiere a la necesidad de que la zona que abarca el derecho de vía sea lo suficientemente ancha v larga para que no sólo se puedan conducir las etapas propias de ejecución de la obra del camino, sino que permita en un futuro su ampliación, dado lo oneroso de la operación cuando es necesario adquirir mayor superficie de terreno debido a la plusvalia en que se acrecientan los terrenos adyacentes. Además, por ser la adquisición de los terrenos el primer paso, son bien conocido los problemas legales que se originan con los propietarios y ocupantes, los que deben ser resueltos antes de dar inicio a la construcción del camino.

. El segundo paso y no menos importante, es llevar a cabo en forma simultánea los trabajos de corte y relleno que constituyen el movimiento de tierras de un proyecto determinado, y el de las estructuras de drenaje menor para su protección. En el caso de terrenos planos u ondulados esta solución puede beneficiar al usuario casi totalmente exceptuando la presencia de polvo, piedras sueltas, barro, pozos y baches que inevitablemente se originarán por la falta de un firme estabilizado, pero la obra a comenzado a cristalizarse.

. En el caso de terrenos muy ondulados o montañosos el beneficio puede anularse totalmente por la presencia de fuertes corrientes de agua o ríos, ya sean de carácter permanente o estacional; peligro de súbitas crecientes imposibles de prever o cauces inestables igualmente peligrosos. En el mejor de los casos solamente una parte de las poblaciones cercanas o próximas a la obra podrán resultar beneficiadas. No obstante, la ejecución adelantada del movimiento de tierra trae otro tipo de beneficio cual es la consolidación del suelo en forma natural, lo que es de gran importancia al estar el trazo ubicado sobre terreno natural inestable o colapsible.

. El siguiente paso será la ejecución de un firme estabilizado o pavimento lo que dará al camino el carácter de tránsito permanente durante todo el año, siempre que al conjunto de las obras citadas precedentemente sean las definitivas, y que por lo tanto justifiquen la inversión en una estructura de este tipo. No debe olvidarse que el pavimento puede tener una participación en la estructura del costo total de un camino variable entre el 30 y 70 porciento, ya sea que se refiera a un camino en montaña o llanura.

. En este caso, aun el mismo pavimento puede ejecutarse por etapas sucesivas, de modo que cada capa estructural integre en el futuro la estructura final. Debe evaluarse cuidadosamente en este aspecto ya que con una reducida inversión inicial, por ejemplo una base estabilizada y un tratamiento asfáltico, se logra un tipo de mejora sustancial y reduce los costos de mantenimiento.

. Las estructuras mayores de drenaje como son los puentes merecen una atención especial dado que como se ha mencionado, pueden llegar a limitar seriamente los beneficios de un camino si no se los construye en una primera etapa conjuntamente con el movimiento de tierra. Dos aspectos se deben considerar en estos casos. Si el presupuesto lo permite, es razonable ejecutar la obra de manera que las fundaciones y pilares sean los definitivos del proyecto, y la superestructura condicionada a un solo carril, de modo que en el futuro pueda adicionarse el carril faltante.

- . Otra forma de salvar la ausencia de puentes es la de proporcionar un paso de menor jerarquía como pueden ser los badenes del tipo inundables o con estructuras menores de caños, que permitan el paso de las crecientes ordinarias.
- . No por considerarlo de menor importancia, debe tenerse presente que las obras complementarias de un camino como son, la señalización horizontal y vertical, barreras de seguridad, protección de taludes, etc. no son simplemente un complemento, por lo que aún cuando el camino se ejecute por etapas, el Profesional responsable de su ejecución debe dotarlo en cada una de ellas con un mínimo de referencias y obras tales que den orientación y seguridad al conductor y ocupantes del vehículo al transitar por la ruta.
- . 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 no es sólo lograr la armonía interna de los alineamientos en su conjunto y el desarrollo del paisaje, sino que la

circulación por el camino sea agradable y 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.
- . Compendio: 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 en buen criterio del proyectista.

#### **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 son 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 anteriores prevenciones, en este manual se distinguen las siguientes etapas de trazado:

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

# . 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 dentro de la zona de influencia del camino.

Aerofotogrametría: fotogramas, restituciones, fotocartas, fotos satelitales. Instituto Geográfico Nacional, servicios privados de fotogrametría.

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.

Clima: régimen de lluvias, se exceptúan heladas y nevadas para Honduras, temperaturas, vientos. Servicios meteorológicos, 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: informes, memorias técnicas, publicaciones. Organismos oficiales de geología.

Topografía: ubicación y cotas de puntos fijos de nivelación y ubicación y coordenadas de puntos trigonométricos. Instituto Geográfico Nacional.

Servicios públicos: líneas ferroviarias, gasoductos, oleoductos, líneas de alta tensión, canales, acueductos, agua corriente, alcantarillado.

Entre todos, de particular interés son las restituciones, planos con curvas de nivel, en escalas 1:50000 o mayores.

#### . Trazados tentativos

Al estudiar las fotos y cartas, el proyectista puede formarse una idea de las características más importantes de la región, sobre todo en lo relativo a topografía, hidrología, ubicación de las poblaciones y la red de caminos y ferrocarriles existentes.

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, con ayuda de hilos o reglas flexibles se esquematizan las líneas que en primera instancia se consideran factibles y convenientes de acuerdo con los datos hasta entonces disponibles. Las líneas tentativas se dividen en tramos y éstos en subtramos o secciones, 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 normas sobre pendiente máxima y reducir la distancias de subida y bajada del camino.

#### . 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 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, clinómetro, altímetro, brújula, radios portátiles.

Por lo menos, además del trazador, del reconocimiento participarán los especialistas en drenaje y geología, 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.

#### . 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.

# . 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 debido a 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, o distanciómetro montado sobre un teodolito, 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, brújula, barómetro. Luego puede venir otra zona dificil que requerirá el apoyo de otra poligonal que no es necesario conectar exactamente con la anterior. La relación establecida por medio del odómetro, brújula 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 pedirla 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 invalorables 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.

También 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. 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.

En el caso de camino existente, donde se aprecie que el proyecto de ampliación y mejoramiento seguirá aproximadamente el actual alineamiento, se deben tomar v ensayar muestras representativas del material de la capa superior de la calzada, a intervalos de uno o dos kilómetros. Para provectos nuevos se deben tomar muestras cada kilómetro, intensificando la investigación entre cambios importantes en las características del suelo, hasta el nivel de subrasante en zonas de corte, de ser posible. En áreas de probable terraplén deben tomarse muestras hasta una profundidad de 1.50 m, aproximadamente. Las muestras pueden tomarse con barrenos, confirmando con calicatas donde haya dudas sobre la validez de la muestra. Los sondeos se mantendrán abiertos y protegidos durante la duración de los estudios para verificar la cota de las aguas subterráneas. Estos niveles serán contrastados con las referencias de los vecinos al respecto. Se consultará además a instaladores de molinos, bombas, pozos.

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 drenaje, suelos de traza y yacimientos están indicadas en otros puntos de este capítulo.

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.

Tanto éstas, como cualquier otra actividad de la ingeniería vial, debe ser una tarea de equipo de frecuente consulta a los especialistas, para que las idean 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.

Un trazado óptimo se adapta

económicamente a la topografía del terreno y permite la construcción con el menor movimiento de suelos posible y con el mejor balance entre las excavaciones y los terraplenes.

Todo esto después de darle prioridad a los factores técnico-funcionales, en particular la velocidad directriz, la que a su vez depende del volumen y composición del tránsito previsto, y a la topografía misma.

#### . Trazado definitivo

Cuando no hay dudas con respecto a 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 alternativas posibles. Corresponderá hacer rápidas evaluaciones económicas empleando costos unitarios de procedencia estadística correspondientes a caminos de características similares.

Si a pesar de esto las dudas persisten, habrá que preparar anteproyectos para cada uno de los trazados considerados posibles; habrá que hacer 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 se

realicen para el área de planificación vial; para que pueda tomar sus decisiones con mayor fundamento. Serían los estudios de factibilidad, que vendrían a ser 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 estudios de hidrológicos, de suelos y materiales, yacimientos, y los predimensionamientos de las alcantarillas y puentes y el de pavimento.

Adoptado el trazado definitivo, habrá que materializarlo con referencias de concreto o madera dura. Hasta entonces la materialización ha sido por medio de estacas; en las secciones donde se han estudiado varias líneas debieron tomarse precauciones para distinguir las estacas correspondientes a cada una de ellas. Esto puede lograrse por la inscripción de la estaca, por el color de su pintura u otro medio que se considere apropiado.

La forma de las referencias de concreto será normalizada 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 las inmediaciones de cruces con otras vías, etc.

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, las referencias de concreto se denominan puntos de línea (PL), vértices (V) ó puntos de intersección horizontal (PIH).

Las referencias de concreto deben ser prolijamente balizadas, referidas a elementos físicos fijos que haya en las inmediaciones, o en todo caso a otras referencias de concreto testigo. No es aconsejable balizar con respecto a estacas, pero sí con respecto a grandes árboles, postes de alambrado, cabeceras de alcantarillas, edificios. La finalidad principal del balizamiento es doble: facilitar la ubicación de la referencia de concreto, que puede ser 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 concreto para preservar su permanencia es cerca, más o menos un metro, de los alambrados. No ubicarlo demasiado cerca porque puede dificultar el hacer estación con el instrumento

La materialización se complementa con estacas de línea 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 complementará 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.

Si no se cuenta con estación total o distanciómetro montado sobre teodolito, la medición lineal se realizará con cinta y control de fichas y por taquimetría donde haya imposibilidad de hacerla con cinta; por ejemplo, cruces de ríos, lagunas, zonas de inundación, quebradas.

Si no se cuenta con estación total o distanciómetro montado sobre teodolito, como alternativa la medición de la línea podrá realizarse por el método convencional con teodolito y/o nivel de precisión y cinta métrica, de preferencia a ser empleado en los caminos de clase secundaria, vecinales y de penetración.

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 con respecto a 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.

# 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 más conveniente.

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 de la conveniencia técnico-económica de suavizar los cambios en los alineamientos.

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 confort, 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 de acuerdo con 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, dificil 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. En consecuencia, no siempre resulta económico reducir el radio de una curva para evitar importantes movimientos de suelos o muros de sostenimiento, ya que simultáneamente 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; en tales situaciones el trazado podrá resolverse con el único aporte de los datos planimétricos. El estudio altimétrico se efectúa en las etapas de trazado sólo cuando las soluciones son dudosas con el único

aporte de la planimetría.

En tales casos, para evitar que la ubicación del eje presente fallas que signifiquen 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. 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.

## . 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 de acuerdo con 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 enumera al azar:

. 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 debido a 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 máxima, L, de las rectas algunos proyectistas recomiendan no superar los 10 km; las normas españolas recomiendan una expresión empírica en función de la VD: L(Km) = 0.2 VD(km/h); las brasileras: L(Km) = 0.25 VD(km/h).

Que el límite sea 10, 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 rebasar en caminos comunes de dos carriles.

Al aplicar este criterio, el proyectista debe procurar sacar ventajas en otros aspectos del proyecto; por ejemplo: 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 cercana 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 procurar 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.

Debe procurarse en 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 a 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 inversas de radios suficientemente grandes y con transiciones en vez 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, 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 sea tan larga que para recorrerla a la velocidad directriz se demore más de 15 segundos, L(m) = 4VD (Km/h), tiempo considerado suficiente para que desaparezca la expectativa inconsciente del conductor. El mínimo absoluto recomendado es 5 segundos, L(m) = 1.4VD (Km/h).

- . Si bien el alineamiento vertical, curvas y rectas, se proyectan en detalle en la etapa de proyecto final, es *en el trazado cuando se condiciona la resolución posterior del perfil de la rasante*. Pero, si esta recomendación es desatendida durante el trazado, será difícil y costoso tratar de observarla en el proyecto final.
- . Atendiendo a consideraciones sobre seguridad, estética y economía de construcción, en cualquier caso conviene establecer una adecuada coordinación entre los alineamientos horizontal y vertical.

Esto quiere decir que los alineamientos horizontal y vertical no deben considerarse independientes en el proyecto puesto que se complementan el uno al otro. Es inadmisible la existencia de especialistas sólo en alineamiento horizontal o en vertical.

Si uno de los dos alineamientos tiene sectores pobremente resueltos, éstos también influyen negativamente en el otro y por consiguiente en la seguridad de operación sobre el camino.

Determinado el trazado preliminar, el problema restante es obtener un proyecto armónico entre los alineamientos horizontal y vertical. Obtenido éste, el camino resulta una vía más económica, agradable y segura, donde la velocidad directriz adquiere mayor

importancia, puesto que en el cálculo del alineamiento vertical es el parámetro más importante.

Las combinaciones apropiadas de los alineamientos horizontal y vertical se obtienen por medio de estudios de ingeniería y de las siguientes normas generales:

- LA CURVATURA HORIZONTAL Y LA PENDIENTE DEBEN BALANCEARSE. LAS RECTAS O CURVAS HORIZONTALES AMPLIAS EN COMBINACIÓN CON PENDIENTES FUERTES O LARGAS, O BIEN UNA CURVATURA EXCESIVA CON PENDIENTES SUAVES SON DE POBRE DISEÑO. EL BUEN DISEÑO COMBINA LOS ALINEAMIENTOS PARA RESULTAR EN MÁXIMA SEGURIDAD, CAPACIDAD, VELOCIDAD, FACILIDAD Y UNIFORMIDAD DE OPERACIÓN Y UNA APARIENCIA AGRADABLE.
- LA CURVATURA VERTICAL SOBREPUESTA A LA HORIZONTAL DA COMO RESULTADO UNA VÍA VISUALMENTE MÁS AGRADABLE, PERO DEBE ANALIZARSE TOMANDO EN CUENTA EL TRÁNSITO. LOS CAMBIOS SUCESIVOS EN LA RASANTE NO COMBINADOS CON LA CURVATURA HORIZONTAL PUEDEN RESULTAR EN UNA SERIE DE DISTORSIONES VISIBLES AL CONDUCTOR DESDE ALGUNA DISTANCIA. SIN EMBARGO, EN ALGUNAS OCASIONES LA COMBINACIÓN DE LOS ALINEAMIENTOS PUEDE RESULTAR PELIGROSA BAJO CIERTAS CONDICIONES.
- NO DEBEN PROYECTARSE CURVAS HORIZONTALES AGUDAS EN O CERCA DE LA CIMA DE UNA CURVA VERTICAL CONVEXA Y PRONUNCIADA. ESTA COMBINACIÓN ES PELIGROSA PORQUE EL CONDUCTOR NO PUEDE ADVERTIR EL CAMBIO EN EL ALINEAMIENTO HORIZONTAL, ESPECIALMENTE DURANTE LA NOCHE, PORQUE EL HAZ DE LUZ DE LOS VEHÍCULOS ALUMBRA EN FORMA TANGENCIAL AL ALINEAMIENTO VERTICAL.

EL PELIGRO PUEDE ATENUARSE SI LA CURVATURA HORIZONTAL SE IMPONE A LA VERTICAL,

PROYECTANDO LA CURVA HORIZONTAL MÁS LARGA QUE LA VERTICAL; O ADOPTANDO VALORES DE PROYECTO MAYORES QUE LOS MÍNIMOS. ANÁLOGAMENTE, NO DEBEN PROYECTARSE CURVAS HORIZONTALES FORZADAS EN O CERCA DEL PUNTO BAJO DE UNA CURVA VERTICAL CÓNCAVA. LAS VELOCIDADES DE LOS VEHÍCULOS PUEDEN SER ALTAS AL FINAL DE PENDIENTES PRONUNCIADAS EN BAJADA Y PROVOCAR OPERACIONES PELIGROSAS, ESPECIALMENTE DURANTE LA NOCHE.

- 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 PROPORCIONAR SECCIONES RECTAS SUFICIENTEMENTE LARGAS PARA ASEGURAR LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD PARA REBASAR. ESTA CONDICIÓN ES INNECESARIA EN CAMINOS CON DOS CALZADAS FÍSICAMENTE DIVIDIDAS, MEDIANTE MEDIANA Ó BARRERA; Y EN EL CASO DE SEPARACIÓN SUFICIENTEMENTE ANCHA, SE PUEDEN EMPLEAR DIFERENTES COMBINACIONES PLANIALTIMÉTRICAS PARA CADA SENTIDO DE CIRCULACIÓN.
- EN LAS INTERSECCIONES DONDE LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD A LO LARGO DE AMBOS CAMINOS SEA REDUCIDA Y LOS VEHÍCULOS TENGAN QUE REDUCIR LA VELOCIDAD O DETENERSE, LA CURVATURA HORIZONTAL Y EL PERFIL DEBEN PROYECTARSE LOS MÁS SUAVE POSIBLE.

La coordinación de los alineamientos debe tenerse en cuenta en los trabajos preliminares. Pudiendo lograrse magníficos resultados cuando son analizados por un proyectista experimentado, sin menoscabo de que el análisis se complete con modelos o perspectivas de los lugares donde se tenga duda del efecto de ciertas combinaciones del trazado y perfil.

Esta es la forma más segura, cómoda y rápida de detectar las distorsiones o quiebres aparentes y corregirlos.

- . Evitar las curvas verticales próximas del mismo sentido. Buscar reemplazarlas por una única curva, simple o compuesta. La recomendación atiende a los aspectos estéticos y de seguridad, principalmente en las concavidades donde la perspectiva es amplia. En las convexidades puede aceptarse la combinación si las curvas no se ven simultáneamente.
- . Proyectar una rasante con curvas verticales amplias, sin emplear numerosos quiebres y pendientes de longitudes cortas.

Los valores límites de diseño, por ejemplo pendiente máxima y longitud crítica, en la medida de lo posible deben adoptarse en los casos extremos, cuando no se pueda justificar el mayor costo que significaría emplear normas más amplias.

. Supeditar el emplazamiento de las estructuras al trazado. Se entiende por estructuras a los puentes, viaductos, túneles, muros, alcantarillas.

Por supuesto, todo dependerá del caso particular, de la importancia relativa entre camino y estructura. Los ahorros en los costos de operación y accidentes para importantes volúmenes de tránsito compensarán los mayores costos de las estructuras, debidos a mayores dimensiones, curvaturas y oblicuidades. En los proyectos modernos debe desterrarse la vieja secuencia: recta-curva-puente-contracurva-recta. Ya que los puentes constituyen una restricción a la seguridad, consecuentemente

no debe agravarse con la deficiente disposición de sus accesos.

. 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.

- . Debe considerarse la provisión de carriles adicionales para rebasar vehículos pesados en ascenso y descenso. Los resultados de investigaciones de campo relativamente recientes demuestran que las velocidades de ascenso y descenso de vehículos comerciales de relación peso/potencia mayor de 150 en pendientes mayores del 6 %, son iguales. Por lo tanto, son tan necesarios los carriles adicionales de descenso como los de ascenso.
- . 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 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.

- . Cuando se entra en un bosque, resultará estéticamente conveniente hacerlo en curva horizontal, de modo que el paisaje se vaya presentando ante los pasajeros en forma gradual y paulatina. También, ya dentro del bosque, es preferible un trazado suavemente curvilíneo. El trazado recto no tiene mayor atractivo y resalta su condición de obra artificial sin ninguna armonía con la naturaleza.
- . Por último, se reitera la siguiente serie de recomendaciones ya comentadas anteriormente, y cuya razonabilidad es evidente:
- -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.

## . 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.

Planos

Deberá prepararse una planialtimetría general; de ser posible, en escalas H y V apropiadas para que quepa el tramo en una sola lámina, junto con 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 previstos. 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 a los límites de derecho de vía propuestos.

## . 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 aprobado 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 ó 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 TRAZO 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 U ÓRDENES
- Instrumental utilizado.
- CANTIDAD Y UBICACIÓN DE REFERENCIAS DE MATERIALIZACIÓN DEL TRAZADO DEJADOS EN EL TERRENO, CON MONOGRAFÍA DE BALIZAMIENTOS.
- SISTEMA DE COORDENADAS Y DE NIVELACIÓN ADOPTADOS.
- PORMENORIZADA JUSTIFICACIÓN EN CASO DE QUE NO SE HAYAN CUMPLIDO LOS PLAZOS, O SE HAYA CAMBIADO EL PERSONAL, O INSTRUMENTAL O EQUIPO O METODOLOGÍA O ALCANCE DEL TRABAJO PROMETIDOS EN LA OFERTA.
- . Presupuesto de máxima

Deberá prepararse un presupuesto de máxima

de las obras a ejecutar previstas 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 iniciarse 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.

### . Antecedentes

Se acompañará todo elemento de juicio de interés en beneficio de los argumentos utilizados para la elección del trazo 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 el trazo estudiado. 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.

#### 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.

Durante milenios, muchas de las especies animales anteriores al hombre en sus migraciones estacionales en búsqueda de pasturas formaron huellas y brechas desarrolladas a través de las facilidades topográficas.

Más tarde, el hombre primitivo en su incesante búsqueda de alimentos persiguió por esos mismos rústicos senderos a los animales de caza. Después de que el hombre exterminó a los animales de caza, quedaron las rutas de sus migraciones como canales para el movimiento de su victimario.

Luego de la domesticación de los animales de tiro y la invención de la rueda, el hombre creó el vehículo de tracción animal y aumentó considerablemente su capacidad para transportar mercaderías. A medida que aumentaba la actividad comercial entre las poblaciones que el hombre creaba, se fueron paulatinamente mejorando las huellas mediante ajustes en sus trazos, construcción de superficies de rodadura de mayor resistencia y obras de drenaje, hasta que llegaron a ser caminos bastante buenos.

Algunos se estabilizaron gradualmente a lo largo de las líneas de menor resistencia y los trazos que atravesaban los pasos naturales o abras más bajas, los vados más fáciles, o las condiciones más favorables para los animales de tiro, llegaron a ser las vías de comunicación más importantes.

Los romanos fueron los constructores viales más activos de la época antigua. Después de la caída de Roma, la construcción de caminos se convirtió en un arte olvidado.

Al principio del siglo XX, después de un período de intensa construcción de canales en Europa y los Estados Unidos, y de la rápida expansión de los ferrocarriles a vapor, hace su aparición el automóvil en el ambiente del transporte. Los automóviles crearon la necesidad de mejores caminos, la cual fue satisfecha a medias, en relación con el incremento del número y desarrollo mecánico de los automotores.

Después de la Primera Guerra Mundial, la introducción de maquinaria pesada para la construcción de caminos permitió satisfacer la demanda creciente. Esta demanda sigue creciendo y para evitar el fracaso de estos sistemas de transportes las oficinas viales deben ahora trazar, proyectar y construir caminos muchos más resistentes y mejores, y mas costosos que ninguno de los construidos

en el pasado.

Los caminos modernos son de mayor ancho y mayores distancias de visibilidad, por lo que requieren mucho mayor movimiento de tierra. En consecuencia, los caminos actuales resultan muy costosos. De ahí la importancia del trazado, ya que sólo mediante una cuidadosa consideración de los factores y aplicación de buenas técnicas podrán mantenerse los costos de construcción dentro de límites razonables.

Antes de la Segunda Guerra Mundial, los proyectistas viales, principalmente los alemanes, introdujeron nuevos conceptos en el diseño geométrico, dándole mayor consideración a la seguridad y a la apariencia estética.

Después de la Guerra, los proyectistas americanos continuaron el desarrollo de estos conceptos.

. 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. Los obstáculos se evitaban aún a expensas de incrementos considerables de distancia.

Como las velocidades de los vehículos eran bajas se empleaban curvas de radio reducido.

En sus primeros días, los ferrocarriles estuvieron limitados severamente por las pendientes. Los pioneros ferroviarios conocieron perfectamente el efecto desastroso en sus costos de operación de las pendientes excesivas y de las curvas

pronunciadas, pero no podían afrontar la inversión que se requería para construir líneas con bajas pendientes límites. A principios de este siglo, los ingenieros ferroviarios lograron trazar nuevas líneas por terrenos accidentados con pendientes de 0.5 % o menos. Ello demandó una exploración muy compleja y un examen minucioso del terreno. Para satisfacer estos requerimientos se desarrolló un nuevo método de trazado, el *método topográfico o ferroviario*, que reemplazó al *método directo*, el único empleado hasta entonces.

. Con el *método directo* el trazador ferroviario ubicaba las rectas mediante inspecciones en el terreno y ubicaba las curvas a medida que avanzaba. En algunas zonas el trazador experto podía obtener un trazado medianamente bueno, pero en terreno montañoso a menudo resultaban trazados francamente deficientes.

. Con el *método topográfico*, sobre la base de una poligonal básica, se levantaba en detalle una angosta faja por la que se deseaba construir el ferrocarril y los datos se volcaban en el plano topográfico.

En gabinete se proyectaba sobre el plano lo que parecía ser el mejor trazado. En las zonas difíciles se estudiaban varias alternativas y se comparaban sus ventajas relativas sin necesidad de recorrerlas en el terreno. Cuando el trazador quedaba satisfecho con el proyecto gráfico, se lo trasladaba del papel al terreno.

. Las características de los vehículos automotores permitieron una mayor flexibilidad en las pendientes de los caminos, por lo que los primeros ingenieros viales -la mayoría de procedencia ferroviaria-adoptaron el método directo -ya abandonado en el trazado de ferrocarriles- dada la premura en satisfacer la creciente necesidad de caminos

Pero pronto advirtieron que el método topográfico era también ventajoso para el trazado de caminos.

Actualmente, el método topográfico es usado unánimemente, por lo menos para el trazado de caminos principales en zonas difíciles.

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 no sea o sea 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.

Aparte del ya comentado propósito de mantener la atención de la conducción mediante la introducción de suaves quiebres en el alineamiento horizontal, no se debe 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 lo 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 trazo está controlado por la pendiente es la condición usual en zonas de cerros, donde deban cruzarse profundas quebradas. Generalmente, la señalización se hace con clinómetro, cinta y brújula. Conviene también ir llevando el control de los desniveles con un buen altímetro; todavía los instrumentos GPS no son lo suficientemente precisos en la dirección vertical como para recomendar su uso

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.

En el desarrollo de programas para computadoras personales, en los últimos años se está generalizando su aplicación a las tareas de levantamientos de campo y proyecto de caminos.

Al principio se procuró elaborar programas capaces de realizar todo el proyecto en forma automática, con el criterio de optimizar el diseño. Sobre la base de los datos del terreno y parámetros de diseño preestablecidos, los programas concebidos así pretendían definir todos los elementos geométricos sin la intervención del proyectista. Hasta ahora los resultados en este sentido no son de gran consideración en su aplicación práctica.

. En la última década, con la aparición de las computadoras personales, las compañías especialistas en *software*, consultorías y universidades han desarrollado programas comerciales interactivos aplicados al diseño geométrico de caminos, tendientes a facilitar y acelerar la elaboración de los proyectos. 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, *scaners*, *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 alternativas de trazado sin tener que perder tiempo en encontrar la expresión analítica de los 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.

Los programas viales comerciales de mayor aceptación tienen muchos componentes comunes. La diferencia en la capacidad - cantidad de datos que pueden procesar- y facilidades especiales para elaborar diseños más completos están en directa relación con el costo de los programas y equipos.

El componente más interesante de un sistema

de 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.

Los modernos equipos utilizados en los levantamientos terrestres tienen códigos para individualizar puntos correspondientes a aristas: bordes de barrancas, fondos de quebradas y concavidades en general, detalles sólo planimétricos, de modo que el modelo no se equivoque en la triangulación

de la superficie.

Otro componente importante en los sistemas de DAC es el de edición geométrica. Estos programas dan las herramientas necesarias para que el proyectista desarrolle plenamente su creatividad e ingenio en el arte del trazado. Los programas se encargan de encontrar las expresiones analíticas de las soluciones geométricas que, por lo general, el provectista propone primero sobre el papel y de las cuales extrae los datos estrictamente necesarios para darle al programa: coordenadas de PI, radios de curvatura, tipo de transiciones, anchuras de calzada y hombros, taludes. Los programas calculan las estaciones y coordenadas de todas los puntos, líneas y superficies del proyecto. Es decir, disponen de procedimientos de gran precisión para:

- . dibujar y calcular los elementos de un trazado en planta,
- . definir la rasante,
- . listar las coordenadas y cotas de cualquier punto,
- . definir la plataforma del camino: ejes de giro, anchos y peraltes de calzada y hombros, detección de las secciones donde podría ser conveniente proyectar barandas o barreras de defensa según los parámetros dados por el proyectista,
- . definir hombros, cunetas, medianas, taludes, alturas máximas de desmonte y terraplén, pies y coronamientos de taludes o taludes en corte,

- . definir el pavimento,
- . definir las áreas y volúmenes de excavación y terraplén,
- . listar las cotas rojas (desnivel entre rasante y terreno), anchos de explanación y diagrama de masas.
- . dibujar y evaluar los diagramas de masas y de masas excedentes.
- . proponer horizontales de distribución óptimas de los acarreos a partir de datos sobre costos suministrados por el proyectista,
- . facilitar la corrección de planos y realizar toda clase de operaciones gráficas como copiar, abatir, borrar, trasladar, cortar,

dividir, insertar, recortar, extender, calcular intersecciones, asignar textos, acotar, medir...

Los programas interactivos son sólo herramientas, como en su momento fueron los logaritmos, la regla de cálculo, las tablas. Permiten optimizar el trazado no porque apliquen una nueva metodología, distinta a la de aproximaciones sucesivas tradicional, sino por la rapidez y precisión para calcular las alternativas que él propone. Siempre es el proyectista quien decide, ahora con mayor fundamento y en mucho menos tiempo, cuál es la mejor alternativa de acuerdo con su personal criterio. La permanente interacción entre el proyectista y la computadora permite al primero desarrollar al máximo su creatividad y no perder tiempo en laboriosos cálculos de rutina.

## **ESTUDIOS DEFINITIVOS**

. Una vez adoptado el trazado, las tareas siguientes a realizar consisten en el estudio definitivo y proyecto de la obra básica. Se encomienda el estudio a una comisión que en el aspecto técnico depende directamente del responsable del proyecto.

La constitución de las comisiones de estudios es variable, depende de la magnitud de las tareas a realizar, de la urgencia con que se quiere terminar y de la disponibilidad de personal capacitado. Una comisión típica está constituida por un operador técnico, un operador auxiliar y uno o dos dibujantes calculistas.

Debe disponerse de movilidad con chofer y todo el equipo e instrumental necesario para

el cumplimiento de los trabajos encomendados: aparatos y accesorios topográficos, estación total, teodolito, distanciómetro, nivel, cintas, jalones, anteojos, sextantes, brújula, altímetros, radios portátiles; herramientas para campaña, motosierras, machetes, hachas, mazas, elementos de dibujo, útiles de oficina, calculadoras programables, computadoras portátiles con programas viales y de topografía, impresora.

El personal obrero necesario se contrata en el lugar. En general no hay diferencia con respecto a la comisión de trazado.

Antes de partir hacia el lugar del estudio es necesario obtener toda la información previa de interés para la labor a realizar; es imprescindible contar con copia de la documentación de trazado.

Entre las tareas de campo se distinguen el estudio de los alineamientos y el de drenaje.

Al establecerse en el trazado *por dónde* pasará el eje del proyecto, quedan predeterminados sus alineamientos.

La medición a lo largo del eje definitivo será en base a estaciones ubicadas cada 20 metros como máximo en zonas planas u onduladas y cada 10 metros en zonas montañosas o escarpadas.

Este estacionamiento será la base para la localización o ubicación de cada elemento de la carretera

Se deberán establecer referencias permanentes de concreto en cada PC o PT de las curvas horizontales y en los POT en caso de tangentes largas.

Excepto el ajuste debido al replanteo de las curvas horizontales, que normalmente no se efectúa en el trazado, todas las particularidades planimétricas y altimétricas del terreno natural relacionadas con el eje están potencialmente definidas. Teóricamente, el resultado de los levantamientos debería ser el mismo independientemente del técnico que los realiza. Lo que ahora ha estado presente con más o menos claridad en la mente del proyectista, será puesto en evidencia con mayor definición mediante la realización de los levantamientos de detalle. En esta fase del proceso, la única tarea de proyecto consiste

en la adecuada elección y cálculo de las curvaturas horizontales. El resto de las tareas son preparatorias para el proyecto de los demás elementos.

No es necesario que el responsable del proyecto ejecute directamente las tareas de levantamiento, sino que se realicen bajo su estrecha dirección. Además es necesario que el operador tenga conocimientos de proyecto para adecuar del cómo al para qué. Por ejemplo, si levanta un alambrado transversal v sabe que es para provectar su traslado o retiro, redondeará la estación de cruce al metro y el ángulo de cruce a los 30'; si levanta con nivel y cinta perfiles transversales y sabe que es para calcular el movimiento de tierra leerá la mira directamente al cm. Pero si no lo sabe, es posible que mida la estación al cm, el ángulo a los 10", la mira al mm...Cuanto más dígitos inútiles se registran hay más posibilidades de cometer errores, de anotación, transcripción, de introducción a la computadora. Se comienza por recorrer toda la poligonal del trazado para ver si hay cambios en las condiciones con respecto a la época en que se efectuó el estudio. Según la antigüedad del trazado puede haber alteraciones en el uso del suelo, derrumbes, grandes erosiones, cambios de cursos de arroyos, que hagan considerar la conveniencia de estudiar variantes.

Se reabrirá la brecha si es necesario y con la ayuda de los datos de balizamientos indicados en la documentación del trazado se repondrán las referencias faltantes. Se medirán nuevamente todos los ángulos de la poligonal, se repintarán los postes de cruce de alambrados. Si el trazado se midió con

cinta, se medirán los lados de la poligonal con estación total o distanciómetro, se medirá toda la poligonal registrando las distancias parciales entre referencias de PL y PI, luego de lo cual se estará en condiciones de comenzar propiamente con el estudio del alineamiento horizontal.

En esta parte del estudio se distinguen las tareas de medición longitudinal, estaqueo, replanteo de curvas horizontales, levantamiento planimétrico.

El levantamiento puede realizarse simultáneamente con las tareas de medición y estaqueo, o después. Esto depende del criterio del operador, de la cantidad de detalles a relevar, de la disponibilidad de personal, de las dificultades para llegar al lugar.

. El objeto de la *medición* es establecer las *estaciones* de los puntos del eje que resulten de interés para el proyecto: cambios en la pendiente longitudinal y transversal del terreno, cambios en la forma y dimensiones de la sección transversal, cruces, y para referir al eje los puntos fuera de él que también resulten de interés para el proyecto. La estación de un punto fuera del eje es la de su proyección normal sobre el eje, que se determina con la ayuda de jalones.

Actualmente la medición se hace con estación total por radiaciones polares desde una estación de posición dominante en una altura o, en general, donde haya buena visibilidad.

Por medio de programas incorporados a la estación total, dada una estación y el

desplazamiento transversal de un punto con respecto al eje se determinan sus coordenadas polares y se lo ubica; y recíprocamente, de cualquier punto visado se obtienen casi instantáneamente sus coordenadas rectangulares. Los datos de levantamiento y replanteo quedan registrados en la libreta electrónica sin que intervenga el operador.

Si no se cuenta con estación total o distanciómetro montado sobre un teodolito, la medición se hace con cinta acerada de 50 m y control de fichas.

Las estaciones son distancias reducidas a la horizontal, de modo que debe fijarse una tolerancia para calcular la pendiente longitudinal hasta la cual se puede medir con la cinta inclinada. Dado el objeto de la medición lineal, y lo indicado por la experiencia puede fijarse una cómoda tolerancia de alrededor de 1:2000. Por lo que resulta una pendiente cercana a 3 % hasta la cual se podría medir sin horizontalizar la cinta. Todas estas precauciones adicionales confirman lo ventajoso que resulta medir toda la poligonal con estación total o distanciómetro, con los cuales se pueden satisfacer las más exigentes tolerancias.

Las tolerancias se fijan teniendo en cuenta la finalidad del trabajo y no la precisión del instrumental utilizado. El hecho de que una estación total puede garantizar un oscilación entre las mediciones de 1:10000, no debe inducir a establecer tal valor como la tolerancia admisible para el proyecto de un camino. En otras palabras, no exigir exactitudes innecesarias; ajustar o simplificar los procedimientos a los objetivos. Como ya se dijo: el *cómo* debe ser función del *para* 

qué. Estos conceptos también son válidos para las nivelaciones que se tratarán más adelante

. Advertencia importante: el *estaqueo* para estudio definitivo no requiere la precisión que para construir.

En el estudio definitivo, la única finalidad de la estaca es señalar un determinado punto del eje definitivo por su estación, elegido por tener ciertas particularidades, debido a las cuales será conveniente realizar posteriormente sobre él ciertas tareas de interés para el proyecto: nivelación, perfil transversal, nivelación de drenajes.

En cambio, en la construcción la finalidad de la estaca es señalar un punto de la obra; centro y bordes de calzada, bordes de hombros, intersecciones de ejes, coronamiento y pie de taludes, emplazamientos de alcantarillas, pilas de puentes.

Por ejemplo, las estacas de eje para uno y otro objeto: las exigencias para la ubicación de la estaca durante la construcción de un camino son mucho más rigurosas que para el estudio definitivo. Así, si la estaca tiene un corrimiento lateral de 20 cm resulta tolerable para el estudio, pero completamente inadmisible para construir.

Cualquiera que sea el esmero puesto en el estaqueo durante el estudio definitivo y suponiendo que se mantenga intacto, igualmente será repetida con suma exactitud su ejecución con anterioridad a la iniciación de la obra, para la firma del acta de replanteo.

Este comentario no pretende pregonar que durante el estudio definitivo el estaqueo se realice descuidadamente, sino que trate de eliminar cierta obsesión de algunos por la corrección de la ubicación de la estaca. Obsesión que será inofensiva si no resultara en inútiles pérdidas de tiempo.

En general, las estacas son de madera de la zona, aserrada y preferentemente dura; 5 x 5 cm de sección y 30-35 cm de largo; con punta y cabeza de aristas biseladas; pintadas de blanco los 10 cm superiores; con numeración corrida grabada a fuego o pintada o estampada en chapas de aluminio clavadas.

En zona plana, donde en general no se requieren más que estacas hectométricas, puede adoptarse una numeración en forma de quebrado: el numerador indica los kilómetros de las estaciones y el denominador los hectómetros. Por ejemplo: 0/4, 3/7, 41/8, corresponden a las estaciones 0+400, 3+700, 41+800. Las estacas intermedias eventualmente necesarias llevarían numeración corrida.

Excepto las referencias de concreto que individualizan los puntos característicos de las curvas horizontales y los FOT en tangentes largas, cuyas estaciones resultan de cálculo, en beneficio de la simplicidad de las posteriores tareas de cálculo y dibujo, se procurará emplazar las estacas en estaciones por lo menos enteras. De ser posible y procedente, emplazarlas en múltiplos de 100, o 50, o 25, o 10, o 5 m, en ese orden de preferencia. Las estacas se ubicarán con la numeración mirando hacia las estaciones decrecientes, salvo las estacas desplazadas

que se ubicarán con la numeración mirando hacia el eje.

El espaciamiento del estaqueo está en función de la conformación tipográfica, se recomienda un espaciamiento máximo de 50 m en zonas planas u onduladas (pendiente longitudinal (i) menor de 3%), 25 m en zona fuertemente ondulada  $(3\% \le i \le 6\%)$  y 10 m en zona montañosa (i > 6%).

Más por rapidez que por precisión requerida, el alineamiento para la ubicación de las estacas se efectuará preferentemente con ayuda de estación total ubicada en una estación con buena visibilidad o con teodolito ubicado en los puntos de línea. Otra forma puede ser con anteojos y jalones ubicados en los puntos de línea. Es muy recomendable la comunicación radial.

. El procedimiento general para el levantamiento planimétrico o levantamiento de detalles será por medio de coordenadas rectangulares, considerando la estación como abscisa y la distancia al eje como ordenada; o polares, considerado la distancia a la estación como radio polar y el ángulo de referencia como argumento. Según el método y la precisión requerida será el instrumental utilizado; coordenadas rectangulares: nivel óptico, cinta, jalones; coordenadas polares: brújula, sextante de bolsillo, cinta, taquímetro, estación total.

Se dibujarán los croquis en la libreta de campo teniendo la precaución de hacerlo de abajo hacia arriba de la hoja, en el sentido de las estaciones.

Durante el levantamiento pueden dejarse

señalizadas con estacas las ubicaciones elegidas para el posterior emplazamiento de las referencias bancos de nivelación, con anotación de la estación y distancia al eje.

Se levantarán en detalle todos los elementos físicos fijos ubicados dentro de la zona de camino que sean de interés para el proyecto: edificios, pavimentos, aceras, bordillos, líneas aéreas de servicios públicos (ubicación y altura), cámaras de servicios públicos subterráneos, alambrados, cercas, muros, forestaciones, frutales, cultivos, corrales, bebederos, zanjas de drenaje, canales, molinos, bombas de agua, galpones, tinglados, silos.

. El estudio del *alineamiento vertical* comprende la nivelación del eje y, cuando son necesarios, los perfiles transversales. Al respecto se comentan algunos aspectos prácticos y se hacen sugerencias que cada uno adoptará o no de acuerdo con los resultados que personalmente obtenga en la práctica. Cuando hay varios procedimientos valederos, en la elección pesa en gran medida el factor personal.

La nivelación puede ser geométrica o trigonométrica; la nivelación barométrica no es de aplicación en el estudio definitivo.

La nivelación geométrica o nivelación propiamente dicha se realiza con nivel de mano o automático, mediante visuales horizontales dirigidas hacia miras verticales colocadas en los puntos a nivelar. La verticalidad de la mira la controla el ayudante por medio de un nivel esférico o plomada.

La nivelación geométrica es la más simple y

habitual. Teóricamente con la sola lectura de hilo central sería suficiente. En cambio, en la nivelación trigonométrica con taquímetros se requieren como mínimo dos lecturas de mira y la lectura del ángulo vertical.

La nivelación trigonométrica con estación total o teodolito - distanciómetros requiere un solo disparo hacia el prisma y el conocimiento de su altura.

Las estaciones totales modernas tienen incorporados programas de corrección automática por temperatura, presión y curvatura de la tierra.

En zonas planas y suavemente onduladas se emplea la nivelación geométrica casi exclusivamente; en zonas montañosas se suelen emplear ambos procedimientos en forma conjunta: nivelación geométrica de bancos de nivel y puntos de paso, sobre los cuales se apoya la nivelación trigonométrica de los puntos del eje.

Siempre, cualquiera que sea el procedimiento elegido, se exige el cierre de la nivelación para verificar si se está operando dentro de la tolerancia admitida. El cierre permite evaluar y comparar los resultados obtenidos con procedimientos distintos. La consideración de la precisión alcanzada, el tiempo empleado, el personal y tipo de instrumental requerido aconsejarán la elección del método más conveniente, dadas las circunstancias. Las tolerancias de la nivelación dependen de la topografía, así en la expresión no homogénea

Tolerancia (cm) =  $c(cm) * \sqrt{L(km)}$ 

c es del orden de 3, 6 y 9 según que la topografía dominante sea plana (i#3%), ondulada (3%>i#6%) o montañosa. L es la longitud total nivelada en km.

Como se advierte, las tolerancias habituales son amplias y pueden cumplirse cómodamente en razón de la precisión del instrumental moderno.

### Recomendaciones

- PARA NIVELAR EL TERRENO NATURAL Y SUPERFICIES DE AGUA, LEER SÓLO EL HILO CENTRAL DE LA MIRA AL CM; PARA BANCOS DE NIVEL, PUNTOS DE PASO LEER LOS TRES HILOS AL MEDIO CM, PARA PAVIMENTOS, BORDILLOS, UMBRALES, LEER SÓLO EL HILO CENTRAL AL MEDIO CM. ANOTAR LAS LECTURAS EN EL SISTEMA MÉTRICO; POR EJEMPLO, 1,735.
- VERIFICAR DIARIAMENTE, DURANTE EL PERÍODO DE NIVELACIÓN, LA CORRECCIÓN DEL INSTRUMENTO, POR EL MÉTODO DE LAS TRES ESTACAS O ENTRE PUNTOS PREVIAMENTE NIVELADOS CON PRECISIÓN. HACER LAS CORRECCIONES QUE CORRESPONDAN.
- SI EL ERROR DE CIERRE ESTÁ DENTRO DE LA TOLERANCIA, DAR POR BUENA LA NIVELACIÓN DE IDA Y NO HACER INNECESARIAS COMPENSACIONES.

SI EL ERROR DE CIERRE ESTÁ FUERA DE LA TOLERANCIA, REPETIR LA NIVELACIÓN DE IDA Y VUELTA EN EL SECTOR CORRESPONDIENTE.

- EL ERROR LOCALIZADO, ACCIDENTAL, SE CORRIGE REITERANDO LA NIVELACIÓN EN EL LUGAR DE OCURRENCIA.

EL ERROR GENERALIZADO, SISTEMÁTICO, ES MÁS MOLESTO Y PERJUDICIAL. DEBEN AGOTARSE LOS RECURSOS PARA DETECTAR SU CAUSA.

- SEPARAR EN EL TIEMPO LAS NIVELACIONES, NO HACER SIMULTÁNEAMENTE LAS NIVELACIONES DE IDA Y CIERRE. LA NIVELACIÓN RECÍPROCA O EL CAMBIO DE ALTURA DE APARATO SON MÉTODOS TEÓRICAMENTE CORRECTOS, PERO QUE PUEDEN TENTAR LA COMISIÓN DE PRÁCTICAS INCORRECTAS.
- SEPARAR TAMBIÉN LA NIVELACIÓN LONGITUDINAL DE LA TRANSVERSAL.
- SEGÚN LAS CONDICIONES, LIMITAR A UNOS 100 M LAS DISTANCIAS A LOS PUNTOS DE PASO.
- COMO SIEMPRE, ADECUAR LOS PROCEDIMIENTOS A LOS OBJETIVOS.
- Causas frecuentes de errores:
- → INADVERTIDO DESENGANCHE DE UNA SECCIÓN DE MIRA TELESCÓPICA,
- ÷ OCASIONAL DEFECTO MECÁNICO DEL NIVEL AUTOMÁTICO,
- ÷ ERROR DE ANOTACIÓN, PARTICULARMENTE POR PRETENDER LEER AL MM,
- ÷ CAMBIO DEL ASIENTO DE LA MIRA EN UN PUNTO DE PASO POR DISTRACCIÓN DEL AYUDANTE; POR EJEMPLO SOBRE ESTACA Y BAJO ESTACA.
- ÷ ERROR DE INCLINACIÓN DEL APARATO Y DISTANCIAS DE LECTURA MUY DESIGUALES A LOS PUNTOS DE PASO ATRÁS Y ADELANTE
- ÷ FALTA DE VERTICALIDAD DE LA MIRA O DEL APARATO,
- ÷ CAMBIOS DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS ENTRE LA IDA Y LA VUELTA: VIENTO, REVERBERACIÓN, TEMPERATURA, NIEBLA.
- . En el camino crítico de las tareas del estudio definitivo, principalmente en zona

montañosa, casi siempre la tarea crítica es el levantamiento de los *perfiles transversales*.

Permiten el cálculo del movimiento de tierra y el ajuste de la rasante, el estudio y proyecto de medidas de seguridad: emplazamiento de barandas, la verificación de la visibilidad en el interior de las curvas horizontales, diseño del perfil longitudinal y transversal de las cunetas, diseño de muros de sostenimiento, repavimentaciones, ensanche de hombros, tendido de taludes, corrimientos de eje.

A pesar de su importancia el levantamiento de los perfiles transversales es la tarea del estudio definitivo que menos entusiasmo despierta. Este sentimiento es comprensible ya que se trata de una tarea bastante tediosa, rutinaria, sin ningún atractivo notable. La nivelación longitudinal tampoco es atractiva, pero por lo menos tiene el desafío de la tolerancia admitida, lo que puede cicatear un sano espíritu de superación, para mejorar las propias performances. No obstante, hay que sobreponerse a las molestias y tratar la tarea con seriedad y dedicación; no asignársela al personal menos dotado, no considerarla como un castigo.

Con los modernos equipos de levantamiento y los programas de diseño asistido puede reemplazarse en campo el levantamiento de perfiles transversales por areales con estación total o teodolito-distanciómetro con libreta electrónica de registro automático de datos para calcular en gabinete el *modelo digital del terreno*, a partir del cual se puedan calcular en la computadora los perfiles transversales, o de cualquier dirección, que se requieran.

En relación con las tolerancias y como consecuencia de comentarios anteriores. corresponde el siguiente razonamiento: donde se acepte que el levantamiento de los perfiles transversales puede realizarse indistintamente con nivel, teodolito o clinómetro, debe entonces aceptarse como valedero el resultado obtenido con el instrumental intrínsecamente más preciso si cumple la tolerancia establecida para el instrumental menos preciso. Por ejemplo, si con el clinómetro y cinta se tolerarían diferencias de ± 10 cm en cota, cuando se emplee en nivel no considerar erróneas las lecturas que tengan una indeterminación similar. Esta disquisición no es vana, sino que procura fundamentalmente racionalizar procedimientos expeditivos con nivel de burbuja o teodolito. Así, no sería inapropiado leer la mira al cm o los 5 cm, cuando en el visor del nivel se vean oscilar los dos extremos de la burbuja (no esperar que coincidan) y luego mover el tornillo de elevación en el sentido necesario para que la lectura del hilo bajo coincida con el del decímetro más próximo y mentalmente hacer la diferencia entre el hilo alto y el bajo, la cual se adopta como distancia horizontal. Sobre la base de la tolerancia admitida y de la distancia apreciada visualmente, el operador se acostumbra a decidir casi automáticamente cuándo es el momento apropiado para hacer la lectura central sin necesidad de buscar la exacta coincidencia de la ramas de la burbuja.

Cuando más cercana esté la mira, mayor separación puede admitirse entre las ramas de la burbuja.

En cuanto al error cometido al tomar el

generador como la distancia horizontal es despreciable para el objeto en consideración.

Si en vez de nivel a burbuja se emplea nivel automático habría que leer por lo menos dos hilos al medio cm y calcular la distancia en gabinete.

### Recomendaciones:

. en zona con vegetación densa, hacer abrir las brechas con anterioridad al levantamiento; al respecto no ser excesivamente rigurosos en la consideración de la dirección perpendicular. No talar un árbol cuando se puede desviar ligeramente la dirección.

. normalizar los procedimientos y anotaciones para posibilitar el fácil y correcto procesamiento de los datos de las libretas de campo. Confeccionar croquis del perfil, anotar observaciones y aclarar las abreviaturas. Conviene que el mismo operador de campo procese la información o que la supervise detalladamente.

. En general, para complementar los datos de la documentación cartográfica recopilada se realizan dos tareas de campo: reconocimiento de las cuencas de aporte y el levantamiento topográfico detallado del lugar de emplazamiento de la obra de arte.

En el reconocimiento de las cuencas interesa la observación y recolección de los siguientes datos:

- . tipos de suelos y vegetación, orientación de los surcos.
- . concavidades donde se pueda almacenar el

agua, estimación de la capacidad,

. comportamiento de obras de arte existentes, aguas abajo y aguas arriba,

. características de obras artificiales de control: tajamares, represas, sistemas de riego. Estrechamientos del cauce, estimación de las pendientes erosivas según tipo de suelo.

. niveles de agua, recurrencia de las inundaciones, datos de lluvias según los vecinos.

. ponderación del coeficiente de escorrentía.

En general, para obras comunes el levantamiento topográfico se limita a unos 100 metros hacia ambos lados del eje. Se levantan planialtimétricamente las zanjas, arroyos, acequias que cruzan el eje.

Es común la utilización de la taquimetría, con teodolito o nivel según lo accidentado del lugar.

Por lo menos se levantarán tres perfiles transversales al cauce: en el cruce del eje de estudio y unos 30 m aguas arriba y abajo, o en los cambios de pendiente, de dirección o de forma de la sección. Se ubicarán o nivelarán las marcas de niveles de agua.

Como no suele cerrarse la poligonal ni la nivelación se debe ser muy cuidadoso en las lecturas y su anotación, principalmente en los puntos de paso. Para evitar errores groseros debería tomarse el rumbo magnético en cada estación con brújula portátil o la del teodolito.

. Las tareas técnicas en el gabinete de campo del estudio definitivo son cálculo y dibujo borrador de los levantamientos y, recomendable, anteproyecto de obras básicas y drenajes: rasante tentativa, perfiles longitudinales de las cunetas, ubicación, elección del tipo y predimensionamiento de las alcantarillas transversales y laterales.

El cálculo y replanteo de las curvas horizontales es una tarea de proyecto que se intercala en el estudio definitivo.

El cálculo comprende el de las libretas de nivelación longitudinal y transversal y levantamientos planialtimétricos de detalle: drenajes, intersecciones, cruces de líneas aéreas.

A tal fin será conveniente, por no decir imprescindible, disponer de computadoras o calculadoras con los programas de uso habitual relativos a topografía y proyecto vial: taquimetría, nivelación, poligonales, curvas horizontales, intersecciones, e impresora o plotter mediano.

El dibujo de las láminas borrador conviene comenzar a hacerlo en formatos y escalas normalizadas. Se dibujarán, manual o por medios computadorizados, las planimetrías de detalle y el perfil longitudinal del terreno.

Según cuál sea el caso puede posponerse el dibujo de los perfiles transversales para realizarlo en las oficinas centrales. Aunque lo deseable es dibujarlos en campaña, aunque sea por medio de la impresora. En general las representaciones gráficas en borrador, planimetría, altimetría y secciones transversales ayudan a detectar errores o falta

de datos, los que pueden corregirse rápidamente revisando el procesamiento de los datos, o mediante verificaciones de campo.

En ciertas secciones de topografía montañosa, por ejemplo en las que se prevén cortes en roca o grandes terraplenes y desmontes, es indispensable dibujar los perfiles transversales en campaña y trazar una rasante tentativa para ver la conveniencia y posibilidad de efectuar pequeños desplazamientos del eje de proyecto.

Los dibujos en borrador permiten levantar la comisión de campo sólo cuando se tiene la plena seguridad de que el trabajo de campo está completo, de que se cuenta con todos los datos necesarios para el proyecto de la obra básica y drenajes. No tener que volver a enviar personal técnico a campaña para completar datos faltantes que podrían haberse advertido antes con el dibujo a la vista, con los consecuentes trastornos, demoras y gastos.

# DOCUMENTACIÓN DEL ESTUDIO DEL TRAZADO

La presente sección es un instructivo del contenido de los planos que componen un estudio del trazado final.

Los planos resultantes del Estudio Definitivo del trazado son la base para la elaboración del diseño geométrico final. Son representativos de la situación existente. Se dibujarán en limpio según instrucciones particulares, sobre papel vegetal o láminas de poliéster de gramaje y espesor adecuados.

El proyectista deberá revisar los planos antes del diseño final para verificar que contengan la correcta información topográfica y para eliminar errores de dibujo.

Al terminar el Estudio Definitivo del trazo estarán dibujados en limpio los siguientes planos, con su contenido en el grado de elaboración que se indica.

Los planos se presentarán sin plegar y unidos por el borde izquierdo.

Tendrán un formato único. Los textos deberán ser de un tamaño tal que permitan una reducción fotográfica.

Se ordenará el juego de planos a ser presentados de acuerdo con el siguiente esquema.

- Carátula
- Planimetría General
- Planimetría de Detalle
- Perfiles Transversales y de Drenajes

Esta documentación será necesaria únicamente en aquellos casos en los que el trazado se haga independiente y en etapas diferentes con el estudio definitivo.

## **Planos**

### Carátula

Se dibujará en escala conveniente y mostrará la ubicación del proyecto en el Departamento y el título del proyecto.

## Planimetría general

Traducirá lo más fielmente posible los principales accidentes topográficos y la subdivisión de la propiedad a lo largo del trazado en estudio.

El trazo del camino será indicado por una sola línea gruesa y figurarán leyendas que distingan el principio y el fin del proyecto. En estos puntos se indicará el Norte.

Este plano se hará en escala adecuada y como datos del proyecto figurarán los de las curvas, drenajes, obras de arte de luz igual o mayor de 10 m, estaciones del camino de 1 a 5 km según cuál sea la longitud del proyecto, ubicación de vértices con su numeración correspondiente, estaciones del proyecto en su cruce con los ejes de los caminos intersectados, indicando el tipo de cruce, equivalencias de estaciones, propietarios, referencias de hormigón Instituto Geográfico Nacional, símbolos utilizados y todo otro elemento que se estime conveniente.

Se indicará el norte geográfico.

# Planimetría de detalle

Este tipo de plano se confeccionará en escala horizontal 1:2500 y escala vertical (sector altimétrico) 1:100. Este plano tendrá dos sectores: uno superior con el dibujo planimétrico y un sector inferior con la

alineación altimétrica.

## Sector Planimétrico

Contendrá los siguientes elementos: eje de proyecto, límite zona camino y características topográficas importantes tales como corrientes de agua, lagos, todos los elementos que se encuentran dentro de la zona de camino tales como cruces con otras vías, alambrados, líneas eléctricas, vías férreas, edificaciones, instalaciones de diferentes tipos, nombres de los propietarios, de los terrenos colindantes y límites de propiedades.

Se incluirán todos los datos de la poligonal del eje y de las curvas horizontales integrantes del proyecto, tales como TE, EC, CE, ET, PC y FC, datos de las curvas como estaciones del vértice, ángulo entre tangentes, desarrollo, longitud de tangentes, externa. Se indicarán los balizamientos de los vértices de la poligonal.

En el comienzo y fin del tramo representado en un plano se colocarán las estaciones respectivas y el número de plano en el cual se continúa el proyecto. Se indicará en cada plano el norte geográfico.

Se indicarán las referencias de la línea central y de los bancos de nivel con sus estaciones, cotas, balizamientos y numeración respectiva. Se dibujarán las obras proyectadas y los accesos a propiedades.

### Sector Altimétrico

Contendrá los siguientes elementos: perfil longitudinal del terreno natural, cursos de agua, perfil longitudinal proyectado (rasante),

pendientes, estaciones de PC, FC y vértices, parámetro y longitud de la curva vertical, diferencia algebraica de pendientes y cota de rasante en coincidencia con la estación del vértice.

Se establecerá un estacionamiento parcial con indicación de cotas de terreno natural y rasante.

Se dibujarán las estructuras de drenaje menor indicando su altura, longitud y cota de drenaje; se representarán también las líneas de drenajes con sus pendientes respectivas proyectadas.

En los casos de aplicación, el peralte máximo y la transición se indicarán en altimetría por medio de una línea diciendo transición, peralte máximo, sección normal, etc., en correspondencia con las estaciones correspondientes. Además deberá indicarse si el peralte proyectado gira alrededor del eje o de los bordes del pavimento.

La separación de las curvas de nivel, equidistancia, estará en relación con la escala del plano.

## Perfiles transversales y drenajes

Se adoptará, salvo casos muy justificados, la escala 1:100 tanto en horizontal como en vertical. Se dibujará lo existente, las estaciones y las cotas.

En cualquier longitud del estudio en que se levanten perfiles transversales, deberán tomarse en todos los puntos del eje que hayan sido nivelados. Sobre la base de lo indicado en levantamiento para drenajes se dibujarán los perfiles correspondientes.

## DEFINICIÓN DEL TRAZADO

## **Ejemplos ilustrativos**

## Figura 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 **ADE**, en un acceso a **E**.

## Figura 2

### Situación:

Faldeo con pendiente predeterminada y dos accidentes topográficos intermedios: Cerro San Antón y Ambrada Ventilla.

#### Comentario:

- a) 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 inmediaiones de la línea de deseo.
- b) Descenso directo desde 301 + 607 con una poligonal de pendiente uniforme, 1% menos que la admisible para compensar la disminución de desarrollo al introducir las curvas horizontales.
- c) 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 3

### Situación:

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

### Comentarios:

a) Conviene bajar desde **G**, en vez 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).

b) La línea 1 es la más corta y directa, pero puede convenir la 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 4

### Situación:

En general, muy parecida a la de la Figura 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 5

Situación: Línea de deseo del trazado según línea de divisoria de aguas **ABCGH.** Intercalación de promontorios locales y divisoria Transversal **PDEF.** 

### Comentarios:

- a) Los promontorios locales se cruzan por uno u otro lado según la pendiente límite y necesidad de incrementar el desarrollo para mantenerla.
- b) La divisoria transversal se cruzará entre F (facilidad local) y P (túnel) según cual sea el tránsito e importancia del camino. Es un problema técnico económico típico.

## Figura 6

## Situación:

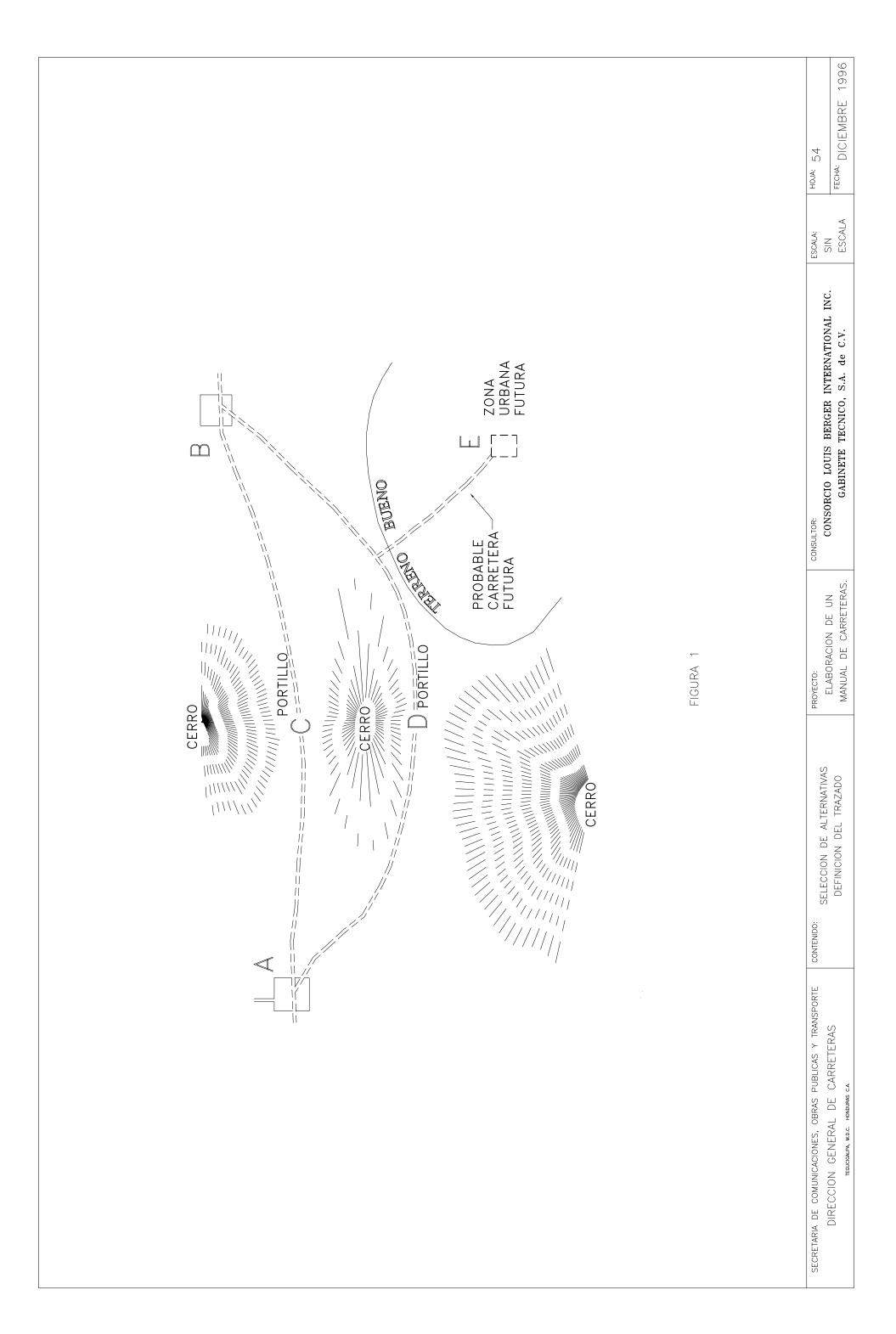
Puntos de control: **A**, **B**. Unidos con una pendiente límite determinada. El cruce del río requiere un puente importante.

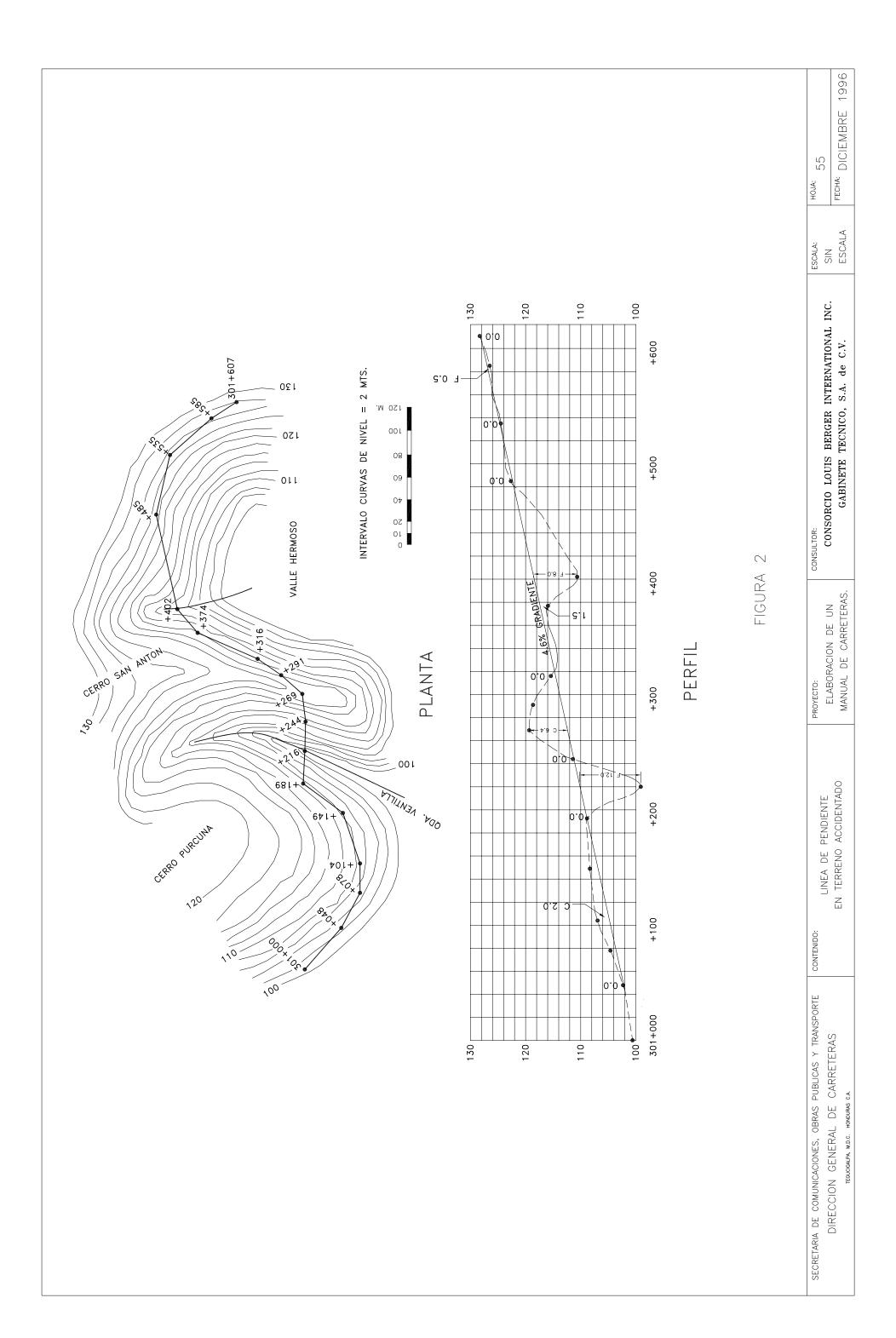
### Comentario:

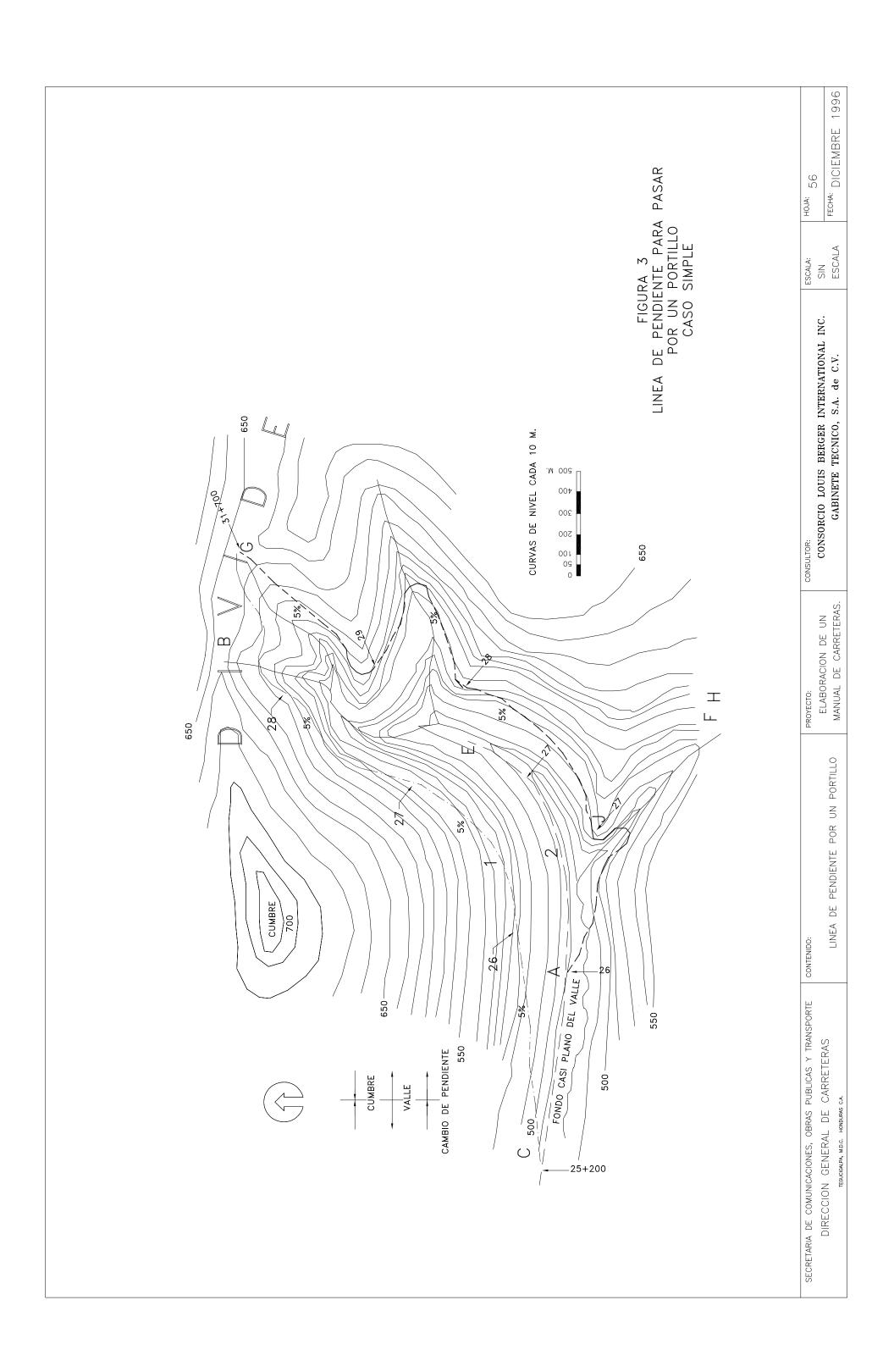
a) Las ventajas del cruce del río en C son tales que lo convierten en un punto de paso obligado.

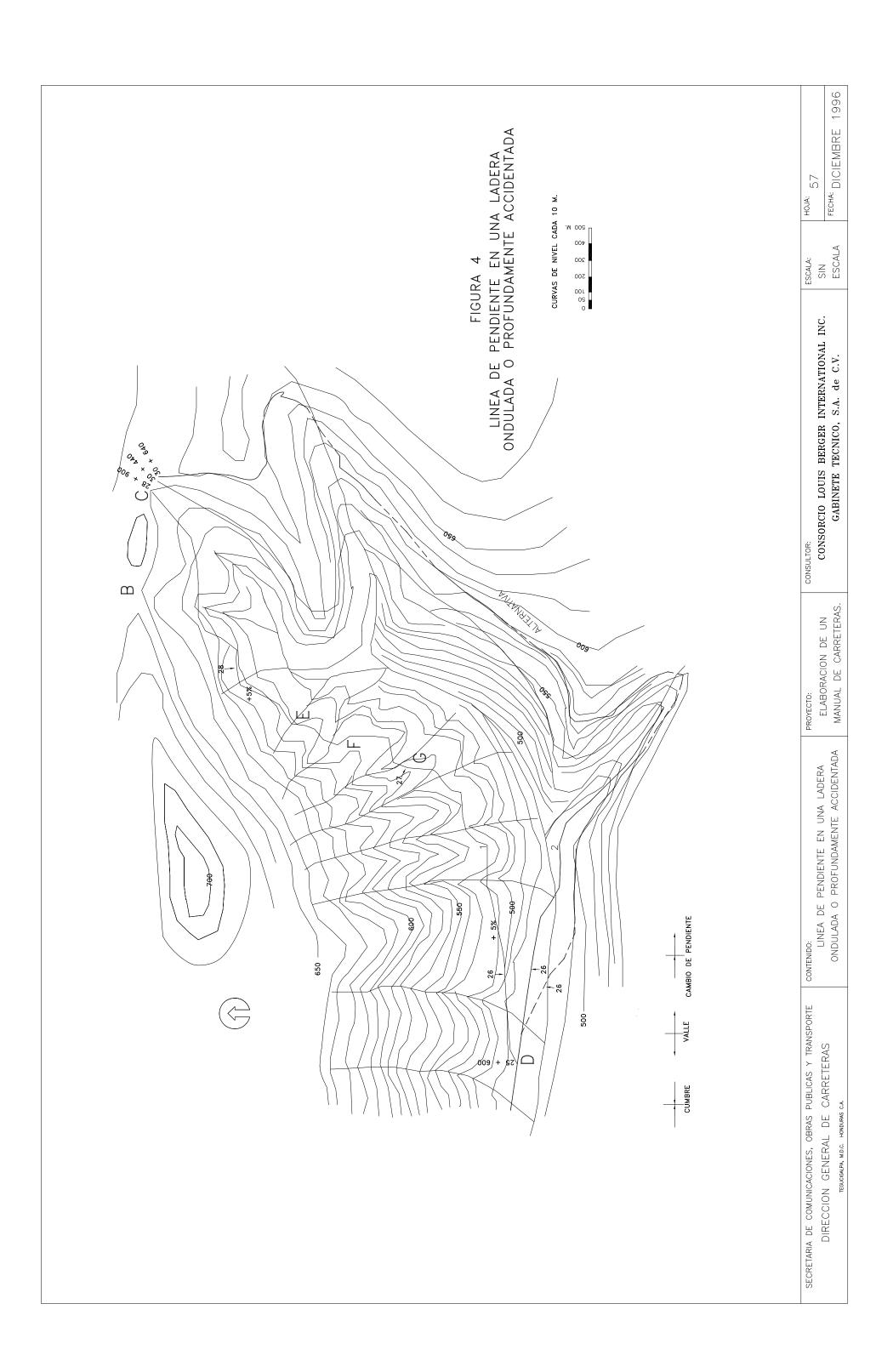
En general los cruces del río son oblicuos, bajando por una margen y subiendo por la otra sin cambiar de dirección; en **U** con dirección opuesta en cada margen y, como caso particular, normales.

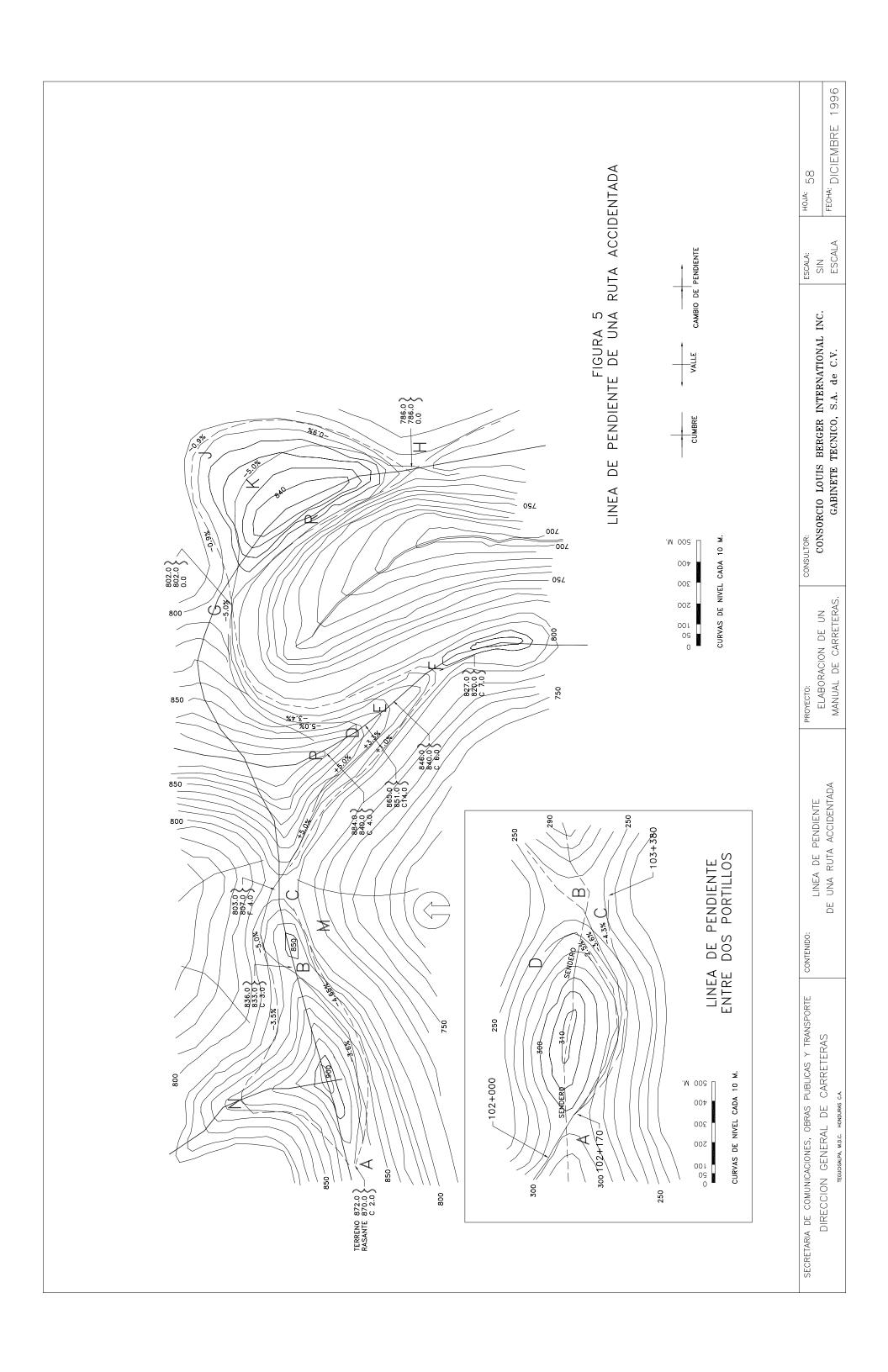
- b) En el caso del ejemplo, la margen derecha del río es muy escarpada aguas arriba de C, por lo que se requiere un cruce en U.
- c) De acuerdo con la pendiente límite se busca desarrollo desde C hasta A mediante faldeos y revueltas. Se procura ubicar las revueltas en ubicaciones con ventajas topográficas, como son los promontorios localizados.

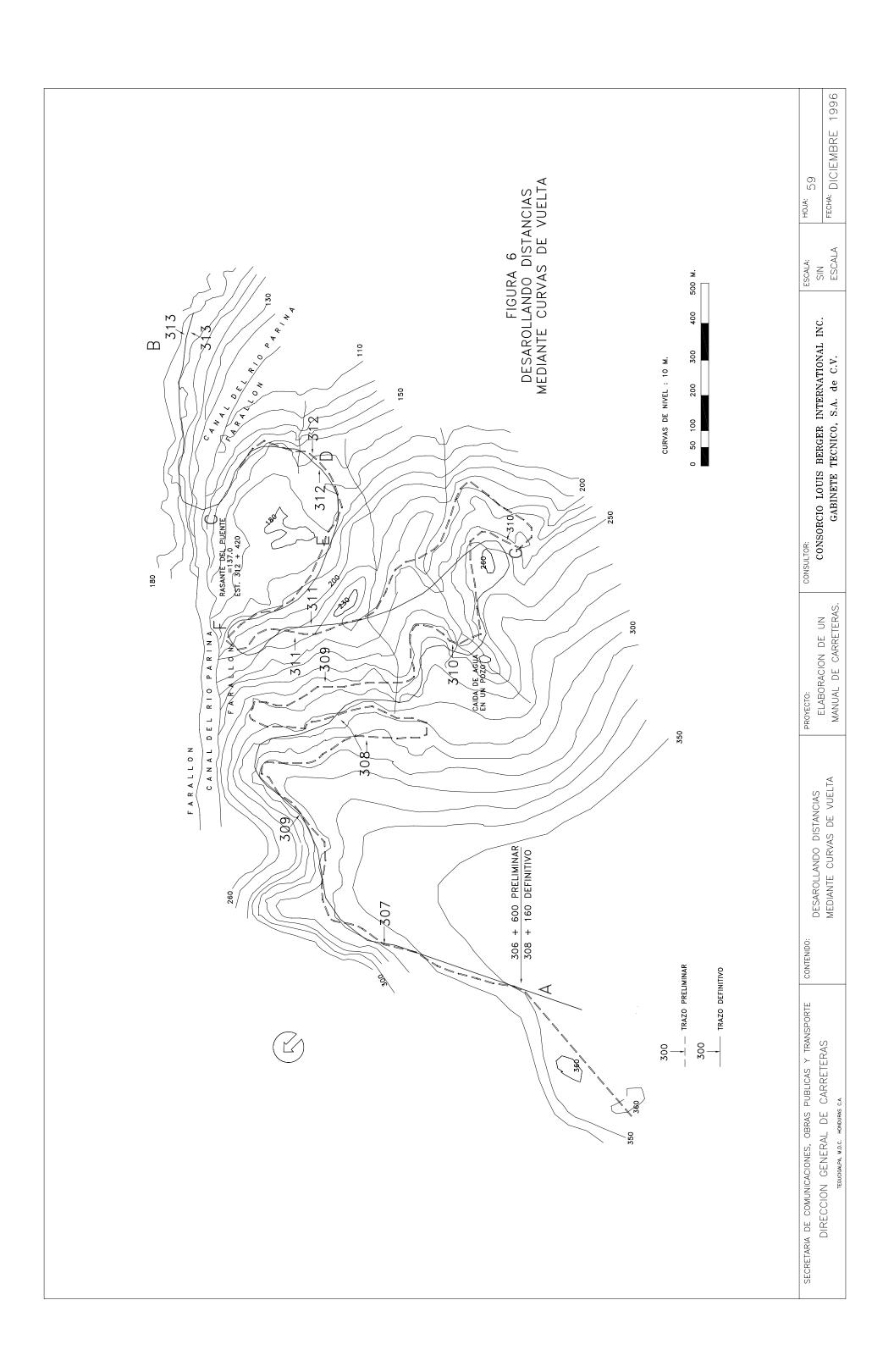












# INSTRUCCIONES PARA LA ELABORACIÓN DE PLANOS

El presente capítulo es una guía general acerca de los contenidos de los planos constituyentes de un proyecto vial; que deberá ser complementada con la documentación que en particular se elabore para cada proyecto específico.

### Presentación.

Los planos serán presentados sin plegar y unidos por el borde izquierdo.

El formato único será de 60 cm x 91 cm (medidas exteriores). Los márgenes serán de 1 cm en su borde superior, derecho e inferior y 3.2 cm en su borde izquierdo. En la elección del tamaño de letras y números se preverá la posibilidad de reducción fotográfica (min. tamaño: 3mm).

Los planos tipo que se actualicen serán de igual tamaño.

Se ordenará el juego de planos a ser presentados de acuerdo con el siguiente esquema.

- a) Carátula
- b) Indice
- c) Planimetría general
- d) Perfil tipo obra básica
- e) Perfil tipo estructural de pavimento
- f) Planialtimetría (1:1000)(1:100)-H/V
- g) Planos intersecciones
  - 1) Plano general (1:1000)
  - 2) Replanteo (1:500)
  - 3) Calzadas acotadas (1:500)
  - 4) Curvas de nivel (1:500)
- h) Diagrama de masas (adoptar escala)
- i) Perfil geodafológico (1:5000; 1:50 ó 1:20)

- j) Planimetría general de yacimientos
- k)Planos de yacimientos
- 1) Planos de detalle
- ll) Planos tipo
- m) Parquización
- n) Iluminación
- o) Señalización
- p) Puentes
- q) Perfiles transversales y drenajes (1:100) H/V

## CONTENIDO DE LOS PLANOS

- a) Carátula.
  - Se dibujará en escala conveniente y mostrará la ubicación del proyecto en el departamento. Además indicará el título del proyecto.
- b) Indice.

Indicará el listado completo de planos integrantes del proyecto.

c) Planimetría general.

Traducirá lo más fielmente posible los principales accidentes topográficos y la subdivisión de la propiedad a lo largo del trazado en estudio.

El trazo del camino será indicado por una sola línea gruesa y figurarán leyendas que distingan el principio y el fin del proyecto. En estos puntos se indicará el Norte.

Este plano se hará en escala adecuada y como datos del proyecto figurarán aquellos de las curvas, drenajes, obras de arte de luz igual o mayor de 10 m, estaciones del camino de 1 a 5 Km según sea la longitud del proyecto, ubicación de vértices con su numeración correspondiente, estaciones del proyecto en su cruce con los ejes de los caminos interceptados, indicando el tipo de cruce, equivalencias de estaciones, propietarios, referencias de hormigón Instituto Geográfico Nacional, símbolos utilizados y todo otro elemento que se estime conveniente. Se indicará el Norte geográfico.

## d) Perfil tipo de obra básica.

Se dibujará en una escala amplia para poder mostrar claramente los detalles de talud (generalmente escala horizontal 1:100 y escala vertical fuera de escala), flecha, pendiente, soleras, anchos, etc.

Se indicarán: los valores de taludes máximo de terraplenes y desmontes. ancho mínimo de cunetas, taludes en corte, medidas de sobreancho en caso de utilización de baranda de defensa. indicación punto de aplicación de rasante, estaciones de principio y fin de aplicación de cada perfil tipo de obra básica, anchos de carpeta de rodamiento, anchos de hombros, ancho de mediana si existe, ancho zona de camino, distancia de eje de proyecto a cada lado de zona de camino, pendientes transversales de calzadas y hombros, pendiente transversal y ancho de aceras si las hubiere, anchos de bordillos o bordillos cunetas si existieren.

e) Perfil tipo estructural de pavimento. Se dibujarán los perfiles tipo estructural de pavimentos proyectados en escala suficientemente grande como para indicar claramente las distintas cajas integrantes del mismo (generalmente escala horizontal 1:100 y escala vertical fuera de escala).

Se indicarán: anchos, espesores y composición de las distintas capas integrantes del paquete estructural; se indicarán también cuando existan las diferentes capas de riego de liga e imprimación y el material a utilizar, estaciones de comienzo y fin de aplicación de cada perfil estructural, indicaciones de empalme con pavimento existente si existiere.

## f) Planialtimetría.

Este tipo de plano se confeccionará en escala horizontal 1:1000 y escala vertical (sector altimétrico) 1:100. Este plano tendrá 2 sectores, uno superior con el dibujo planimétrico y un sector inferior con la alineación altimétrica

## Sector planimétrico.

Contendrá los siguientes elementos: eje de proyecto, límites zona de camino, características topográficas importantes tales como corrientes de agua, lagos; todos los elementos que se encuentren dentro de la zona de camino tales como cruces con otras vías, alambrados, líneas eléctricas, vías férreas, edificaciones, instalaciones de diferentes tipos, nombres de los propietarios y límites de propiedades. Se incluirán todos los datos de la poligonal del eje y de las curvas horizontales integrantes del

proyecto, tales como Tangente Espiral (TE), Espiral Curva (EC), Curva Espiral (CE), Espiral Tangente (ET), Principio de Curva (PC) y Final de Curva (FC), datos de las curvas como Estaciones del vértice, ángulo entre tangentes, desarrollo, longitud de tangentes.

estaciones de un representado en un plano serán indicadas cada 10 o 20 metros, dependiendo de la zona y además se identificarán las estaciones cada 100 metros Se indicarán los balizamientos de los vértices de la poligonal. Se deberá indicar la escala empleada, la ubicación de las referencias y bancos de nivel, localización de estructuras drenaje, incluyendo un cuadro resumen con toda la información de cada estructura a construir (estación, diámetro o dimensiones, tipo, sesgo, elevación entrada y salida, longitud, pendiente, obras de arte a construir, etc), nombres de propietarios afectados y vecinos de los terrenos advacentes, indicación de todas las obras proyectadas con el cómputo métrico respectivo resultante de este plano, indicación de estructuras a demoler y/o a trasladar con su respectivo cómputo, sentidos de circulación con tantas flechas como carriles provectados sean.

En el comienzo y fin del tramo representado en un plano se colocarán las estaciones respectivas y el número de plano en el cual se continúe el proyecto.

Se indicará en cada plano el norte

geográfico.

Se indicarán los puntos fijos y puntos de línea con sus estaciones, color, balizamientos y numeración respectiva. Se dibujarán las obras proyectadas y los accesos a propiedades.

En la línea que representa el eje del proyecto se indicarán las estaciones según el espaciamiento del estaqueo y midiendo las estaciones de las estaciones hectométricas.

La planimetría de detalle (o de obras a construir) se representará en escala 1:1000 y contendrá todos los elementos indicados en el punto f) planialtimetría, sección a) sector planimétrico mas lo siguiente: indicación de todas las tareas a realizar y obras proyectadas con el cómputo métrico respectivo resultante de ese plano, indicación de todas las estructuras a demoler con sus respectivos cómputos, indicación de todas las estructuras a trasladar con sus respectivos cómputos, indicación de sentidos de circulación con tantas flechas como carriles proyectados sean.

### Sector altimétrico.

Contendrá los siguientes elementos: perfil longitudinal del terreno natural, cursos de agua; perfil longitudinal proyectado (rasante), pendientes, estaciones de PC, FC y vértices; parámetro y longitud de la curva vertical; diferencia algebraica de pendientes y cota de rasante en coincidencia con la estación del vértice

Se establecerá un estacionamiento

parcial con indicación de cotas de terreno natural y rasante.

La altimetría se representará en escala horizontal 1:1000 y escala vertical 1:100 y contendrán todos los elementos indicados anteriormente

- g) Planos intersecciones:
  - 1) Plano general (escala 1:1000)
  - 2) Plano replanteo (escala 1:500)
  - 3) Plano calzadas acotadas (escala 1:500)
  - 4) Plano curvas de nivel (escala 1:500)
  - g-1) <u>Plano general.</u> Se realizará en escala 1:1000 y contendrá todos los elementos geométricos que definen la intersección tales como principios y fin de curvas, radios y anchos de calzadas
  - g-2) <u>Plano replanteo</u>. Se realizará en escala 1:500, contendrá todos los elementos necesarios para poder replantear en el terreno la obra proyectada. Todas las curvas irán numeradas y para cada una de ellas se de finirán los elementos característicos de las mismas.
  - g-3) <u>Plano calzadas acotadas.</u> Se realizará en escala 1:500 y contendrá el acotamiento de ambos bordes de calzada y banquinas con separación de 10 metros. Se acotarán también con igual separación las líneas de quiebre de pavimentos por cambios de pendientes transversales si así existieren.
  - g-4) <u>Plano curvas de nivel.</u> Este tipo de plano no siempre es requerido, si así fuere deberá realizarse en escala 1:500 y se dibujarán en él las curvas

de nivel generadas a consecuencia del proyecto y la superficie de terreno existente, incluyendo las líneas de drenajes y las estructuras correspondientes. La equidistancia será de 50 centímetros.

- h) Planimetría general de yacimientos.
  Contendrá el eje del trazo, los yacimientos factibles a utilizarse en la obra, caminos de acceso y distancias hasta el eje de estudio.
  Denominación o numeración de cada yacimiento. La escala se adoptará para cada caso en particular.
  - Los yacimientos deberán ser correctamente ubicados dentro de la propiedad y en ellos se indicarán los siguientes datos:
  - Nombre y domicilio del Propietario con información del dominio.
  - Superficie total del yacimiento.
  - Destape promedio del yacimiento
  - Volumen del destape
  - Espesor de manto aprovechable y volumen del mismo
  - Desbosque y destronque a efectuar
  - Distancia al trazo en estudio
  - Referencias de hormigón colocados. La escala será fijada de acuerdo con las dimensiones del yacimiento, pero deberá permitir la ubicación de las perforaciones y pozos practicados, indicando en un cuadro los datos de cada uno de ellos y los resultados de ensayos efectuados.
- i) Planos de detalle.

Se designan con este nombre todos aquellos planos destinados a la ejecución de obras de carácter especial o referentes a modificaciones de obras existentes.

Las escalas a adoptar en cada plano de detalle dependerán de la finalidad del mismo, pero siempre en el formato único ya indicado.

j) Planos tipo.

Este es el conjunto de planos que habitualmente y sin sufrir modificaciones integran (algunos de ellos) la documentación de diferentes proyectos. Las escalas son variadas y están en función de cada tipo de plano.

Deberán en todos los casos encuadernarse en el formato único ya indicado. El listado de los más usuales es el siguiente:

Alcantarillas (diversos tipos)

Tragantes

Obras varias de drenajes Baranda metálica de defensa

Baranda protectora de hormigón

Alambrado límite derecho de vía

Cercas

Bordillos distintos tipos

Muros de contención, etc.

# INFORME DE INGENIERÍA

Presentación.

El informe se presentará en forma de carpeta de hojas movibles identificadas de la siguiente forma "a - b - c" donde:

- a. Número del capítulo
- b. Número del subcapítulo
- c. Número del orden de la hoja dentro del subcapítulo.

En cada subcapítulo el valor "c" comenzará por el número 1, lo cual permitirá agregar hojas sin afectar la numeración del capítulo. La identificación de las hojas se situará en el vértice superior derecho.

Se utilizará un lenguaje técnico, claro y conciso, complementado convenientemente mediante tablas, esquemas y dibujos incluídos en el texto, o en hojas a continuación del mismo y no en un apéndice separado de éste.

Los símbolos utilizados han de ser

identificados por lo menos una vez, al principio del texto de cada capítulo.

Los distintos capítulos serán separados por una hoja de color.

El Profesional ordenará su informe de acuerdo con el siguiente índice:

### Indice

Capítulo 1 Información General.

- 1.1 Generalidades
- 1.2 Criterio con que se fijó la rasante y demás elementos de Ingeniería del Provecto.
- 1.3 Gestión administrativa durante el desarrollo del trabajo.
- 1.4 Otras referencias y antecedentes.

<u>Capítulo 2</u> L e v a n t a m i e n t o Planialtimétrico.

- 2.1 Reconocimiento y estudios de trazado.
- 2.2 Localización del eje y trabajos topográficos realizados.
- 2.3 Drenaje del área atravesada por el camino.
- 2.4 Varios.

# <u>Capítulo 3</u> Suelos y Materiales.

- 3.1 Programa Básico de Investigaciones
- 3.1.1 Perfil edafológico y ensayos
- 3.1.2 Investigación de yacimientos
- 3.1.3 Agregados comerciales
- 3.1.4 Estudio de fundaciones
- 3.1.5 Otros estudios.
- 3.2 Programa Suplementario de Investigaciones
- 3.3 Tipos de Perforaciones
- 3.3.1 Pozos a cielo abierto
- 3.3.2 Perforaciones a barreno
- 3.3.3 Sondeos
- 3.3.4 Extracción de muestras.
- 3.4 Ensayos
- 3.4.1 Materiales de zona de camino
- 3.4.2 Materiales de yacimientos
- 3.4.3 Agregados comerciales
- 3.4.4 Estudio de fundaciones.

## <u>Capítulo 4</u> Pavimento.

- 4.1 Criterios de Diseño
- 4.1.1 Método
- 4.1.2 Valor soporte de subrasante
- 4.1.3 Tránsito
- 4.1.4 Indice de servicio (AASHTO)
- 4.1.5 Condiciones locales (AASHTO)
- 4.1.6 Equivalencia de materiales.
- 4.2 Componentes del Pavimento
- 4.2.1 Subrasante
- 4.2.2 Recubrimiento (Subrasante mejorada)

- 4.2.3 Sub-base
- 4.2.4 Base
- 4.2.5 Capa superficial.
- 4.3 Análisis de Diseño de Pavimento.
- 4.4 Planilla Resumen de Costos de Pavimento.
- 4.5 Análisis Económico Comparativo de Pavimentos.
- 5 Refuerzo o Reconstrucción de Pavimentos.
- 5.1 Generalidades
- 5.2 Investigación de Condiciones Existentes
- 5.3 Ensayos
- 5.3.1 Ensayos de campo
- 5.3.2 Ensayos de laboratorio

# Capítulo 5 Obra Básica.

- 5.1 Perfil transversal tipo
- 5.2 Estudios hidrológicos e hidráulicos. Plano de cuencas de derrame superficial.
- 5.3 Determinación del derrame máximo superficial. Aplicación de fórmula racional generalizada.
- 5.4 Información sobre napa freática (incluir planilla de alturas de napa freática)
- 5.5 Consideraciones sobre elementos del proyecto no mencionados previamente (barandas, cunetas, recubrimiento de taludes, movimiento de tierra con su planilla respectiva, etc.)

## <u>Capítulo 6</u> Tránsito

- 6.1 Antecedentes y estudios realizados
- 6.2 Consideraciones sobre los factores de expansión considerados para el año

- de diseño, % vehículos comerciales.
- 6.3 Tránsito para año de diseño, giros, cálculo de <u>C</u> Y <u>N</u>
- 6.4 Valores considerados en el estudio del pavimento
- 6.5 Varios.

# <u>Capítulo 7</u> Intersecciones

- 7.1 Consideraciones sobre ubicación, tipo y razones para su elección.
- 7.2 Diseño geométrico, características del vehículo de diseño.
- 7.3 Tránsito a servir por las intersecciones (volumen horario de diseño, porcentaje de vehículos pesados, velocidades de marcha promedio)
- 7.4 Drenaje proyectado para la intersección
- 7.5 Cruces del camino con vías férreas (número de trenes diarios, etc.)

## <u>Capítulo 8</u> Estudio de Costos

- 8.1 Generalidades
- 8.2 Equipos y máquinas. Mano de obra
- 8.3 Análisis de precios
- 8.4 Costos generales y beneficios
- 8.5 Varios: Planillas de costo horario de equipos y materiales comerciales y procedencia.

## <u>Capítulo 9</u> Misceláneas

- 9.1 Análisis y comparación económica de trazados alternativos tratados
- 9.2 Traslado de líneas aéreas y demás servicios públicos. Planos por legajo separado
- 9.3 Varios-Anexos.

# ESPECIFICACIONES, CÓMPUTOS Y PRESUPUESTO

Presentación.

El Profesional presentará un conjunto de especificaciones claras y concisas, que reflejen las condiciones reales del proyecto y que complementen los planos y demás documentos del proyecto para definir correctamente el alcance y el carácter de todos los trabajos que debe efectuar el constructor del proyecto y la forma de pago de los mismos.

El Profesional preparará el tomo de Especificaciones, Cómputos y Presupuesto de acuerdo con el siguiente:

#### Ordenamiento:

- a) Indice
- b) Memoria descriptiva
- c) Pliego general y complementario de condiciones
- d) Pliego complementario de especificaciones
- e) Pliego de especificaciones generales
- f) Cómputos métricos
- g) Presupuesto.

Contenido del Tomo de Especificaciones, Cómputos y Presupuesto.

- Indice.
   Se detallarán todos los elementos del tomo para un fácil manejo del mismo.
- b) Memoria Descriptiva. Información detallada sobre obras a ejecutar para la construcción de Obras Básicas y Pavimento, régimen

de lluvias y temperaturas, descripción de los yacimientos, destino y forma de explotación; información sobre muestras proyectadas y ensayadas; información sobre agua y ensayos realizados; información sobre ubicación de yacimientos y distancias promedio de transporte; existencia de materiales y necesidades de proyecto; todo otro dato que contribuya a aportar mayores elementos de juicio sobre el estudio realizado.

c) Pliego General y Complementario de Condiciones.

El pliego general actualmente en uso por la Dirección será incorporado por referencia en los documentos de licitación para el proyecto. El Profesional recomendará las condiciones complementarias que a su juicio deben incorporarse en los documentos del proyecto, los que tendrán que ser aprobados por la Dirección antes de la incorporación en la documentación.

- d) Pliego Complementario de Especificaciones.
   Será preparado por el Profesional en función de las necesidades específicas del proyecto.
- e) Pliego de Especificaciones Generales. El pliego de especificaciones generales, actualmente en uso por la Dirección, será incorporado por referencia en los documentos de licitación del proyecto.
- f) Cómputos Métricos.

  Los cómputos serán presentados en planillas indicativas del cálculo de cantidades de cada ítem de construcción y de los materiales

necesarios.

g) Presupuesto.

Planilla resumen del costo de construcción por ítem, incluídos gastos generales y beneficios.

#### PRESENTACIÓN PRELIMINAR

1. Planos.

Se presentarán copias de los siguientes elementos:

- a) Carátula
- b) Planimetría general
- c) Perfiles tipo
- d) Panialtimetría de detalle
- e) Planos preliminares aprobados del diseño de las intersecciones
- f) Diagrama de Masas
- g) Perfil edafológico
- h) Planimetría general de yacimientos
- i) Planos de yacimientos

El plano g) deberá ser completo incluyendo todas las perforaciones, ensayos y la determinación de VSR de diseño.

El plano i) podrá no estar completo pero incluirá suficientes datos de exploraciones y ensayos de suelos y materiales para establecer inequívocamente la ubicación general, calidad y cantidad de materiales disponibles.

2. Informe de Ingeniería.

Se presentarán copias del Informe de Ingeniería explicitado en la presentación.

Los capítulos 1; 2; 5; 6 y 7 serán en forma final.

La forma de presentación preliminar para el capítulo 3 y 4 responderá a lo

indicado en el Tomo 4 - Anexo Diseño de Pavimentos Flexibles -Ordenamiento e Instrucciones de los Trabajos Inherentes a Estudios y Proyectos de Caminos.

Los capítulos 8 y 9 serán en forma preliminar. Incluirá lo requerido en 4.4 y 4.5.

No. de copias = 6

3. Especificaciones, Cómputos y Presupuesto.

Se presentarán los cómputos métricos dentro de límites razonables de aproximación como así también el Presupuesto correspondiente.

Las especificaciones complementarias de construcción serán presentadas en borrador y deberán basarse en resultados de ensayos de materiales representativos o mezclas de materiales a usarse en el proyecto.

No. de copias = 5

Queda entendido que las escalas y formatos indicados para la presentación final son valederas para esta presentación preliminar.

#### **INSTRUCTIVO**

#### **DIAGRAMA DE MASAS**

- Transporte de tierras

Cuando las especificaciones especiales indiquen la medición y pago del transporte de tierra, se refiere al que resulta luego de haberse realizado la compensación lateral o transversal para el cual el transporte, por realizarse a una distancia generalmente corta no recibe pago directo, sino que su costo se incluye en el precio de la excavación.

No ocurre lo mismo en los transportes longitudinales resultantes en los cuales las distancias pueden tener magnitudes de significación, y de allí que la Dirección decida incluir su medición y pago en forma independiente. En este caso particular, la unidad de medida *recomendada* es el

hectómetro-metro cúbico (hmm³) o el kilómetro-metro cúbico (kmm³) de acuerdo con la distancia que se considere, aunque también se pueden utilizar otras unidades de medición.

Se distinguen tres distancias de transporte, a saber:

- Distancia media de transporte (D.M.T.), que se define como la distancia existente entre los centros de gravedad del volumen del material en su posición original y después de colocado en el terraplén. Esta distancia será medida a lo largo de la más corta de las vías practicables.
- Distancia común de transporte o de acarreo libre, (D.C.T.), que se define como la distancia que no recibe pago directo, sino que

su costo está incluído en el precio de excavación. Este caso es el más común para compensaciones laterales.

- Distancia excedente de transporte (sobretransporte) (D.E.T.), se define como la diferencia entre la D.M.T. y D.C.T.

El número de hectómetros-metros cúbicos, o kilómetros-metros cúbicos, según la forma de medición elegida, de transporte excedente, se obtendrá efectuando el producto del volumen de material transportado, medido en metros cúbicos en su posición original, por la distancia excedente en hectómetros o kilómetros.

A efectos de poder realizar convenientemente el proyecto de transporte de tierras, es necesario tener un diagrama "limpio" de "masas excedentes" en el cual se hayan eliminado las tierras compensadas transversalmente. Con este diagrama se puede estudiar la compensación longitudinal volumétrica corte-relleno, del mismo modo que la ubicación de los préstamos y desperdicios.

Al respecto se destaca que no siempre la compensación longitudinal es la solución más conveniente, en efecto, hay casos en que puede resultar más económico no transportar un volumen dado de tierra de un corte a un terraplén, sino mejor depositar esa tierra en las proximidades del corte, y excavar un préstamo próximo al terraplén.

De no mediar otras razones de orden técnico-ambientales, deberá resolverse desde el punto de vista económico en base a la relación entre los costos de excavación y transporte. El método de mayor difusión y empleo para el estudio de la compensación longitudinal de tierras y la determinación de las distancias medias de transporte, es el denominado "Método de Masas", que consiste en determinar la curva de los volúmenes.

Esta curva de los volúmenes llamada también Perfil de Momentos, permite efectuar los tanteos precisos para fijar las compensaciones y distancias de transporte económicamente más convenientes.

Se hace notar que para su correcta aplicación a los fines de pago, se deben considerar factores de ajuste en la determinación de los volúmenes de tierras con el propósito de evaluar variables que no son muy bien conocidas ni de fácil determinación. Al respecto se hace referencia al estudio "Diagrama de Masas Racional Generalizado" del Ing. Arturo Jovel R. (hondureño) en el que se analizan los siguientes factores: compactación; limpieza; incrustación; banqueo; subexcavación; reposición reposición subexcavación; banqueo: reposición limpieza y reposición roca.

Además, y no menos importante, es que los diferentes medios de transporte de tierra que se emplean en obra tienen un radio económico de acción, lo que significa que para cada tipo de equipo le corresponde una "horizontal de distribución" de mínimo costo de excavación y transporte. El proyectista no conociendo "a priori" el equipo que se utilizará en la obra, deberá proyectar las horizontales de distribución en base a un equipo ideal que será con el que obtendrá el máximo rendimiento y economía. Generalmente en obra se ajustan las horizontales de distribución de proyecto, de acuerdo con el equipo aprobado que dispone

el Contratista que en la gran mayoría de los casos será distinto del equipo ideal empleado por el proyectista.

Por lo anterior, si se hace uso del Diagrama para fines de medición y pago, el Supervisor debe evaluar en conjunto las variables anteriores para que su juicio sea responsable y realista.

- Propiedades del Diagrama de Masas
- a-. La línea de volúmenes es ascendente para los cortes y descendente para los terraplenes (o lo contrario según decisión del proyectista).
- b-. La ordenada de un punto cualquiera, con relación al eje fundamental de medición que se adopte, mide la suma algebraica de los volúmenes de corte o terraplén desde el origen del mismo eje.
- c-. La propiedad mencionada en el punto (a) puede hacerse extensiva a otra horizontal cualquiera; así: la ordenada de un punto de la línea de volúmenes con relación una horizontal dada, mide la suma de algebraica de los cortes y terraplenes a partir de la sección de encuentro de la línea del diagrama con la citada horizontal.
- d-. En cada punto donde la línea de las áreas corta al eje horizontal, corresponde a un máximo o mínimo en la curva de volúmenes.
- e-. La diferencia entre dos ordenadas con respecto a una horizontal cualquiera mide el volumen de corte o terraplén disponible entre ellas.

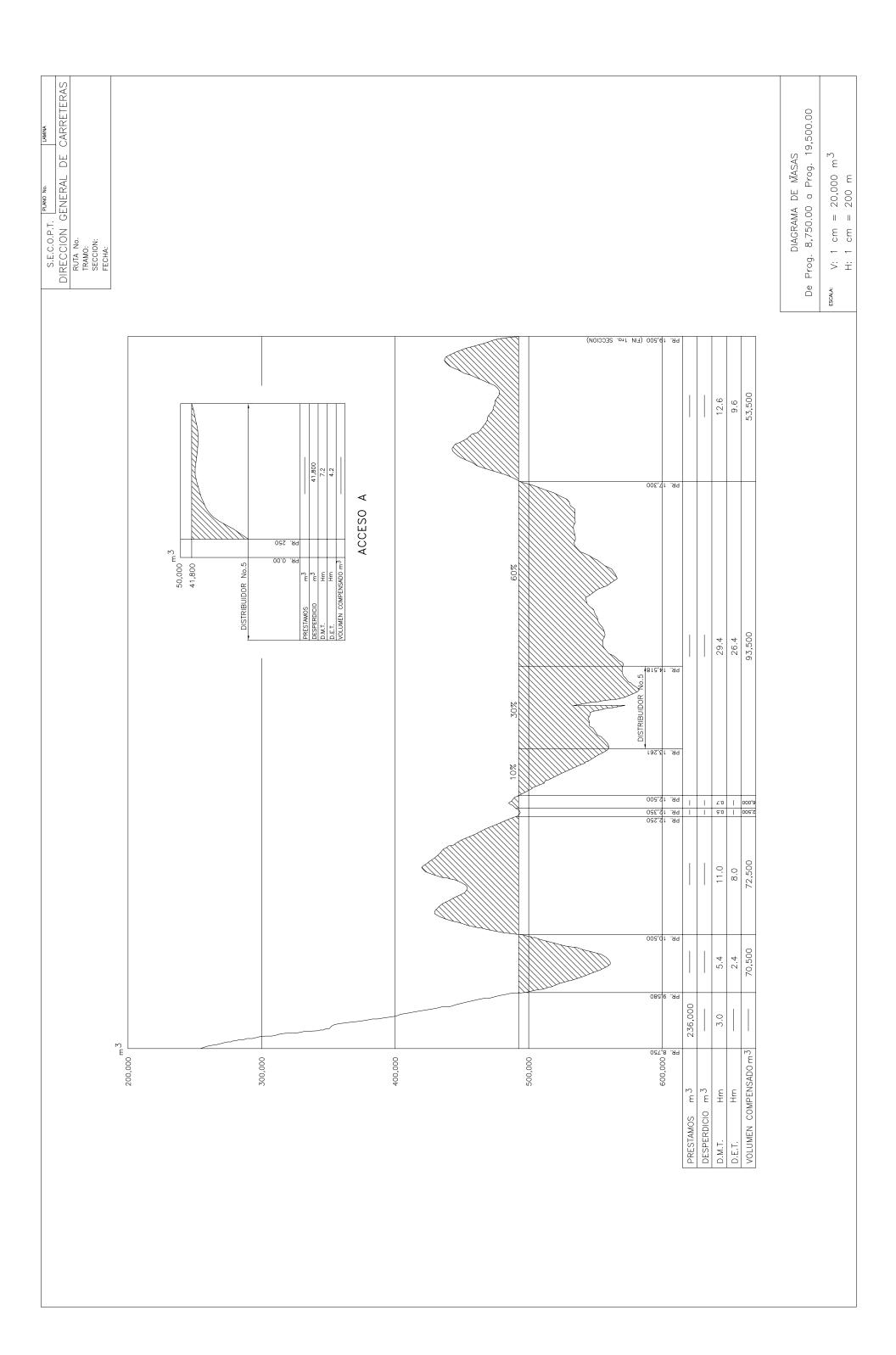
f-. Entre las secciones correspondientes a los puntos de intersección de una horizontal cualquiera con la línea de volúmenes, existe compensación de corte y terraplenes, y el volumen total de tierras a transportar entre las dos secciones será la ordenada máxima con relación a la horizontal considerada.

# Reglas de Corini

- 1) Dado el Diagrama de Masas, se trazará la horizontal correspondiente a la sección extrema. La horizontal de distribución principal deberá estar comprendida entre dicha horizontal extrema y la fundamental.
- 2) Se trazarán si fuera posible diversas horizontales de compensación comprendiendo cada una un monte y un valle de base igual, formado una escala continua creciente o decreciente.
- 3) Cuando no sea posible obtener lo indicado en la regla (2), se trazarán una o más horizontales comprendiendo más montes y más valles, tales que la suma de las bases de los montes sea igual a la suma de las bases de los valles. Si existe más de una horizontal éstas deben formar escalas ascendentes o descendentes.

En la actualidad puede hacerse uso de los programas de movimiento de tierra y de su compensación con lo que se logra optimizar la rasante en forma rápida y económica.

Se adjunta plano modelo de compensación a efectos de ilustración.



# ANEXO "ESTACION TOTAL"

El avance de la tecnología ha traído aparejado el desarrollo de nuevos instrumentales de aplicación en tareas topográficas de levantamiento y replanteo de las obras de ingeniería, entre los que podemos citar a las Estaciones Totales. Estos instrumentos de gran precisión, que hoy han reemplazado el lugar antes ocupado por teodolitos y niveles, son parte del desarrollo impulsado por la inclusión de la informática en la casi totalidad de las áreas de la ingeniería en particular y de las ciencias en general.

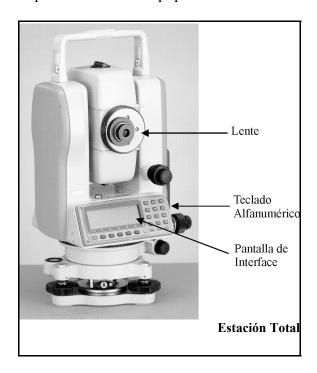
Es posible encontrar en el mercado una gran oferta de marcas y modelos de Estaciones Totales.

Básicamente, la Estación Total es la conjunción dentro de un espacio común de las funciones inherentes al teodolito (medición de ángulos verticales y horizontales) y aquellas propias del nivel, a las cuales se les ha adicionado una pequeña computadora, la que permite gobernar la lectura y registro de los datos de campaña. El equipo se complementa con un prisma que asociado a la mira es el que indica la posición de la misma.

El comando de la computadora se desarrolla a través de un teclado alfanumérico de funciones y una pantalla de reducidas dimensiones, ambos montados al equipo principal. Mediante un cable de interface es posible transferir la información de la Estación Total a una PC y viceversa. La

memoria de almacenamiento de datos varía entre una capacidad de 900 a 10000 puntos de acuerdo al equipo considerado.

La Estación Total puede usarse tanto en tareas de relevamiento como en trabajos de replanteo, estando limitadas estas funciones únicamente al software que tiene implementado cada equipo.

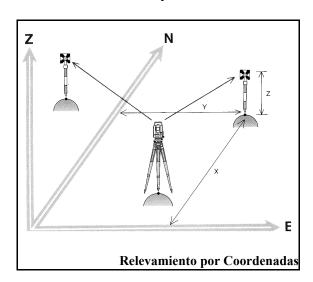


Dentro de las funciones de relevamiento podemos enumerar las siguientes:

## Relevamiento por Coordenadas

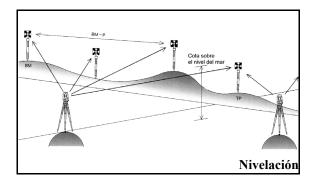
Se posiciona la Estación Total en un punto determinado, llamado Punto Estación (P.E.) de coordenadas conocidas. Apuntando al

prisma ubicado sobre la mira, que sostiene otro operador, el equipo registra las coordenadas cartesianas (N=X, E=Y, Z) de cada uno de los puntos a ser levantados durante el relevamiento. La calidad de la medición está influenciada por la verticalidad de la mira, la que se consigue mediante un nivel de burbuja que se encuentra adosado a la misma. El operador de la Estación Total debe registrar tambien la longitud de la mira de manera que el equipo automáticamente corrija la cota leída, que correponde al prisma, y lo traslade al terreno natural o al objeto medido. La gran ventaja de este tipo de relevamiento es que una vez fijado el instrumento en el Punto Estación y realizadas las operaciones de posicionamiento, que algunos aparatos las realizan automáticamente, es posible levantar una gran cantidad de puntos solo limitada por la visibilidad entre estos y la Estación Total.



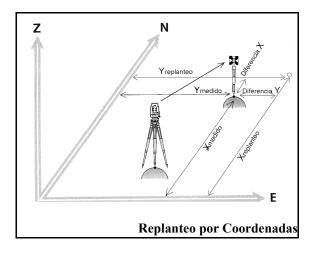
#### Nivelación

La Estación Total posicionada en el Punto Estación, calcula la cota y la distancia entre los puntos pertenecientes al alineamiento que se desea nivelar y un punto de referencia.



## Replanteo por Coordenadas

Se ubica la Estación Total en el Punto Estación e ingresando las coordenadas planimetricas del punto a replantear, el operador del equipo puede guiar mediante handy al ayudante que porta la mira para posicionar exactamente el punto ya que el equipo registra en la pantalla la diferencia de coordenadas entre el punto medido y el punto a ubicar. Cuando las diferencias se hacen cero, la mira se encuentra sobre el punto buscado.



Las funciones descriptas son las más

comunes que toda Estación Total tiene incorporada.

Algunos equipos más sofisticados incluyen otras rutinas que son más especificas.

La utilización de la Estación Total para las tareas de proyecto y replanteo de caminos tiene como consecuencia un aumento de la calidad de los trabajos y una considerable disminución de costos, lo que conduce a un aumento de la productividad.

Como complemento de los equipos de topografía existe software para el diseño de caminos que utiliza como información básica

los datos del levantamiento planialtimétrico realizado con Estación Total y permite generar el modelo digital del terreno triangulando los puntos levantados en campaña mediante algoritmos de afinamiento de mallas. Este modelo a su vez permite el trazado de las curvas de nivel y sobre la base del mismo el proyectista puede realizar los trazados planimetricos y altimétricos.

# CAPÍTULO II GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

#### **GENERALIDADES**

En los estudios y construcciones de carreteras, es de significativa importancia tomar en consideración los estudios geológico - geotécnicos a diferentes niveles, de acuerdo a la categoría de la carretera.

Con tal propósito, se indican en este Capítulo los principales lineamientos, metodologías y posibles recursos a utilizar para la elaboración de los estudios geológico - geotécnicos, que sirvan de información básica-primaria para el diseño preliminar-final y construcción / supervisión de las carreteras.

El seguimiento de los conceptos que contiene este Capítulo contribuirá a uniformar el lenguaje técnico y permitirá a los especialistas en la materia, complementarlo y actualizarlo de acuerdo con las futuras investigaciones, y principalmente en cuanto a las innovaciones que la informática pueda brindar referida a este tema. Del mismo modo, creará la obligación de alcanzar un mínimo requerido.

También se indica la relación de la geología regional tanto Litológica, estructural y tectónicamente, para definir a priori los requerimientos básicos de estudios geológicos en nuevas aperturas de caminos, correlacionando también los sucesos de las carreteras más próximas actualmente en funcionamiento, que brindan información sobre el comportamiento geomecánico de los litotipos diferentes de las rocas en el área.

# GEOLOGÍA REGIONAL DE HONDURAS

La morfología de Honduras es muy accidentada y el paisaje es esencialmente montañoso, a excepción solamente de las llanuras costeras que están en la costa atlántica (Puerto Lempira, Trujillo, la Ceiba, Tela, Puerto Cortés y San Pedro Sula) y la planicie costera del golfo de Fonseca.

Por lo tanto se puede distinguir :

a. Al Norte del país una cadena montañosa con dirección WSW/ENE, parte de las unidades morfotectónicas denominadas SIERRA DEL NORTE DE CENTROAMÉRICA constituida por formaciones metamórficas del Paleozoico y rocas carbonatadas del Mesozoico.

b. Al Noreste (NE) y Sureste (SE) en los Departamentos de Colon, Gracias a Dios,

Olancho y El Paraíso predominan las rocas metamórficas paleozoicas, y algunas rocas intrusivas así como la presencia de rocas sedimentarias carbonatadas cercanas a la zona fronteriza con Nicaragua.

- c. Al Suroeste (SW) en cambio existe una serie de levantamientos y de altiplanos constituidos por las volcanitas del Terciario.
- d. En el extremo sur del país aparece la cadena volcánica del pacífico del Terciario Tardío y zonas pantanosas producidas por las mareas de los esteros, con grandes acumulaciones de sedimentos arcillosos con un alto contenido orgánico al que en el sur se le denomina " ÑANGA ".

#### Tectónica

Honduras está ubicada en la parte occidental de la Placa del Caribe (ver esquema de las placas en anexo) la cual se mueve independientemente entre las dos grandes placas tectónicas continentales de Norte América y Sudamérica, la placa del Caribe se mueve hacia el Este y las dos grandes hacia el Oeste.

El límite norte entre la placa del Caribe y la de América del Norte está marcada por la fosa de Bartlett, mientras que en el sur esta la Placa de Cocos que está en subducción bajo la del Caribe generando la fosa mesoamericana.

En Honduras están definidas las siguientes provincias tectónicas que son las fuentes de sismicidad, las cuales pueden distinguirse en el plano esquemático de las UNIDADES M O R F O T E C T Ó N I C A S D E CENTROAMÉRICA, de Mills et al.1967.

- a. Fallas de Motagua y Polochic teniendo como secundaria de importancia la falla del Merendón en la misma dirección.
- b. La cadena Volcánica del cinturón circunpacífico.
- c. La zona de subducción de la Placa de cocos bajo la del Caribe.
- d. La llamada Depresión de Honduras formadas por una serie de fallas de Horts y Grabens que dieron lugar a la formación geomorfológica de los Valles de Sula, Comayagua y Choluteca (ver esquema tectónico).

# CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS - GEOTÉCNICAS DE ALGUNAS ROCAS EN HONDURAS

## **Esquistos Metamórficos**

- Fácilmente intemperizable tanto química como físicamente.
- Muy erosionable.

- Inestable cuando en un corte de carretera, sus planos de esquistocidad tienen una inclinación favorable al deslizamiento.
- Son casi impermeables lo que trae como consecuencia que en los taludes con gruesos

depósitos de suelos residuales, estos siendo mas permeables, se saturan fácilmente reduciéndose su esfuerzo efectivo entre los granos, produciéndose los corrimientos o deslizamientos.

- Su capacidad de soporte es alta cuando la roca está sana, sin embargo ésta disminuye cuando es intemperizada, lo cual se debe verificar con las pruebas de laboratorio.

## Rocas Carbonatadas: Grupo Yojoa

- Rocas duras cuando tienen poca contaminación arcillosa, por lo que triturada puede ser buena como material de base con ciertos análisis previos de laboratorio en cuanto a su posible reacción química por el efecto de disolución que posee al contacto con aguas con alto contenido de ácido carbónico.
- Como capacidad de soporte se tiene que tener cuidado con su estructura Kárstica por lo que se requieren algunas investigaciones con perforaciones.
- Por su estructura de estratificación y fracturación, sus taludes de los cortes pueden ser inestables dependiendo de la orientación, inclinación, apertura y rugosidad de sus planos.
- Son rocas muy permeables por la conexión de sus estructuras primarias (planos de estratificación) y sus estructuras secundarias (planos de fracturas y los Karts).
- Los taludes en esta roca pueden quedar expuestos dependiendo de la estabilidad de sus estratos y bloques fracturados.

# Rocas Del Grupo Valle De Ángeles

# Formación de lutitas y limolitas.

- Son muy erosionables.
- Son compresibles .
- Son impermeables pero su estructura laminar da lugar a la absorción de agua por lo que son saturables y expandibles.
- Tienen un alto índice de plasticidad por su contenido arcillo-limoso.

#### Rocas Volcánicas

#### **Ignimbritas**

- Trituradas pueden servir para material de base y como agregados para el concreto, teniendo cuidado con las ignimbritas riolíticas muy potásicas por sus reacciones químicas con los componentes químicos del cemento.
- Como rocas duras pueden utilizarse en la construcción de muros de mampostería.
- Tienen excelente capacidad de soporte.

#### **Tobas**

- Las tobas de dureza media a suave son los materiales de roca más conocidos por su gran abundancia en toda la superficie de Honduras, y dadas sus excelentes condiciones y propiedades geomecánicas son las de mayor uso como material selecto para diferentes tipos de rellenos y su facilidad de explotación.

- Tienen muy buena capacidad de soporte.

## Rocas Ígneas Extrusivas (Lavas)

#### **Basaltos**

Son las rocas con mejores propiedades geotécnicas.

- Alto peso específico.
- No presenta ninguna reacción con ningún componente químico principalmente con los del cemento con los cuales tiene que asociarse, por lo que es uno de los mejores materiales para ser usados como agregados para el concreto.

Los basaltos cuaternarios que afloran en los alrededores de Tegucigalpa tienen una estructura laminosa lo cual no es aceptable para su trituración. Su alteración química nos da lugar a procesos de oxidación y descomposición a suelos lateríticos.

#### **Andesitas**

- Son rocas con propiedades similares a los Basaltos pero con mayor facilidad de intemperización química y originalmente fracturada.

## Rocas Ígneas Intrusivas

- Afloran en su mayoría rocas graníticas de alta dureza, granodioritas etc., las cuales generalmente por su exposición en la superficie son de difícil explotación tanto por su dureza como por los accesos, siempre con alguna excepción que de ser posible serán buenos materiales de base y agregados.

#### **Aluviones**

- Son los materiales de mayor uso en los proyectos como agregados para el concreto, ya sean solo tamizados o triturados por su facilidad de explotación en las zonas de depósito de los ríos, descritas anteriormente.

#### ANEXOS:

- Columna Estratigráfica.
- Esquema Unidades Morfotectónicas de Centroamérica
- Esquema de las Placas Tectónicas.

# CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE ALGUNOS TRAMOS CARRETEROS DE HONDURAS¹

Carretera del Sur ( Tramo Tegucigalpa - Pespire ) inicio de la bajada de la pendiente del Cerro de Hula en dirección hacia el sur.

Localización a): tramo que corresponde al

- Situación geológica: este sitio específico

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Se ha tratado de describir tres zonas distintas para que puedan referirse a ellas en trabajos adyacentes con condiciones similares tomando en consideración los mismos tipos de roca.

actualmente en reparación (junio 96), fue fallado debido al deslizamiento del terraplén al ceder el pie del mismo posiblemente por problemas erosivos; existiendo algunos otros sitios similares que se pueden prevenir conociendo la respuesta a lo solucionado en esta zona.

En su mayoría el problema se debe a material detritico localizado sobre los taludes de la montaña, los cuales deben ser previamente identificados y caracterizados, para su remoción total y definir así taludes estables.

#### Posibles soluciones:

Según alternativas económicas y factibles:

- Restitución y protección del pie del talud del terraplén, previa revisión geológica del sitio donde se fundará el mismo, coincidiendo que sea roca in situ estable y no parte de un deslizamiento antiguo.
- Cambio de alineamiento.

**Localización b):** tramo que corresponde a la subida denominada "Cuesta de Moramulca", siendo la zona de mayor inestabilidad.

Situación geológica: esta carretera está conformada en rocas de ambiente volcánico (rocas lavidas, piroclásticas y detritos o depósitos de talud) con un alto grado de fracturación, lo cual las hace inestables.

## Problemas Geológicos:

- Desprendimientos de materiales: Debido a las pendientes de los taludes, y principalmente al estado estructural de las rocas (fracturadas y los detritos o material suelto sobre los taludes), las lluvias son los agentes de desestabilización, que activan los desprendimientos de estos materiales.

## Posibles soluciones:

- a. Ideales:
- Protección con mallas y pernos (sin gunita).
- Muros o cercas de protección al pie del talud, dependiendo de la amplitud del derecho de vía.
- b. Factibles (por el aspecto económico):
- Remoción a mano del material suelto depositado sobre el talud.
- Contracunetas o limpiezas de las ya existentes.
- Señalizaciones como zonas de peligro (principalmente durante la época de lluvias).

# Carretera de Occidente (Tramo La Entrada - Santa Rosa de Copán)

Situación geológica: El ambiente geológico en esta zona esta constituido por rocas sedimentarias de la formación VALLE DE ÁNGELES, formada por una alternancia de lutitas, limolitas y areniscas (ver descripción estratigráfica de está formación y sus características geotécnicas descritas anteriormente).

**Problemas geológicos:** Este tipo de rocas expuestas nos ocasionan problemas de deslizamiento según los siguientes motivos:

- Pueden presentar estratificaciones inclinadas cuyo echado/ buzamiento esté a favor de la pendiente, por lo tanto se vuelve inestable debido a los planos de estratificación cuyos contactos son planos de lubricación o deslizamiento; puede suceder

que se activen con la infiltración de las aguas a través de los planos de estratificación o desestabilizarse al momento del corte al quitarle volumen al pie del talud.

- El estar expuestas sin protección, estas rocas son fácilmente erosionables acarreando gran cantidad de sedimentos que bloquean cunetas y alcantarillas y así mismo llegan a inestabilizar los taludes.
- Al contacto con el agua, su propiedad de alta plasticidad da lugar a dificultades con los trabajos de terracería y a posibles asentamientos en los terraplenes y sus taludes.

## Posibles soluciones:

En taludes

- -Revestimiento de los taludes con materiales de acuerdo a la pendiente:
- a) En cortes se podrían utilizar mallas clavadas y revestivadas con gunita (ver capitulo de estabilidad de taludes).
- b) En taludes de los terraplenes cuya pendiente es más suave, se puede utilizar revestimiento vegetal o material granular hasta enrocado si fuere necesario.
- c) Posibles necesidades de remoción de materiales o capas de rocas hasta volver estable el talud.
- d) Pequeños muros de contención para control de sedimentos en zonas de correderos, etc.
- e) Otras según sea el caso.

- Drenajes superficiales (cunetas) o subterráneos (filtros verticales u horizontales): es sumamente importante evitar o hacer lo posible para que no se infiltre agua en estas rocas expuestas o que escurran agua sobre la superficie de los taludes para evitar las erosiones, las contracunetas deberán estar revestidas con material impermeable.

Es muy importante analizar cada caso para considerar el tipo de talud estable que se necesita según la estructura de la roca (rumbo e inclinación de los estratos, grado de fracturación niveles freaticos, espesores de capas, etc.).

#### Carretera Limones - La Unión - Mame

**Localización:** Carretera que une el departamento de Olancho con Yoro y Colon vía de comunicación de mucha importancia por su acceso al valle del Aguan y al Puerto de Trujillo.

Situación geológica: El tramo Limones - La Unión - casi no presenta problemas geológicos que ocasionen problemas de inestabilidad en la carretera; sin embargo el tramo de La Unión - Mame presenta una variedad de problemas geológicos considerando diferentes tipos de rocas tanto volcanicas como sedimentarias las cuales varían su estructura y por lo tanto su proceso de desestabilización.

## Problemas geológicos:

- Alta erosión de los suelos / roca de muchos taludes expuestos.
- Asolvamiento de las cunetas y por ende las

alcantarillas, lo cual es un grave problema a lo largo de esta sección.

- Asolvamiento de las bermas, muros y gaviones de retención de sedimentos.
- Desprendimientos y deslizamientos activados por:
- Desprendimientos de bloques fracturados y volcados
- Masas de suelos residuales sobre el basamento rocoso del talud.
- Inestabilización por efecto de la erosión.
- Perdida de la cohesión / fricción en los suelos / roca debido al grado de saturación.
- Planos de deslizamientos a través de contactos litológicos entre dos tipos de roca.
- Planos de deslizamiento a través de los planos de estratificación, con inclinaciones favorables al deslizamiento (rocas capas rojas), desestabilizados por el corte al pie del talud y activados por la infiltración de agua entre los planos.
- Taludes muy verticales obligados por la altitud de los cortes en las rocas volcanicas fracturadas, causando desprendimientos.

- Deslizamientos de bloques en cuña.

## **Soluciones Posibles:**

- Limpieza y remoción total de todo el material suelto del suelo/roca en la zona inestable.
- Limpieza de las cunetas (ambos implican un continuo mantenimiento).
- Muros de retención de sedimentos ya sea al pie del deslizamiento o bien en zonas superiores del plano de deslizamiento pero apoyados sobre roca firme.
- Drenaje y subdrenajes tanto superiores como inferiores.
- Finalmente cambios de alineación que pueda quedar una area mayor en el derecho de vía que sirva como berma, sin afectar las cunetas o alcantarillas.
- Controles de erosión en los correderos.
- En las capas rojas expuestas necesariamente hay que protegerlas contra la erosión, con revestimiento con malla con gunita (mortero lanzado a presión), con terminación en la parte superior anclada a la contracuneta.

#### ESTUDIOS BÁSICOS PRELIMINARES

Durante la fase de planeación para la definición del Diseño Geométrico, se desarrollarán los estudios preliminares siguientes.

## Información Disponible

Para efectos de un buen conocimiento básico será importante la obtención de toda la información disponible referente a la

geología-geotecnia del área de estudio, para lo cual se indica seguidamente la mínima información requerida:

- a. Hojas cartográficas de topografía Esc. 1:50.000.
- b. Hojas cartográficas de geología Esc. 1:50.000.
- c. Estratigrafía general de la zona.
- d. Fotografías aéreas 1:20,000 o 1:40,000 o similares.
- e. Estudios anteriores de todas las carreteras y/o caminos vecinales.
- f. Cualquier otro estudio geológico aplicado en otras obras de ingenierías (presas, puentes, etc.).
- g. Dependiendo de la magnitud del estudio o carretera de alta categoría, obtener la información de sismicidad que pueda afectar el área.

### Estudio Geomorfológico

Previo a los levantamientos geológicos será necesario conocer con la ayuda de la carta topográfica, todos los accidentes, fenómenos y estructuras geológicas características del área de estudio (intemperizaciones, tipos de erosiones, mesetas, valles, morfologías de deslizamiento, redes hidrográficas, etc...) que nos pueden adelantar la presencia de ciertos tipos de rocas y posibilidades de existencias de fallamientos y sus orientaciones preferenciales, para una mejor interpretación fotogeológica y una óptima descripción de la geología durante el control de campo.

Por lo tanto será necesario determinar como mínimo lo siguiente:

- Niveles de erosión
- Escarpes y morfologías de deslizamientos
- Redes hidrográficas
- Cuencas y sub-cuencas de drenaje
- Alineamientos estructurales.
- Caracterización de taludes: altitud, pendientes etc.
- Otros

## Estudio Fotogeológico

Mediante el estudio estereoscópico, teniendo ya el conocimiento geomorfológico y los antecedentes geológicos-geotécnicos se pueden obtener como mínimo las siguientes informaciones:

- Posibles tipos de rocas (para tipos de excavaciones y posibles bancos de materiales para préstamos).
- Zonas inestables.
- Zonas erosionables y tipos de cubiertas vegetal, natural y cultivada, clasificándola en cuanto a sus cultivos y productividad se refiere (definir el uso del suelo).
- Fallas, plegamientos, estratificaciones y otras estructuras geológicas.
- Zonas de depósitos aluviales (para los bancos de agregados) y superficies de

inundación.

- Otros.

## Reconocimiento Geológico Superficial

Con los datos de gabinete anteriores se realizará el control de campo en los sitios específicos y accesibles definidos en el estudio fotogeológico.

Por lo tanto durante este recorrido se deberán conocer como mínimo las siguientes características geotécnicas :

- Tipos de rocas y sus contactos litológicos.
- Texturas y estructuras de las rocas.
- Grado de intemperización o meteorización de las rocas.
- Tipos, intensidad y actitud de las fracturas.
- Evidencias de fallas (presencia de rocas cataclásticas, escarpes, desplazamientos de estratos índices, etc.)
- Zonas inestables y sus mecanismos de falla.

## Mapa Geológico

Este mapa deberá mostrar los datos básicos geológicos - geotécnicos que interesen al ingeniero de diseño, como ser :

- Tipos de suelos/roca indicando su dureza para efectos de excavación.
- Las zonas inestables , fallas, deslizamientos, etc.

- Estructuras de las rocas para la definición de los taludes, ej. Dirección y ángulo de inclinación de las estratificaciones, presencia de karsticidades, etc.
- Zonas de rocas de fácil intemperización.
- Contactos geológicos

Ver plano tipo con las simbologías propuestas.

# Informe Geológico

Una vez ejecutadas estas actividades en esta fase se presentará un reporte con las siguientes informaciones mínimas :

- Resumen de las informaciones antecedentes y su relación al área de estudio.
- Datos y resultados del estudio geomorfológico.
- Datos y resultados del estudio fotogeológico.
- Breve descripción de la geología del área .
- Descripción geológica de la(s) ruta(s), extrapolando la información obtenida fotogeológicamente y controlada en los puntos accesibles con afloramientos de rocas, definiendo la factiblidad o no de la(s) alternativa(s) seleccionada(s) y sus problemas geológicos-geotécnicos especiales para la construcción.

Anexos: Mapa geológico.

## Levantamiento Geológico

Una vez seleccionada la ruta más segura y económica se procederá a ejecutar un levantamiento geológico con más detalle y localizaciones topográficas y muestreos en todo lo largo de la línea, actualizando toda la información obtenida en la fase de planeación y ubicándola al detalle en el plano topográfico de la ruta; por lo tanto en este levantamiento se deberán obtener los siguientes datos:

- Definición de los contactos litológicos.
- Clasificación de los tipos de rocas y sus características geotécnicas respectivas (intemperización, fracturamiento, permeabilidades relativas, etc.) para definir los tipo de excavación tanto en las zonas de corte como en los bancos de materiales seleccionados
- Estratigrafía exacta del área para identificar cualquier discontinuidad de la secuencia normal de depósito de las rocas.
- Estabilidad de taludes y otros problemas de inestabilidad, fallas etc.
- En esta fase se podrá hacer uso de calicatas (pozos a cielo abierto) para definir espesores y tipos de suelo tanto en la línea sobre el eje propuesto como en las zona de los taludes y/o bancos de materiales.
- Así también se podrán ejecutar perforaciones con recuperaciones de núcleos en los sitios de estructuras de las obras civiles (puentes, alcantarillas, muros, monitoreo de zonas inestables etc.) para conocer los perfiles geotécnicos de las fundaciones, así

como volúmenes posibles de materiales de los bancos, aprovechando los mismos huecos para la ejecución de las pruebas in situ de capacidad de soporte en forma relativa, mediante las pruebas S.P.T. (ver plano tipo).

- Con estos trabajos de campo, es posible sacar muestras de los distintos tipos de suelos para conocer sus propiedades geotécnicas en el laboratorio, los cuales se definen más adelante.
- Estudio de los sitios de cruces de los ríos, en lo que respecta a la estabilidad del cauce, tendencias erosivas de las corrientes o de depósito de las mismas, conformación de las márgenes y cualquier otra condición particular que afecte la construcción.

## Levantamiento Geofísico Superficial

El levantamiento geofísico superficial más utilizado para estos propósitos es el de Refracción Sísmica, mediante los cuales se obtienen velocidades de las ondas sísmicas de los diversos materiales en el sub suelo, generadas artificialmente desde la superficie hasta profundidades determinadas según las exigencias del proyecto, ya sea por explosivos o por métodos de percusión.

Los principales objetivos de estos estudios son :

- Determinar la configuración de la superficie del basamento rocoso, lo cual nos dirá el posible espesor de los suelos y/o zonas de alteración de la roca, que nos ayudará, a definir la profundidad de las excavaciones.
- Espesores de estratos de rocas.

- Tipos de roca de acuerdo a similitudes de velocidades de ondas caracterizadas en rocas ya conocidas (ver Tabla N°VIII, característico de velocidades para los diferentes materiales).
- Discontinuidades en las rocas (fracturas , fallas, posibles zonas kársticas, etc.)
- Niveles freáticos.

TABLA VIII VELOCIDADES DE ONDAS SÍSMICAS TÍPICAS PARA DIVERSOS MATERIALES (Engineering Geology Field Manual Bureau of Reclamation)

Material	Vel. (pies/seg.)	m/seg.
Limo seco, grava suelta,	600 - 2,500	183 - 762
margas, roca suelta,		
detritos de talud, y los		
sedimentos finos del suelo		
superior o capas de humus		
Arcillas compactas, gravas	2,500 - 7,500	762 - 2,287
abajo del nivel freático,		
suelos arcillo-gravosos		
compactos y cementados,		
arenas y suelos arcillo-arenosos.		
Roca intemperizada, fractu-	2,000 - 10,000	610 - 3,049
rada o parcialmente descom-		
puesta.		
Pizarras sanas resistentes.	2,500 - 11,000	762 - 3,354
Areniscas sólidas.	5,000 - 14,000	1,524 - 4,268
Calizas y Yesos sólidos.	6,000 - 20,000	1,829 - 6,098
Rocas Ígneas sanas sólidas	12,000 - 20,000	3,659 - 6,098
Rocas metamórficas sanas.	10,000 - 16,000	3,049 - 4,878

# Mapa Geológico

Se deberá actualizar el mapa de geología superficial generado en la fase de planeación, dibujándolo sobre el plano topográfico levantado por el proyecto, ubicando con mayor exactitud toda la información de campo obtenida en esta fase:

- Distribución de las rocas en la superficie con sus respectivos contactos litológicos.
- Localización de las estructuras geológicas: Fallas, Deslizamientos, Plegamientos, etc.

- Rumbos e inclinaciones de los estratos y ejes de plegamientos.
- Zonas de erosión, escarpes, cárcavas, planicies de inundación, etc.
- Zonas de depósito de materiales aluviales para los agregados .
- Localización de los Bancos de Préstamos.

Con los perfiles de las calicatas y perforaciones se podrán dibujar algunas secciones geológicas transversales, que nos

ayuden a conocer profundidades de desplante y del lecho rocoso.

## Informe Geológico

El informe respectivo de esta etapa deberá contener una información más concisa, sobre todos los aspectos geotécnicos presentando soluciones que ayuden a definir los problemas de este tema, por lo tanto se considera que el informe debería tener los siguientes datos:

- Breve Descripción de la geología y tectónica del area (ésta dependiendo si en la carretera habrán estructuras que deban ser diseñadas contra sismos).
- Geología del proyecto :

Estratigrafía y Descripción de las rocas.

Caracterización Geotécnica de las rocas del Proyecto

Descripción de los Trabajos de Campo.

Muestreos.

Pruebas in situ, y sus resultados

Análisis de los resultados de Laboratorio.

Descripción y análisis de los bancos de materiales y agregados.

- Tratamientos de inestabilidad de laderas y protección de taludes y sus inclinaciones estables según las características geotécnicas de cada roca.
- ANEXOS .

Perfiles de las calicatas.

Perfiles de las perforaciones.

Interpretaciones gráficas de las pruebas de S.P.T. u otras pruebas similares y su relación con la litología de los sondeos y también con los resultados del laboratorio.

Análisis de Laboratorio.

Mapas y secciones geológicas.

Planos tipo para la protección de los taludes.

#### BIBLIOGRAFÍA

- 1995 Estabilización de taludes; estudio para incorporación de nuevas tecnologías en la construcción de carreteras de Honduras; INTECSA CONASH SEI, S.A.
- 1994 Supervisión de construcción carretera Los Limones - La Unión - Mame. Consorcio ICSA - ACI
- 1993 Informe final de geología y geotecnia programa de desarrollos de los recursos hídricos del Valle de Nacaome; Consorcio CONC.I.L.
- 1991 Informe final "Obras Complementarias Carretera la Unión Mame". Préstamo BID N° 205 / IC HO Consorcio ICSA ACI.
- 1991 Informe final estudio para la reparación de fallas de las carreteras la entrada Copan Ruinas y la entrada Ocotepeque, GABINETE TÉCNICO S.A.

- 1986 Engineering Geology Field Manual, Bureau of Reclamation Denver Co.
- 1984 Mapa geológico de Tegucigalpa proyecto aguas subterráneas para Tegucigalpa y la Montaña el Chile, ITS - LOTTI.
- 1982 Normas VN E66 82; Análisis del tipo y calidad de la roca de los agregados gruesos, División Nacional de Vialidad Argentina.
- 1981 Manual de Carreteras Volumen 3, Sección 3.602 Diseño de la Infraestructura, República de Chile.
- 1981 Estratigrafía del Mesozoico de Honduras; R.C. FINCH
- 1980 Geotecnia y Cimientos II; JIMÉNEZ SALAS ET AL, MADRID ESPAÑA.
- 1974 Earth Manual, 2nd. Edition, Bureau of Reclamation, Denver Co. (Reprinted 1980)
- 1971 SEOP. Dirección Nacional de Vialidad; Normas Puentes. República Argentina.
- 1967 Estratigrafía del Mesozoico de Honduras ; MILLS et al.

# TÉCNICAS DE TRATAMIENTOS GEOLÓGICOS ESPECIALES

#### Introducción

En este capítulo se proponen los diferentes trabajos a realizar y metodologías a emplear para la identificación, prevención o corrección de los problemas geológicos especiales, antes durante y después de la construcción

#### Inestabilidad de Laderas

Nos referiremos a las laderas naturales que puedan ser potencialmente desestabilizadas por los trabajos de construcción de una carretera, por consecuencia de problemas geológicos:

Fallas

# Deslizamientos

Desprendimientos
Bloques en Cuña

Vuelco de Bloques (Toppling)

Para definir el tipo de tratamiento o solución al problema, se tienen que identificar las características: morfológicas, geológicas, geométricas y geotécnicas para clasificar el tipo de inestabilidad y establecer su método correctivo y preferiblemente preventivo.

Seguidamente describimos los diferentes fenómenos geológicos que pueden presentarse y/o ser la causa de estas inestabilidades:

#### **Fallas**

Este concepto de falla es estrictamente geológico, para diferenciarlo de todos aquellos movimientos que han desestabilizado una carretera ya sea en el terraplén o en los taludes propiamente dichos y que también los hemos denominado fallas.

Por lo tanto diremos que *Falla* es una superficie o zona de rompimiento, ya sea plana o curva, ocurrida en "*Las Rocas*" donde se aprecia un desplazamiento.

**Descripción de una falla.** La identificación de una falla se podrá inferir desde los estudios geomorfológicos y fotogeológicos, describiéndose las otras características en el campo, buscando evidencias como:

- Presencia de rocas cataclásticas.
- Conocimiento de la situación estratigráfica en la zona afectada, para investigar ausencias o repetición de estratos.
- Evidentes desplazamientos de estratos guías o índices
- Presencias de escarpes, estriamientos, etc.

Una vez identificada la falla en el sitio, se deberá caracterizar describiendo los datos geotécnicos siguientes :

- Actitud del plano de falla (rumbo e inclinación).
- Abertura y tipo de relleno de la zona de falla
- Cuantificación del desplazamiento (si fuese posible); dependiendo de la naturaleza del proyecto, esto se podrá ejecutar con perforaciones con recuperación de núcleos.
- Estabilidad de los bloques fallados.
- Movimientos de aguas subterráneas, ya sea

identificarlos a través de afloramientos de aguas o bien por monitoreos mediante la instalación de piezómetros.

Conocidos todos estos parámetros anteriores, se podrá identificar el mecanismo de fallamiento.

Mecanismos de fallamiento. Para la definición del mecanismo se hace en función de la clasificación del tipo de falla, (normal inversa, lateral o transcurrente, etc.), infiriendo su posible origen o causa generalmente sísmica, en función de nuestra principales provincias tectónicas de mayor actividad (Las fallas debido al movimiento de las placas tectónicas en la zona Noroccidental y en la zona sur del país desde el océano pacífico).

Para lo anterior hay que hacer uso de los datos históricos y estadísticas de sismicidad en el área y a identificar la posible influencia de esta estructura geológica en el proyecto, y su necesidad o no de su tratamiento, conociendo cuales podrán ser las aceleraciones para la prevenciones sísmicas en los diseños de las estructuras.

**Tratamientos de fallas.** Para estabilizar estas zonas de fallas, se indican seguidamente una serie de metodologías, de acuerdo al tipo de falla y a sus condiciones geotécnicas:

- Localización de drenajes superiores, inferiores o profundos: contracunetas, subdrenajes o drenes perforados respectivamente.
- Impermeabilizaciones de toda la superficie expuesta de la abertura o relleno de la zona de falla, siendo por lo general una área de mayor permeablidad.

- Mejoramiento/consolidación del material de relleno de la zona de falla mediante procesos de inyección a presión de mezclas Agua/Cemento y/o con químicos aditivos.
- Remoción de todo el material fallado.
- Cambio de alineamiento

#### Deslizamientos

Definido como un desplazamiento rápido de una masa de suelo residual o sedimentos adjuntos a una pendiente, en los cuales el centro de gravedad de la masa en movimiento avanza en una dirección hacia abajo y hacia afuera de la ladera.

Como evidencias de un deslizamiento (ver figura Nº 1) podemos citar :

- movimientos de reptación.
- escarpes.
- derrames
- agrietamientos tensionales en la parte superior.
- espesa vegetación por la gran humedad presente debido a ser zonas permeables.

# Tipos de deslizamientos.

Rotacionales:

Estos generan un plano de ruptura generalmente circular y cóncavo, los cuales se producen normalmente en suelos homogéneos, cohesivos (arcillosos) y limoarenosos; suelos residuales y coluviales. (Ej. los deslizamientos que ocurren en la zona del reparto en Tegucigalpa)

Este tipo de deslizamientos son los que ocurren en los rellenos y terraplenes (ver figura Nº 2).

#### Traslacionales:

Son deslizamientos de masa de suelo o roca

heterogéneos cuyas superficies de deslizamiento son planas o irregulares ya sea por contactos geológicos de rocas de diferente resistencia, rocas estratificadas etc. (ver figura N° 3).

Derrames/Flujos/Corrimientos

Son desplazamientos rápidos en forma caótica que se derraman casi en forma de abanico cónico y con material fluidificado.

#### Causas de los deslizamientos:

- Sobrecargas.
- Movimientos de aguas subterráneas.
- Falta de apoyo al pie del talud o ladera.
- Acción erosiva.
- Contactos de roca
- Inclinación de los estratos.

Contactos de Roca. Estos deslizamientos se producen cuando la roca sobreyacente es más dura que la roca subyacente, (ej. estratos arcillosos interestratificados con areniscas, limolitas, etc.), estratos permeables sobre estratos menos permeables los cuales son lubricados cuando se saturan. (ver figura N°4).

**Inclinación de los Estratos.** Cuando los planos de estratificación tienen el echado (inclinación) favorable al deslizamiento, al ser desestabilizados al quitarle alguna masa de apoyo, estos tienden a deslizarse a lo largo del plano de estratificación. (ver figura Nº 5).

**Prevención y corrección de los deslizamientos.** Conocidas las causas y el mecanismo del deslizamiento se puede elegir la medida preventiva o correctiva del movimiento (ver Tabla Nº I).

- Restitución de la masa de apoyo

posiblemente de tipo drenante para protegerla contra la erosión.

- Remoción del material suelto, movido e inestable.
- Control de las aguas superficiales y subterráneas (contracunetas, perforaciones para drenajes, sub-drenajes, etc.)
- Reducción de la carga del suelo/roca, mediante la construcción de bermas con sus drenes ya sean revestidos o no según el tipo de suelo o roca.
- Estructuras de retención al pie del deslizamiento (muros de gaviones, de mampostería, de concreto, de pedraplén, etc.)
- Protección de los taludes:
  - con vegetación
  - revestimiento de gunita (mortero lanzado a presión)

## **Desprendimientos**

Los desprendimientos de rocas se deben a la alta fracturación, o a depósitos de materiales detríticos sobre las laderas que son desequilibrados ya sea por movimientos sísmicos o remoción por cortes de taludes.

Algunos de estos desprendimientos son :

Bloques en cuña. En los macizos de roca fracturada la mayoría de los planos generalmente son ortogonales, que nos dan lugar a bloques, los cuales al ser desestabilizados ya sea en los cortes de talud o cualquier otra excavación, quedan con planos de fractura inclinados hacia la pendiente que se interceptan entre sí, y al

deslizarse queda en el talud una forma de "V" (ver Figura Nº 6).

**Vuelco de bloques (toppling).** Al igual que en el caso anterior; en los macizos de roca fracturada y que se ha descomprimido litostáticamente, forman diaclasas abiertas que dejan los bloques prácticamente sueltos, libres para su desprendimiento por movimiento de cualquier causa (vibraciones sísmicas, lluvias, etc.); (ver Figuras Nº 7,8,9).

## Prevención de los desprendimientos.

- recubrimiento con mallas galvanizadas ancladas con pernos según lo requiera la roca.
- anclajes pasivos (inyectados con mezcla Agua-Cemento) o activos (con resina y con su placa con su respectiva torsión) deteniendo los bloques o estratos de las rocas (ver Figura Nº 5).

#### Estabilidad de taludes

La excavación para conformar la infraestructura del camino, afecta el equilibrio del terreno en varias formas, lo que es fuertemente influido por la inclinación del talud en el corte, las características del suelo natural o roca, y la presencia de aguas subterráneas.

La denominación de taludes de pequeña, mediana o gran altura, así como la clasificación de un terreno en favorable o desfavorable (INTECSA et Al. 1995), deben tomarse de forma genérica, sin la pretensión de establecer una clasificación muy concreta; a modo de orientación pueden tomarse como taludes de pequeña altura: los inferiores a 5.00 mts.; de mediana altura: los que no

sobrepasan los 10.00 mts. y los de gran altura los mayores de 10.00 mts.

Se consideran "suelos favorables" las arenas y gravas escasamente cohesivas, así como las arcillas - arenosas en estado seco o poco contenido de humedad.

Se consideran " suelos desfavorables ", los suelos duros que descansan sobre macizos de rocas altamente fracturada o sobre rocas suaves meteorizadas; las arcillas plásticas, arcillas - limosas, coluviones sobre laderas así como los suelos residuales

#### Análisis de estabilidad de taludes

Para el análisis de la estabilidad de taludes se consideraran los cortes en suelos y en rocas.

#### Taludes de corte en suelo

El cálculo de la pendiente del talud en depósitos naturales, es similar al de los taludes en terraplenes, volviéndose más complejos cuanto más heterogéneo sea el suelo con capas u horizontes de diferentes litologías y más con la presencia de niveles freáticos.

De estos suelos se pueden obtener muestras inalteradas para determinar en laboratorio sus características geotécnicas de manera directa a través de los ensayos conocidos: pruebas de compresión axial, triaxiales drenadas no drenadas, consolidaciones, granulometrías, limites de Atterberg etc.; también a partir de ensayos de campo (S.P.T.; pruebas de carga)

Los parámetros requeridos a obtener son :

- Resistencias máximas a la ruptura.

- Cohesión y ángulo de fricción.
- Presiones máximas efectivas.
- % de humedad.
- % granulométricos.
- Clasificación de los suelos.
- Otros.

Todo esto requiere de un reconocimiento meticuloso y programado por un especialista en Mecánica de suelos, con cuyos datos pueda ejecutar el análisis correspondiente para la definición del talud estable. (En las tablas II Y III, se presentan una serie de varios ensayos de laboratorio y de campo).

En los terrenos denominados suelos desfavorables, que son los que con más frecuencia suelen justificar la realización de cálculos de estabilidad debido a la resistencias al esfuerzo cortante, solo puede determinarse con suma facilidad en los suelos granulares y en arcillas blandas o medias.

Considerando suelos homogéneos iguales a los terraplenes, la tabla VI nos da una orientación preliminar de taludes recomendables y del lado de la seguridad, según la altura y el tipo de suelo.

Se establece que para todo talud mayor de 15 mts., se realice una verificación de la estabilidad, considerando el efecto sísmico y la condición del suelo basal recurriendo a programas específicos de computación.

TABLA VI (manual de carreteras de Chile vol. 3, 1994)

TIPO DE MATERIAL		ALTURA (H.V.)			
	SUP. A 30 M	25 A 30 M	15 A 25 M	INF. A 15 M	
Suelo Granular	2:1	1.75 a : 1	1.5 : 1	1.5:1	
Suelo Fino	-	-	2:1	1.75 : 1	
				(1.5:1)	

Se anexan las tablas IV y V con valores de cohesión y ángulo de rozamiento realizada por el Manual de Diseño de la Marina de los EEUU, y la de Terzaghi & Peck (1948) aplicables a materiales areno-limosos. (INTECSA ET AL. ABRIL 1995).

Con todos estos datos se pueden utilizar cualesquiera de las metodologías de análisis de estabilidad: Fellenius, Janbu, Bishop Morgenstern-Price, Spencer etc. hasta métodos numéricos (elementos finitos, otros modelos matemáticos).

#### Taludes de corte en roca

La proyección de los taludes en rocas es un problema altamente indefinido para su tratamiento matemático por los principios de la mecánica de rocas, en vista que los planos de debilidad (fracturas, planos de estratificación etc.) predeterminan las superficies de deslizamiento.

En el diseño de estos taludes ha predominado el criterio de la experiencia sobre el comportamiento de los cortes en roca de naturaleza similar ubicados en la zona.

Consideramos que la estabilidad de los taludes en las rocas depende exclusivamente de la situación estructural geológica de las rocas (meteorización, fracturación, actitud de

los planos de fractura, actitud de los planos de estratificación, contactos litológicos, fallas etc.), niveles freáticos. Generalmente es muy difícil identificar en las primeras investigaciones de campo el estado estructural de las rocas por la difícultad de los accesos a los afloramientos, por lo que se hace necesario el seguimiento y control geológico de las excavaciones durante la construcción donde se podrán definir con mayor detalles las características geotécnicas.

En forma general se acostumbra que los taludes en roca sean de 1/4 : 1 (H:V) el cual una vez iniciada la excavación se podrá rectificar o confirmar si así lo necesitare. Por lo tanto para la definición de los taludes en roca, será necesario de acuerdo al tipo de roca, de sus propiedades y de sus condiciones geotécnicas identificadas previamente, indicar el mínimo talud a utilizar, el cual podrá ser rectificado una vez iniciada la construcción en la cual se podrán verificar a un mayor detalle las características de la roca.

Para lo anterior, se muestra como una orientación la Tabla N° VII, en la que para cada tipo de roca y sus condiciones en acuerdo a la altura correspondiente, se recomienda un Talud.

Deseamos insistir, que durante el estudio al

caracterizar las rocas, se podrá identificar la inestabilidad potencial durante el corte, para lo cual, se deberán definir los tratamientos respectivos posibles.

## Ejemplo:

- Rocas Estratificadas con echados (inclinaciones) favorables al deslizamiento.

#### Tratamiento:

- Si su echado es sub-vertical a vertical, podrá permitirse que su inclinación coincida con el ángulo de corte del talud.
- Si su echado es sub-horizontal, se tendrán que estabilizar los estratos mediante anclajes activos que fijen los estratos unos a otros, reduciendo las tensiones y las fuerzas de deslizamientos (ver Figura N°5).
- Desprendimiento de Bloques.

Vuelcos (Toppling).

#### Tratamiento:

- Colocación de mallas galvanizadas flexibles y resistentes (posiblemente dobles).

Bloques en Cuña

#### Tratamiento:

- Anclajes: Definida la orientación de los planos de fracturas, el tipo de roca, y sus propiedades geotécnicas (pesos específicos, principalmente para el calculo del peso de la cuña). Se podrá calcular su estabilización según los siguientes análisis:

#### Método Matemático

(Jiménez Salas et. Al. 1981 Geotecnia y Cimientos II)

Fuerzas actuantes: (ver Figura N° 6)

## Fuerzas de Inestabilidad: (S)

- Peso propio de la cuña de la roca  $(W_{\rm e})$ , según su geometría, definida de acuerdo a la inclinación de las litoclasas (diaclasa o fracturas).
- Presión Hidrostática.
- -Aceleración sísmica.

# Fuerzas Resistentes al movimiento: (S<sub>max</sub>)

- Fuerzas originadas por dispositivos de sostenimiento como puntales, bulones, anclajes, etc.
- Fuerzas de rozamiento o Fricción entre los planos de fractura (P<sub>a</sub> + P<sub>b</sub>) tg N, que depende de la rugosidad de los mismos.
- Cohesión (c<sub>A</sub> x A<sub>A</sub> + c<sub>B</sub> x A<sub>B</sub>), que depende del tipo de relleno de las fracturas (se anexa la TABLA IX con valores de c en fracturas).

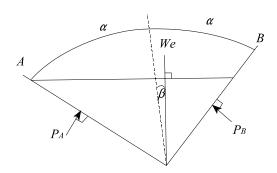
La ecuación de equilibrio:

$$\begin{split} S_{max} &= S \\ S &= W_e \; sen \; \$ \\ S_{max} &= (P_A + P_B) \; tg \; \mathsf{N} + c_A \; x \; A_B + c_B \; x \; A_B \; ). \end{split}$$

Coeficiente de Seguridad :

$$F = \frac{Smax}{S}$$

Puede suceder que el ángulo de rozamiento sea diferente para cada cara.



 $A_A$  = Area cara " A ".  $A_B$  = Area cara " B ".  $c_A$  = cohesión en cara " A ".  $c_B$  = cohesión en cara " B ".

# Método Estereográfico

Una vez ejecutados los trabajos de campo, con las mediciones de los rumbos e inclinaciones de las fracturas, se pueden dibujar estereográficamente los diferentes sistemas de los planos de fracturación, para conocer si se presentan intersecciones entre si que nos indiquen bloques de cuña con buzamientos favorables al deslizamiento.

Mediante éste método se puede conocer el rumbo y buzamiento de la línea de intersección de ambos planos y topográficamente se puede determinar su geometría.

Seguidamente se presenta un ejemplo:

Datos de campo:

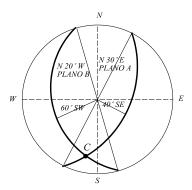
Plano de fractura A: Rumbo: N 30° E

Echado: 40° SE

Plano de fractura B: Rumbo: N 20° W

Echado: 60° SW

#### SEGÚN RED DE SCHMIDT



C = LÍNEA DE CONJUNCIÓN DE LOS PLANOS A Y B RUMBO: S 23 ° W BUZAMIENTO: 35 °

TABLA I: Métodos y sistemas de corrección de inestabilidades en taludes y laderas naturales

TABLA I: Metodos y sistemas de corrección de inestabilidades en taludes y laderas naturales							
	Reducción de la carga superior en la cima						
1. Modificación de la geometría	Recarga del pie						
1. Modificación de la geometria	Construcción de Bermas intermedias						
	Modificación de la inclinación	Modificación de la inclinación					
	2.1 Superficial	Contra cunetas					
	2.2 Semi-superficial	Sub-drenes					
2. Drenaje		Drenes horizontales					
2. Dichaje	2.3 Profundo	Perforaciones drenantes					
	2.3 Plotundo	Galerías					
		Pantallas					
	Sellado de grietas						
	Mallas galvanizadas flexibles						
3. Corrección superficial	Gunita (mortero lanzado a presión)						
	Remoción de material inestable						
	Vegetación						
	4.1 Rígida	Muros de hormigón					
		Anclajes					
4.0. 4. ''	4.2 Semiflexible	Pilotes					
4. Contención		Muros de gaviones					
	4.2 Elassible	Muros de enrocamiento					
	4.3 Flexible	Tierra armada					
5. Mejora de la resistencia del	Inyecciones						
	Jet-grouting						
terreno	Tratamiento térmico						

# TABLA II

ENSAYOS DE LABORATORIO (HUNT, 1984, Cortesía de M° GRAW - HILL)					
Ensayo	Parámetros medidos	Comentarios			
Compresión triaxial					
CD	c', n'	Mejor método para valorar las resistencias en presiones efectivas			
CU	с, П, с', П'	Valores resistentes ligeramente superiores a la realidad a causa de la disminución de la T hasta la preconsolidación			
UU	$S_u$	Valor de laboratorio más representativo de la resistencia al corte sin drenaje			
Corte directo	c', n', n' <sub>r</sub>	El mejor método para valorar la resistencia residual. En arenas flojas los valores son ligeramente inferiores a los deducidos del triaxial.			
Compresión simple	$q_u = 2 \cdot S_u$	Valores normalmente más bajos que la realidad.			
Penetrómetro de bolsillo	$q_u = 2 \cdot S_u$	Válido para poseer unos índices de resistencia orientativos.			

TABLA III

ENSAYOS DE LABORATORIO (HUNT, 1984, Cortesía de Mº GRAW - HILL)					
Ensayo	Parámetros medidos	Comentarios			
Molinete	$S_u$	No olvidar la posible anisotropía del material			
SPT	n'	Se suele estimar primero la densidad relativa $(D_r)$			
(N)	(indirectamente)	para luego correlacionar con n'			
	$S_u$	Se determina la consistencia a partir de $N$ , para obtener $q_n$ , resistencia a la compresión simple, en			
		función de la plasticidad			
CPT	n'	Poco utilizado en España. Hay correlaciones			
$(q_{c})$		empíricas para obtener los valores deseados.			
	$S_u$				
Borros	$n', S_u$	El valor de $N_B$ se correlaciona con el $N$ del SPT y se			
$(N_B)$	-	utilizan relaciones estimadas			
Ensavo corte "in situ"	S., c', n'	Caro pero con resultados de muy buena calidad			

TABLA IV

PROPIEDADES TÍPICAS DE SUELOS COMPACTADOS (NAVFAC, 1971)						
Símbolo	Tipo de suelo	Cohesión	Cohesión	Ángulo de roza-	tg <i>n'</i>	
del	•	(compactado)	(saturado)	miento interno	O	
grupo		t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	efectivo n' (grados)		
GW	Gravas bien graduadas, mezclas de	0	0	> 38°	> 0.79	
	grava y de arena					
GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y de arena	0	0	> 37°	> 0.74	
GM	Gravas limosas, mezclas de grava- arena-limo mal graduadas			> 34°	> 0.67	
GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava- arena-arcilla mal graduadas			> 31°	> 0.60	
SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava	0	0	38°	0.79	
SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava	0	0	37°	0.74	
SM	Arenas limosas, mezclas de arena-limo mal graduadas	5.13	2.05	34°	0.67	
SM-SC	Mezclas de arena-limo-arcilla con finos poco plásticos	5.13	1.46	33°	0.66	
SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena- arcilla	7.57	1.12	31°	0.6	
ML	Limos inorgánicos y arcillosos	6.83	0.93	32°	0.62	
ML-CL	Mezcla de limo inorgánico y arcilla	6.59	2.24	32°	0.62	
CL	Arcillas inorgánicas poco plásticas o de plasticidad mediana	8.79	1.32	28°	0.54	
OL	Limos orgánicos y arcillas limosas	-	-	-	-	
МН	orgánicas poco plásticas Limos arcillosos inorgánicos, suelos limosos	7.32	2.05	25°	0.47	
СН	Arcillas inorgánicas muy plásticas	10.5	1.12	19°	0.35	
OH	Arcillas orgánicas y limosas	-	-	-	_	

TABLA V

# VALORES REPRESENTATIVOS DE N' PARA ARENAS Y LIMOS (TERZAGHI Y PECK, 1948)

Materiales	n' (grados)		
	Suelto	Denso	
Arena, granos redondos, uniformes	27.5	34	
Arena, granos angulares, bien graduados	33	45	
Gravas arenosas	35	50	
Arena limosa	27-33	30-34	
Limo inorgánico	27-30	30-35	

TARLA	VIII TAI	LIDES DE	CORTE	EN ROCA

s	Talud (H:V) para V = altura indicada		indicada	Observaciones	
	< 5 m	5 a 10 m	10 a 15 m	> 15 m	
ÍGNEAS					
1. Granito y Diorita					
a) Sano y masivo	1/4:1	1/4:1	1/4:1	1/4:1	Tender talud en coronamiento 1/2 : 1
b) Sano fisurado en bloques	1/4:1	1/4:1	1/2:1	1/2:1	Sellar fisuras talud
c) Exfoliado. Grandes bloques empacados en arena	1/2 : 1	3/4:1	3/4:1	3/4:1	
d) Exfoliado. Grandes bloques empacados en arcilla arenosa	1/2 : 1	S 3/4 : 1 I 1/2 : 1	S 3/4 : 1 I 1/2 : 1	3/4 : 1	Disponer banco de 2 a 3 m de ancho altura pavimento para H > 5 m
e) Totalmente intemperizado	3/4:1	S 1 : 1 I 3/4 : 1	1:1	1:1	Si el producto intemperización es arena, proyectar bancos de 1 m con H < 15 m y de 3 m si H > 15 m
2. Andesita					
a) Fisurada, sin alteración	1/4:1	1/4 : 1	1/4:1	1/4 : 1	Sellar fisuras talud
b) Fracturada, poco alterada	1/4 : 1	1/2 : 1	1/2 : 1	S 3/4 : 1 I 1/2 : 1	Banco 4 m en cambio talud si parte inferior corte no contiene arcilla en las fracturas
c) Fracturada y alterada	1/2:1	3/4:1	3/4:1	3/4:1	Tender talud en coronamiento 1 : 1
3. Basalto					
a) Fracturado sano	1/4:1	1/4:1	1/4:1	1/4 : 1	Tender talud en coronamiento 1/2 : 1
b) Fracturado en bloques de todos tamaños	1/2:1	1/2:1	S 1 : 1 I 1/2 : 1		Si los fragmentos están empacados en arcilla firme y no hay flujo agua
c) Fracturado y muy intemperizado	1/2 : 1	1/2 : 1	3/4:1	3/4 : 1	En zona lluviosa colocar banco de 2 m con H < 15 m y de 3 m con H > 15 m en pie talud

TABLA VII (Continuación)	< 5 m	5 a 10 m	10 a 15 m	> 15 m	Observaciones
SEDIMENTARIAS					
1. Conglomerado y Brechas					
a) Bien cementado con matriz silicosa o calcárea	1/8:1	1/4 : 1	1/4 : 1	1/4 : 1	Sellar fisuras talud eliminando los fragmentos sueltos
b) Pobremente aglomerado con matriz arcillosa	1/2 : 1	3/4:1	S 1 : 1 I 3/4 : 1	S 1 : 1 I 3/4 : 1	Si matriz está saturada o sometida a cambios fuertes de humedad colocar banco de 4 m en cambio talud
2. Arenisca					
a) Sana. Fuerte cementación	1/4:1	1/4 : 1	1/4 : 1	1/4 : 1	Tender talud en coronamiento 3/4 : 1
b) Poco cementada, muy alterada y con flujos de agua	1/4 : 1	1/4 : 1	1/2 : 1	S 3/4 : 1 I 1/2 : 1	Tender talud en coronamiento 1 : 1
3. Caliza y pizarra **					
a) Sana con estratificación gruesa o mal definida	1/8:1	1/4 : 1	1/4 : 1	1/4:1	Tender talud en coronamiento 1 : 1
b) Sana con estratificación fina o a favor del corte	1/4:1	1/2 : 1	1/2:1	S 3/4 : 1 I 1/2 : 1	
c) Intemperizada con flujo de agua	1/2:1	3/4:1	3/4:1	3/4:1	Proyectar subdrenaje y cunetas impermeabilizadas
d) Intemperizada y muy fracturada	3/4:1	3/4:1	S 1 : 1 I 3/4 : 1	S 1 : 1 I 3/4 : 1	Contrafoso impermeabilizado
4. Lutitas					
a) Dura y resistente, poco fracturada con estrato casi horizontal	1/4 : 1	1/4 : 1	1/4:1	S 1/2 : 1 I 1/4 : 1	Tender talud en coronamiento 3/4 : 1 y colocar contrafoso impermeable
b) Suave de resistencia media y muy fracturada	1/2 : 1	3/4 : 1	3/4:1	S 1 : 1 I 3/4 : 1	Tender talud en coronamiento 1 : 1 y contrafoso impermeable
METAMÓRFICAS					
Gneiss, Cuarcitas, Mármol	1/4 : 1	1/4 : 1	S 1/2 : 1 I 1/4 : 1	1/2 : 1	Tender talud en coronamiento 3/4 : 1

Abreviaturas (TABLA VII):

<sup>1)</sup> Tender talud en coronamiento cuando la roca está muy intemperizada en ésta parte.

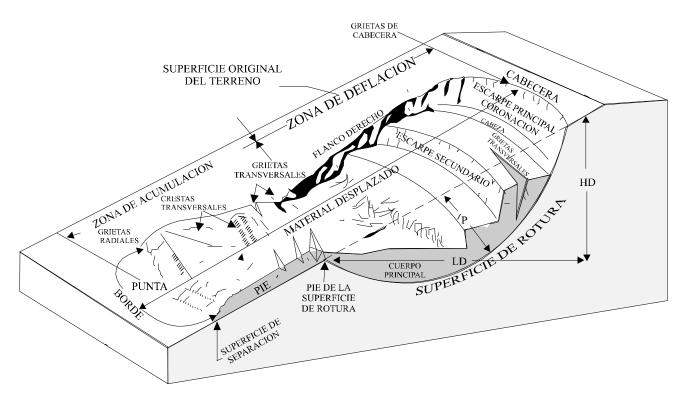
<sup>2)</sup> S = Talud en 0.5 H superior

<sup>3)</sup> I = Talud en 0.5 H inferior

<sup>\*\*</sup> Comportamiento de las pizarras que es roca metamórfica se asimila al de las calizas

# TABLA IX

Orden de Magnitud de Valores de Cohesión en Juntas/Fracturas en Masas de Rocas (Hock & Bray 1974)	C <sub>j</sub> (psi)	C <sub>j</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
Suelo	<56	<4
Roca suave intemperizada o discontinuidades en roca dura	56 - 140	4 - 10
Masas de roca dura fracturada, disturbada por explosivos	140 - 280	10 - 20
Masas de roca suave fracturada no disturbada	280 - 420	20 - 30
Masas de roca dura no disturbada	420	30



EVIDENCIAS DE UN DESLIZAMIENTO

## FIGURA 1

### FALLAS ROTACIONALES

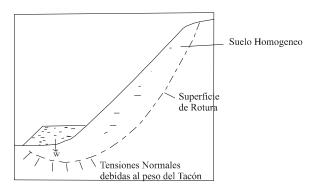


FIGURA 2a

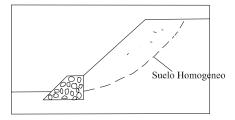


FIGURA 2b

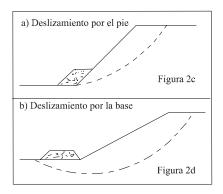
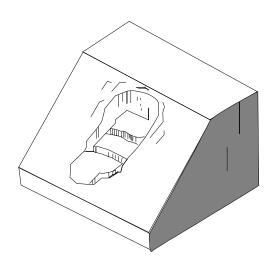


FIGURA 2

Geología y Geotecnia Diciembre, 1996

## FALLA CONCOIDAL



FALLA TRANSLACIONAL

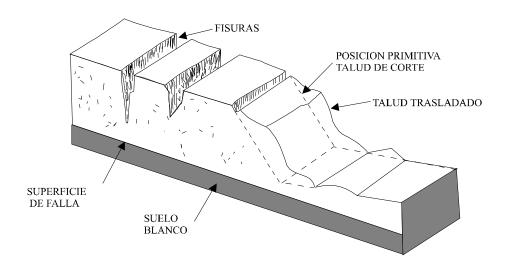
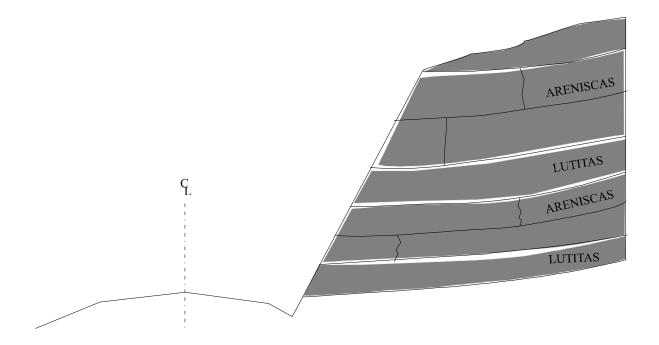
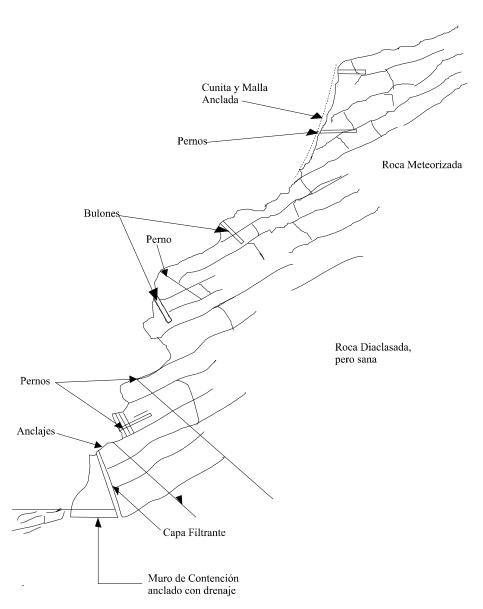


FIGURA 3



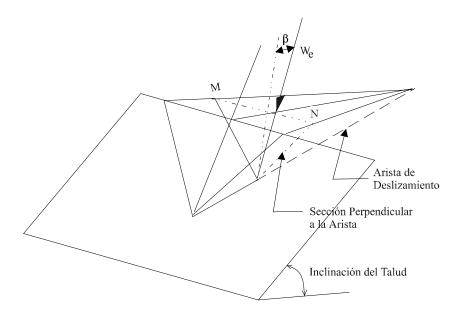
DESLIZAMIENTOS POTENCIALES POR CONTACTOS LITOLÓGICOS FIGURA 4

Geología y Geotecnia Diciembre, 1996

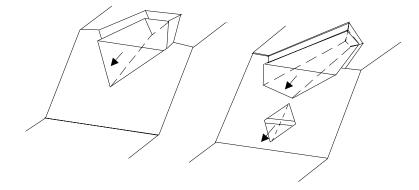


ROCA CON ESTRATIFICACION FAVORABLE AL DESLIZAMIENTO

FIGURA 5



Fuerzas Actuantes en Cuña Inestable



Bloques en Cuña

FIGURA 6

Geología y Geotecnia Diciembre, 1996

## CALCULO DE ESTABILIDAD AL DESLIZAMIENTO

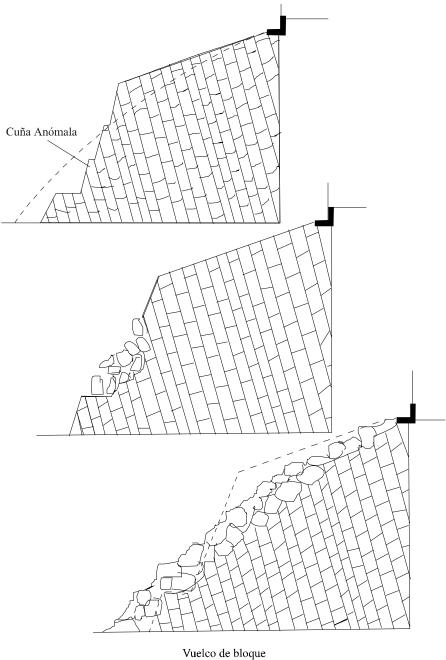


FIGURA 7

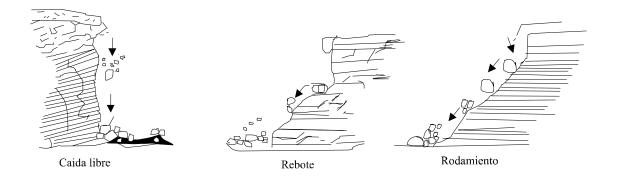


FIGURA 8

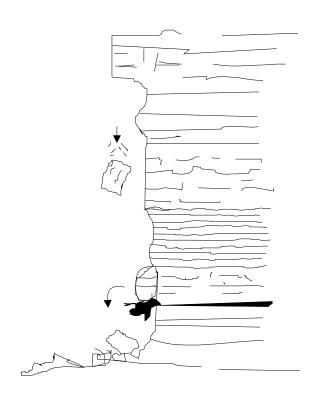
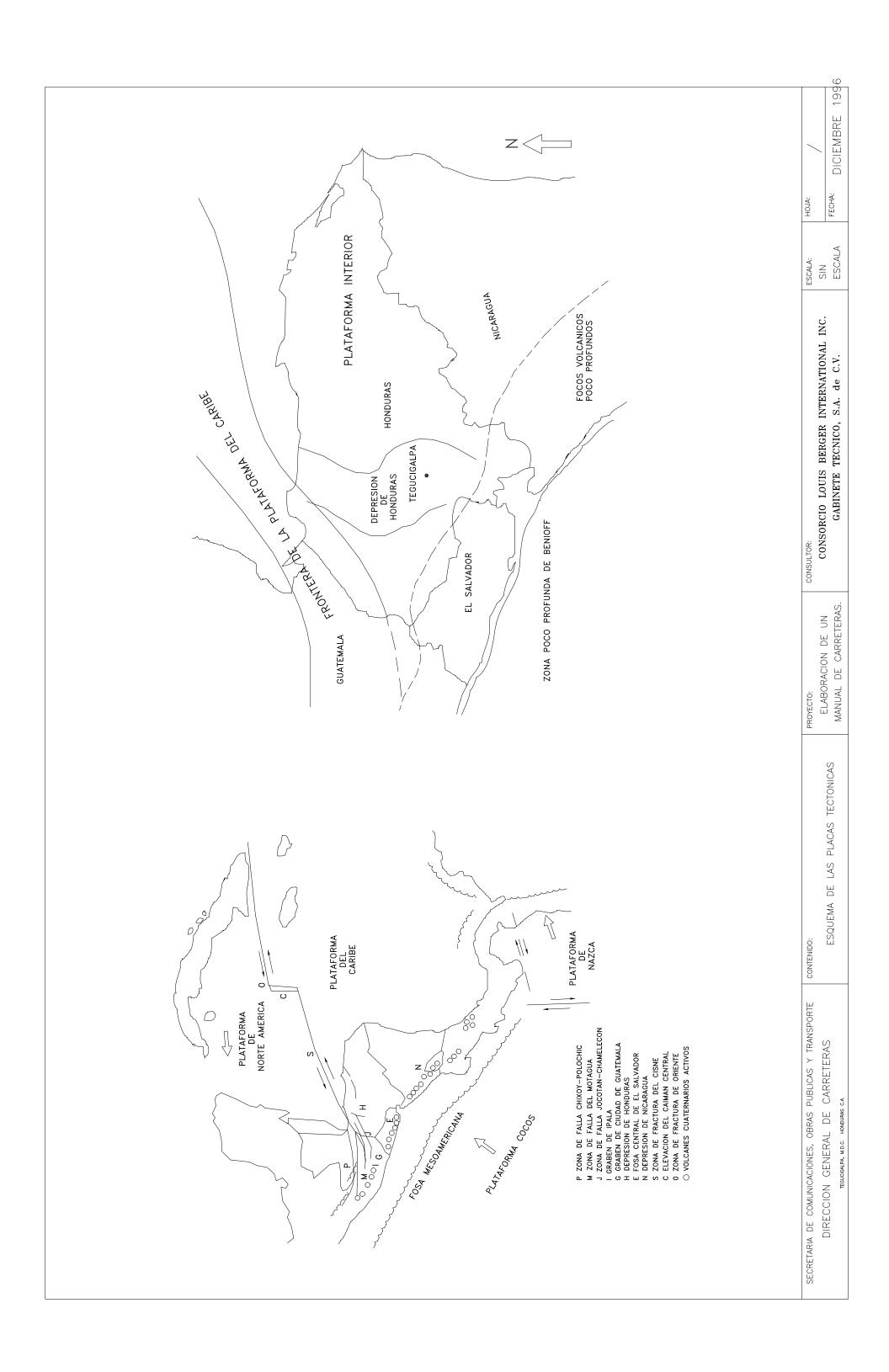
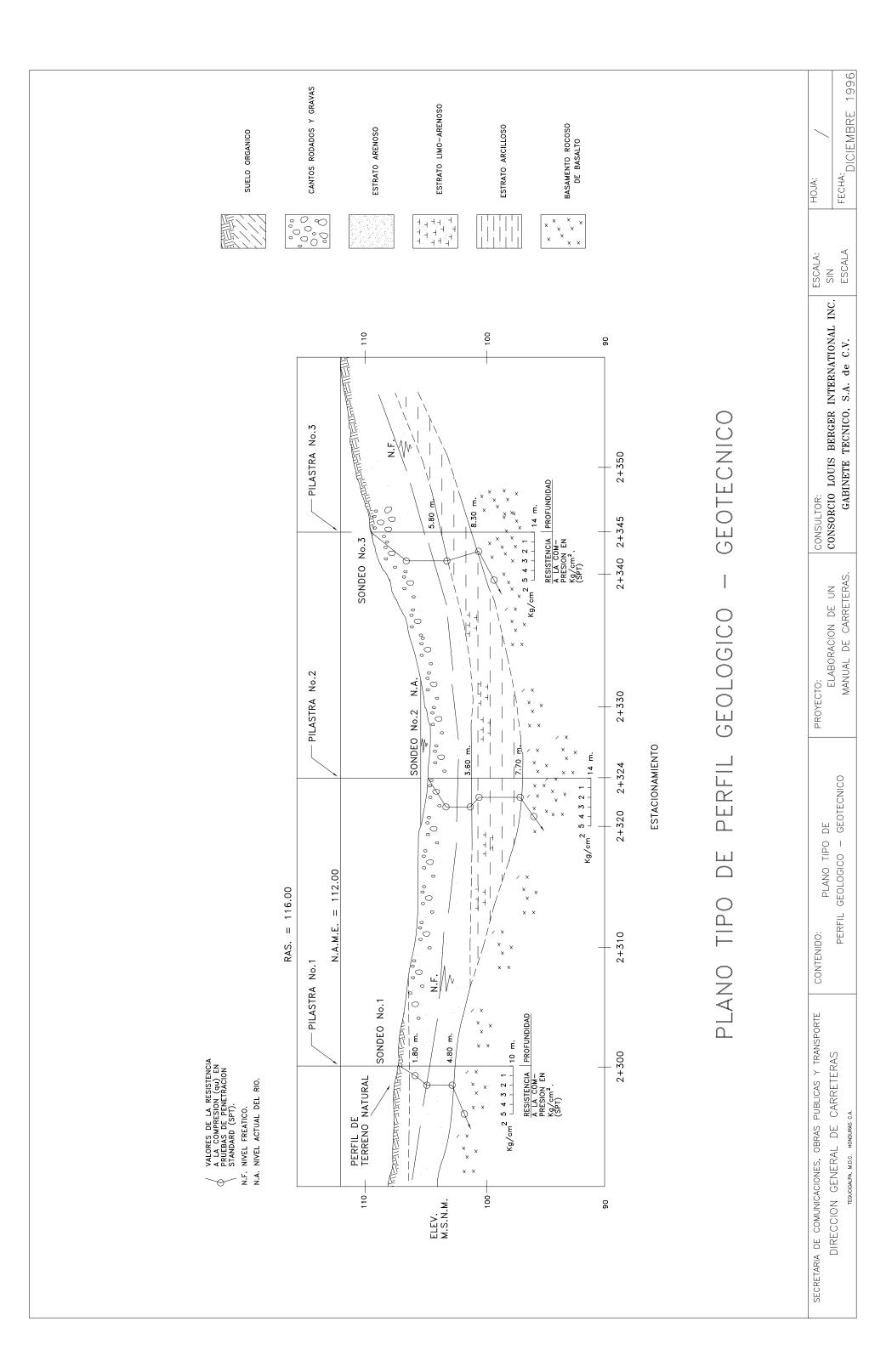
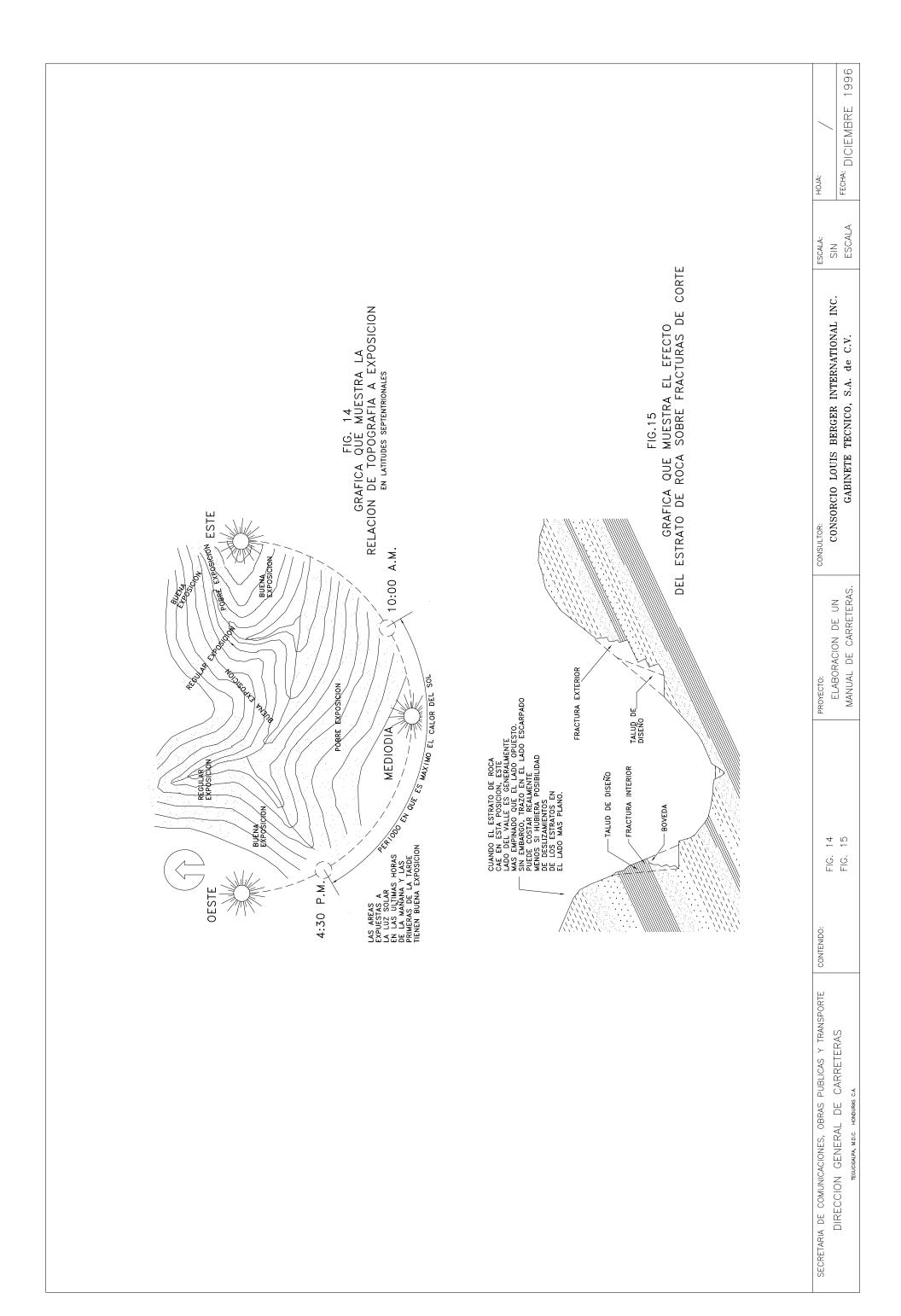
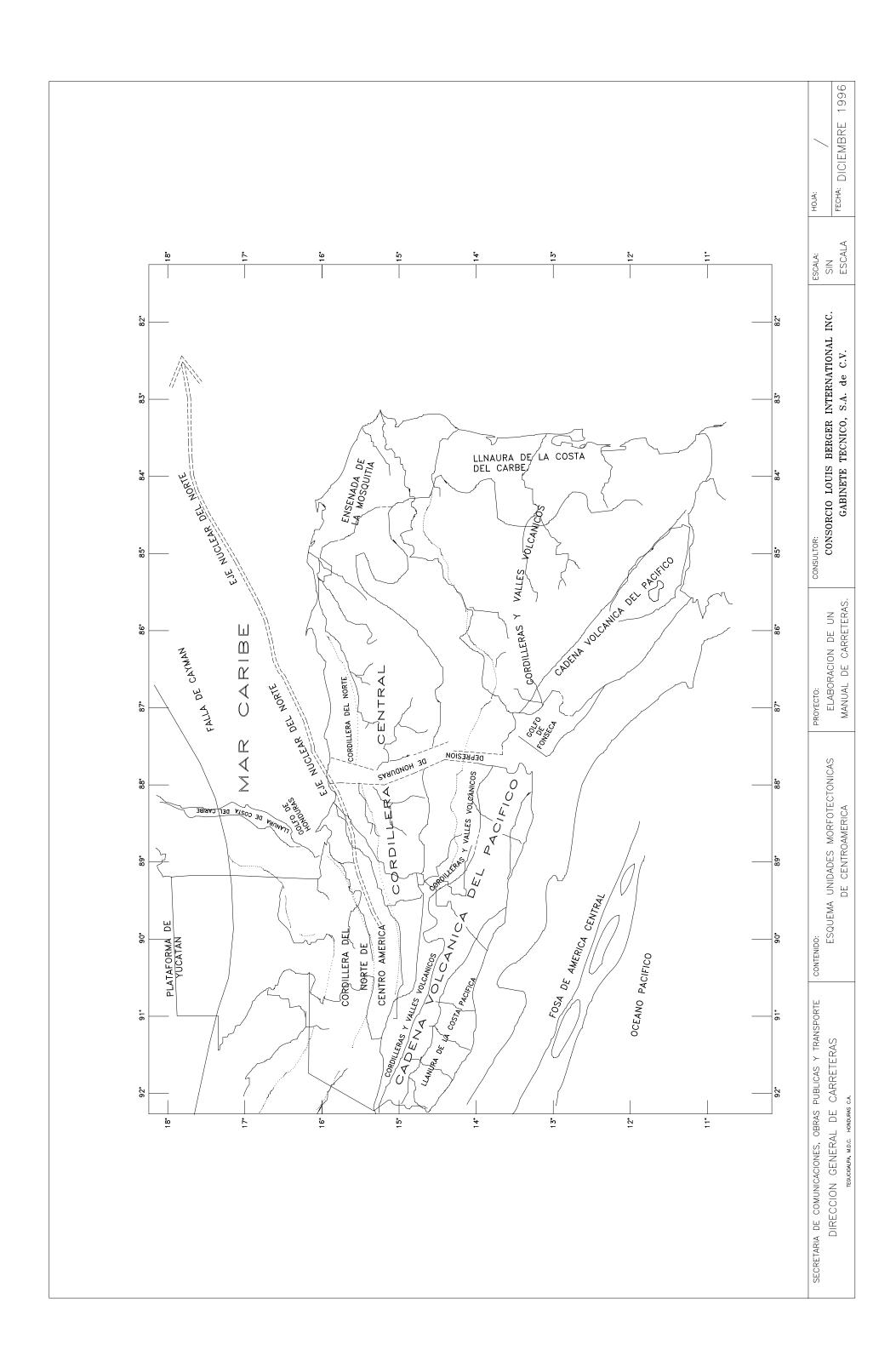


FIGURA 9









SISTEMA	SERIE/ETAPAS	HONDURAS OCCIDENTE Y CENTRAL	HONDURAS ORIENTE
0 4 4 4	HOLOCENO	ALUVION	ALUVION FM.
CUALERNARIO	PLEISTOCENO	BASALTOS	BRAGMAN'S BLUFF
	PLICENO	FM. GRACIAS	3,000
	MIOCENO	FM. GR PADRE	VOLCANICAS
TERCIARIO	OLIGOCENO	$\neg$	
	EOCENO	FM. MATAGALPA	
	PALEOCENO		
	MAASTRICHTIANO		~~
	CAMPANIANO	CAPAS ROJAS	ROCAS Proceed FM.
	SANTONIANO		\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\
o E E	CONIACIANO	DE FM.	_;_;_;_;
	TURONIANO	GUARE	GRUPO
) )	CENOMANIANO	FM. JAITI	VALLE DE ANGELES
AT:		CAPAS ROJAS U INFERIORES	
	ALBIANO	AOLO	
—— ЯОІ	APTIANO	人 L. MOCHITO	GRUPO
 FER	BARREMIANO	S. C.	
NI	HAUTERIVIANO	S CANIARANAS	
	VALANGINIANO		
	BERRIASIANO	SILICLASTICA SIN NOMBRE	GRUPO
	superior	н ଧ:	HONDURAS
JURASICO	medio	G FM. FM. AGUA FRIA ∫ EL PLAN	
	inferior		
PALEOZOICO		ESQUISTOS CACAGUAPA	ESQUISTOS CACAGUAPA

COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE HONDURAS CONTENIDO: SECRETARIA DE COMUNICACIONES, OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS

TEGUCIGALPA, M.D.C. HONDURAS C.A.

PROYECTO: ELABORACION DE UN MANUAL DE CARRETERAS.

CONSOLTOR:

CONSORCIO LOUIS BERGER INTERNATIONAL INC.

GABINETE TECNICO, S.A. de C.V.

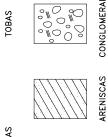
FECHA: DICIEMBRE 1996 HOJA: ESCALA: SIN ESCALA

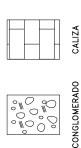
## SIMBOLOGIA GEOLOGICA DEL TIPO DE ROCAS

## LIMO-ARCILLOSO LIMO-ARENOSO GRANODIORITAS QNIMBRITAS 414 141 414 414 414 414 414 414 GRANITOS ALUVION ANDESITAS ARENOSO < < < < BASALTOS LIMOSO RIODACITAS ARCILLOSO CAPA HUMUS RIOLITAS **PIROCLASTICAS** ROCAS IGNEAS SUELOS ROCAS

GABROS



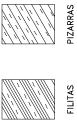








MARGA



||| ||| *[[[* 

LIMOLITAS

LUTITAS

SEDIMENTARIAS

ROCAS

MILONITAS

CUARZITAS

MARMOL

ESQUISTOS

GNEISS

METAMORFICAS

ROCAS

000

ESTRUCTURAS

DE ROCA





RACTURADA

CLASTICO

ESTRATIFICADA

LAMINAR

COLUMNAR

FLUIDAL

VESICULAR

# SIMBOLOGIA GEOLOGICA ESTRUCTURAL EN PLANOS GEOLOGICOS



CONTACTOS LITOLOGICOS

ANTICLINALES

SINCLINALES

4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4

RUMBOS Y ECHADOS DE PLANOS INCLINADOS PLANOS DE ESTRATIFICACION VERTICALES

30°=ECHADO 20°=RUMBO

PLANOS DE ESTRATIFICACION HORIZONTALES RUMBOS Y ECHADOS PLANOS DE FRACTURA

PLANOS DE FRACTURAS VERTICALES

.06 ×× 45°

PLANOS DE FRACTURAS HORIZONTALES

FALLAS CONFIRMADAS

FALLAS INFERIDAS

FALLA NORMAL

FALLA INVERSA

-

**//** 

FALLA LATERAL/TRANSCURRENCIA

ESCARPE DE DESLIZAMIENTO

ZONA DE ALTERACION

SECRETARIA DE COMUNICACIONES, OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS TEGUCIGALPA, M.D.C. HONDURAS C.A.

CONTENIDO

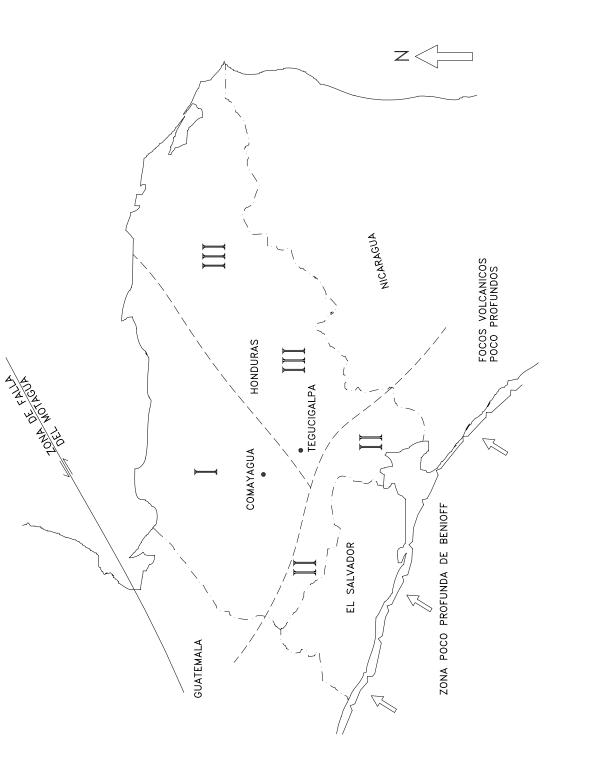
PLANOS GEOLOGICOS SIMBOLOGIAS DE

MANUAL DE CARRETERAS. ELABORACION DE UN PROYECTO:

CONSORCIO LOUIS BERGER INTERNATIONAL INC. GABINETE TECNICO, S.A. de C.V.

ESCALA: SIN

1996 FECHA: DICIEMBRE



ZONA	SISMO MAXIMO ESCALA MODIFICADA	ACELERACION SISMICA RECOMENDADA
I	7.5	0.15g
II	0.9	0.109
Ш	<4.0	0.059

ZONAS DE RIESGOS SISMICOS EN HONDURAS FACTORES ESTIMADOS PARA DISEÑO EN ESTRUCTURAS DE LAS CARRETERAS.

SECRETARIA DE COMUNICACIONES, OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS

ZONAS DE RIESGO SISMICOS EN HONDURAS CONTENIDO:

ELABORACION DE UN MANUAL DE CARRETERAS. PROYECTO:

CONSORCIO LOUIS BERGER INTERNATIONAL INC. GABINETE TECNICO, S.A. de C.V.

escala: SIN ESCALA

HOJA:

FECHA: DICIEMBRE 1996

