



---

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

Diseño y planificación del proyecto de apertura  
de carretera de la Aldea Chica Zapote a  
Aldea Peña, San Miguel Ixtahuacán, San Marcos

Erik Hens Tzicap López

Asesorado por Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta

Guatemala, febrero de 2004



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO DE APERTURA  
DE CARRETERA DE LA ALDEA CHICA ZAPOTE A ALDEA PEÑA,  
SAN MIGUEL IXTAHUACÁN, SAN MARCOS

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**ERIK HENS TZICAP LÓPEZ**

ASESORADO POR ING. MANUEL ALFREDO ARRIVILLAGA OCHAETA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2004



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

### NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II:	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III:	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV:	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V:	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

### TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR:	Ing. Luis Alfaro Véliz
EXAMINADOR:	Ing. Juan Merck Cos
EXAMINADOR:	Ing. Carlos Salvador Gordillo
SECRETARIO:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco



## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### DISEÑO Y PLANIFICACION DEL PROYECTO DE APERTURA DE CARRETERA DE LA ALDEA CHICA ZAPOTE A ALDEA PEÑA, SAN MIGUEL IXTAHUACÁN, SAN MARCOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 22 de septiembre de 2003.

Erik Hens Tzicap López



## **ACTO QUE DEDICO A**

**DIOS:** Por darme la vida, llevarme en sus brazos de amor, darme la sabiduría para llegar a la meta y estar en sus caminos. Gracias PADRE CELESTIAL.

**MIS ABUELOS:** Mamita Ana (Q.P.D), papito Carlos (Q.P.D), papá Chepe (Q.P.D), mamá Flora, por sus consejos.

**MIS PADRES:** Manuel y Guadalupe, gracias por confiar en el logro de mi triunfo, por el apoyo incondicional hasta este momento, únicamente quiero decirles que los amo.

**MI ESPOSA:** Wendy Melissa, por estar conmigo en todo momento. Te amo querida esposa.

**MI HIJO:** Erick Alexander, este triunfo es un regalo para ti con todo amor.

**MIS HERMANOS:** Byron Aparicio, Manuel Daniel, Lily Yesenia, Paola Maribel, como un ejemplo para ustedes, sigamos cosechando y compartiendo éxitos en nuestras vidas.

**MI SOBRINA:** Yoselin Jocabed, para ti un regalo en la distancia, que Dios te bendiga.

**MI FAMILIA EN GENERAL:** Por sus consejos.

**EN ESPECIAL A:** Señora Ruth Rodríguez, por sus sabias enseñanzas, a Ing. Marlon Rodas, por su ayuda incondicional en el inicio de mi vida profesional.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
HIPÓTESIS	XVIII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. MONOGRAFÍA DE LA ALDEA CHICA ZAPOTE Y ALDEA PEÑA	
1.1. Aspectos físicos	1
1.1.1. Ubicación y localización	1
1.1.2. Vías de acceso	3
1.1.3. Topografía del terreno	6
1.1.4. Topología de la Vivienda	6
1.1.5. Clima	7
1.1.6. Producción agrícola	7
1.1.7. Educación	8
1.1.8. Salubridad	8
1.1.9. Aspectos económicos	10
1.1.10. Estudio poblacional y pronóstico de crecimiento	10
1.1.11. Investigación diagnóstica sobre las necesidades prioritarias en cuanto a servicios básicos	11
1.1.11.1. Carretera	11

1.1.11.2. Puesto de salud .....	12
1.1.11.3. Letrinización .....	12
1.1.11.4. Construcción de escuelas .....	12
2. ESTUDIO PRELIMINAR DEL CAMPO.....	13
2.1. Selección de ruta de campo .....	13
2.2. Planimetría .....	14
2.3. Altimetría .....	15
2.4. Secciones transversales .....	17
2.5. Cálculo planimétrico .....	20
2.6. Cálculo altimétrico .....	21
2.7. Cálculo de secciones transversales .....	23
2.8. Cálculo de curvas de nivel .....	25
2.9. Planimétrico .....	28
2.10. Altimétrico .....	29
2.11. Curvas de nivel .....	30
3. DISEÑO DE LOCALIZACIÓN.....	33
3.1. Cálculo de elementos de la curva horizontal .....	34
3.1.1. Grado de curvatura .....	37
3.1.2. Longitud de curva .....	38
3.1.3. Subtangente .....	39
3.1.4. Cuerda máxima .....	39
3.1.5. External .....	40
3.1.6. Ordenada media .....	41
3.2. Determinación de curva vertical .....	43

3.3.	Movimiento de tierras.....	46
3.3.1.	Diseño de subrasante.....	46
3.3.1.1.	Terrenos llanos.....	48
3.3.1.2.	Terrenos ondulados.....	48
3.3.2.	Cálculo de correcciones por curva vertical a subrasante ..	49
3.3.3.	Cálculo de áreas de secciones transversales.....	53
3.3.4.	Cálculos de volúmenes de movimiento de tierras.....	55
3.4.	Drenajes.....	59
3.4.1.	Estudio hidrológico, método racional para la determinación de caudales de diseño.....	60
3.4.2.	Diseño de cunetas.....	61
3.4.3.	Diseño de drenaje transversal.....	63
3.4.4.	Contracunetas.....	66
3.5.	Dibujo de curvas de nivel.....	67
3.6.	Dibujo de curvas horizontales.....	68
3.7.	Dibujo de curvas verticales.....	68
3.8.	Dibujo de drenajes.....	69
3.9.	Dibujo de sección típica.....	70
3.10.	Dibujo de obras especiales.....	71
4.	SUELOS.....	73
4.1.	Pruebas de laboratorio.....	75
4.1.1.	Granulometría.....	75
4.1.2.	Límites de Atterberg.....	77
4.1.3.	Límite líquido.....	77
4.1.4.	Límite plástico.....	79
4.1.5.	Proctor.....	79
4.2.	Características técnicas del material de balasto.....	84

4.3. Resultados del ensayo de suelos realizado a la subrasante de la carretera diseñada en el trabajo de graduación .....	85
5. PRESUPUESTO .....	87
CONCLUSIONES .....	93
RECOMENDACIONES .....	95
BIBLIOGRAFÍA .....	97
ANEXOS .....	99

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1	Ubicación de la monografía	2
2	Vías de acceso, ruta uno	4
3	Vías de acceso, ruta dos	5
4	Características del topógrafo	21
5	Cálculo de curvas a nivel	29
6	Curvas a nivel de perfil	30
7	Planimétrico	31
8	Altimétrico	33
9	Curvas a nivel	34
10	Deflexión delta	38
11	Grado de curvatura	39.
12	Elementos de la curva horizontal	44
13	Curva vertical cóncava	46
14	Curva vertical convexa	46
15	Curva vertical	48
16	Cálculo de correcciones por curva vertical a subrasante	53
17	Cálculo de áreas de secciones transversales	56
18	Cálculo de volúmenes de movimiento de tierras	58
19	Área de corte	59
20	Área de relleno	59
21	Área de corte del caminamiento	60
22	Sección típica	69
23	Planta general	101

24	Planta, perfil y secciones est. 0+000 – 0+500	102
25	Planta, perfil y secciones est. 0+500 – 1+000	103
26	Planta, perfil y secciones est. 1+000 – 1+500	104
27	Planta, perfil y secciones est. 1+500 – 2+000	105
28	Planta, perfil y secciones est. 2+000 – 2+500	106
29	Planta, perfil y secciones est. 2+500 – 2+813	107
30	Sección típica de camino vecinal	108
31	Cabezales con alas a 45°	109
32	Cabezales rectos	110

## TABLAS

I	Planimetría	17
II	Altimetría	19
III	Secciones transversales	22
IV	Cálculo planimétrico	23
V	Cálculo altimétrico	25
VI	Cálculo de secciones transversales	27
VII	Altimétrico	33
VIII	Valores K para curvas cóncavas y convexas	47
IX	Cálculo de áreas de secciones transversales	57
X	Cálculo de volúmenes de movimiento de tierras	60
XI	Coefficientes C de escorrentía	63
XII	Proctor	84
XIII	Cronograma de actividades	91
XIV	Presupuesto	92

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Ángulo leído en el clinómetro
<b>A1</b>	Área uno
<b>A2</b>	Área dos
<b>AI</b>	Altura de instrumento
<b>At</b>	Altura del topógrafo
<b>C</b>	Coeficiente de escorrentía
<b>C1</b>	Área de corte en la primera sección
<b>C2</b>	Área de corte en la segunda sección
<b>Cam</b>	Caminamiento
<b>Cc</b>	Cota conocida
<b>CM</b>	Cuerda máxima
<b>CU</b>	Última cota
<b>D</b>	Distancia horizontal
<b>E</b>	External
<b>GC</b>	Grado de curvatura
<b>K</b>	Constante en función de velocidades de diseño
<b>Kms./hora</b>	Kilómetro por hora
<b>LC</b>	Longitud de curva
<b>LCV</b>	Longitud de curva vertical
<b>N</b>	Número de años
<b>OM</b>	Ordenada media
<b>+ P</b>	Pendiente positiva
<b>- P</b>	Pendiente negativa
<b>P1</b>	Pendiente de entrada

<b>P2</b>	Pendiente de salida
<b>PA</b>	Población actual
<b>PF</b>	Población futura
<b>PV</b>	Punto de vuelta
<b>Q</b>	Caudal de diseño, en m <sup>3</sup> / seg.
<b>R</b>	Radio
<b>R1</b>	Área de relleno en la primera sección
<b>R2</b>	Área de relleno en la segunda sección
<b>ST</b>	Subtangente
<b>TA</b>	Tasa de crecimiento en porcentaje
<b>V</b>	Volumen
<b>VA</b>	Vista atrás
<b>VF</b>	Vista de frente
<b>VI</b>	Vista intermedia
<b>Xp</b>	Coordenada de X parcial
<b>Xt</b>	Coordenada de X total
<b>Y</b>	Corrección vertical
<b>Yp</b>	Coordenada de Y parcial
<b>Yt</b>	Coordenada de Y total

## GLOSARIO

<b>Acarreo</b>	Es el transporte de materiales no clasificados de préstamo o desperdicio, a una distancia que exceda a 1 kilómetro, menos la distancia de acarreo libre.
<b>Acarreo libre</b>	Comprende el transporte de cualquiera de los materiales no clasificados a una distancia límite de 500 metros.
<b>Adobe</b>	Masa de barro, mezclada o no con paja, moldeada en forma de ladrillo y secada al sol.
<b>Ángulo</b>	Es la menor o mayor abertura que forman entre sí dos líneas o dos planos que se cortan. Las líneas que forman el ángulo se llaman lados y el punto de encuentro, vértice. Su mayor o menor abertura se mide en grados.
<b>Ángulo central</b>	Es el ángulo subtendido por la curva circular igual al cambio de dirección que se da entre las tangentes.
<b>Arcilla</b>	Silicato de alúmina hidratado; sustancia que, empapada en agua, se hace muy plástica. Contiene caliza, arena, óxidos metálicos y es de uso corriente en alfarería.
<b>Asfalto</b>	Es la destilación del petróleo crudo. Puede realizarse por vapor o por aire. La destilación por vapor da excelentes asfaltos para pavimentos.

<b>Balasto</b>	Es el material selecto que se coloca sobre la subrasante terminada de una carretera .Este se compone de un material bien graduado, es decir, que consta de material fino y grueso con el objeto de protegerla y de que sirva de superficie de rodadura.
<b>Base</b>	Están constituidas por una capa de material seleccionado, de granulometría y espesor determinado, que se construye sobre la sub-base.
<b>Bóveda</b>	Estructura formada por un arco metálico de concreto o de mampostería apoyado en dos muros. Las bóvedas son diseñadas y construidas para desaguar caudales de agua y soportar rellenos relativamente grandes.
<b>Cabezal</b>	Muro central de entrada y salida de las tuberías, diseñado y construido para sostener y proteger los taludes y encauzar las aguas.
<b>Clinómetro</b>	Instrumento para medir la inclinación de un plano.
<b>Contracunetas</b>	Son cunetas construidas generalmente en los taludes de corte, cuya finalidad es evitar que las aguas superficiales lleguen hasta la carretera.
<b>Coordenadas</b>	Son líneas que sirven para determinar la posición de un punto y los ejes o planos a que se refieren aquellas líneas.

<b>Corte</b>	Es la excavación que se realiza en el terreno de conformidad al trazo de la carretera o camino. Se realiza a media ladera o en trinchera.
<b>Cuneta</b>	Zanja lateral paralela al eje de la carretera o del camino construida entre los extremos de los hombros y el pie de los taludes. Su sección transversal es variable, siendo comúnmente de forma triangular, trapezoidal y cuadrada.
<b>Curva vertical</b>	Aquella que enlaza dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical.
<b>Curvas circulares</b>	Son los arcos de círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas.
<b>Curvas de transición</b>	Se utilizan para proporcionar un cambio gradual de dirección cuando un vehículo pasa de un tramo en tangente a un tramo de curva circular.
<b>Derecho de vía</b>	Es el derecho que tiene el Estado o las municipalidades, sobre la faja de terreno que se requiere para la construcción y conservación de las carreteras.
<b>Diagrama de masas</b>	Es la curva resultante de unir todos los puntos dados por las ordenadas de la curva masa.
<b>Distancia</b>	Espacio o intervalo de lugar o tiempo entre dos sucesos.

<b>Drenajes</b>	Controlan las condiciones de flujo de agua en terracerías y mejoran las condiciones de estabilidad en cortes, terraplenes y pavimentos.
<b>Excavación en corte</b>	Consiste en la excavación ejecutada a cielo abierto en terreno natural para preparar y formar la sección del camino.
<b>Excavaciones</b>	Deben ser construidas cuidadosamente, ajustándose a la línea y pendiente señaladas. Las caras laterales serán verticales.
<b>Hidrología</b>	Parte de las ciencias naturales, que trata de las aguas.
<b>Infraestructura</b>	Base material sobre la que se asienta algo.
<b>Límite líquido</b>	Es el que está entre el estado líquido de un suelo y su estado plástico.
<b>Límite plástico</b>	En un suelo, es el contenido de agua que tiene el límite inferior de su estado plástico.
<b>Pavimento</b>	Es una estructura formada por un conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidas entre el nivel superior de la terracería y la superficie de rodamiento. Su función fundamental es proporcionar una superficie de rodamiento uniforme de color y textura, resistente a la acción del tránsito y del intemperismo.

<b>Pendiente máxima</b>	Es la mayor pendiente que se puede utilizar en el diseño del proyecto y está determinada por el tránsito previsto y la configuración del terreno.
<b>Pendiente mínima</b>	Es la menor pendiente que se fija para permitir la funcionalidad del drenaje.
<b>Proctor</b>	Se creó para determinar la humedad óptima con que un suelo puede alcanzar su máxima densidad posible.
<b>Rasante</b>	Es el nivel de la superficie de rodamiento de una carretera o camino.
<b>Relleno</b>	Es el material, especial o de tercería, uniformemente colocado y compactado en las partes laterales y superior de las cajas, así como atrás de los aletones.
<b>Sección típica</b>	En toda la extensión de la carretera tiene una sección que permanece uniforme la mayoría de las veces. A esta se le llama “ típica ”.
<b>Sobreacarreo</b>	Es el transporte de materiales no clasificados de préstamo o desperdicio, a una distancia que varía entre 500 y 1,000 metros, menos la distancia de acarreo libre.

- Subrasante** Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura del pavimento y se extiende a una profundidad en la que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto y que una vez compactada y afinada, tiene las secciones y pendientes especificadas en el diseño.
- Terracería** Consiste en la realización de ciertas actividades para preparar y dejar formada la sección donde se va a construir la carretera según los planos.
- Terraplén** Son los depósitos de material que se realizan sobre el terreno natural para alcanzar el nivel de la subrasante.
- Vías rápidas** Son las que proporcionan a los usuarios un nivel de servicio alto a través del movimiento rápido del tránsito para evitar interferencias externas.

## RESUMEN

En las aldeas Chica Zapote y Peña, en el Municipio de San Miguel Ixtahuacán, departamento de San Marcos, existen innumerables necesidades. La de mayor importancia es el servicio de apertura de carretera.

Para poder llegar a la aldea Chica Zapote existen dos vías de acceso, la primera es por el departamento de San Marcos, pasando por Tejútla; aproximadamente unos cuarenta y nueve kilómetros. La segunda vía de acceso es por el departamento de Huehuetenango, pasando por los municipios de Colotenango, San Gaspar Ixíl, para llegar a San Miguel Ixtahuacán, y después, aproximadamente a cuatro kilómetros, se encuentra la aldea Chica Zapote, de donde inicia el tramo de apertura de carretera hasta llegar a la aldea Peña, dándole el servicio a 2,327 habitantes actuales.

La mayoría de viviendas de la aldea Chica Zapote son de block. El 75% tiene cubierta de lámina y piso de cemento y el 25% es de tierra compactada a mano. En la aldea Peña el 90% de casas son de adobe con cubierta de lámina y paja, el clima es templado en ambas aldeas y su producción agrícola es de lima, naranja, café, yuca, manzana, durazno, frijol y el maíz. La educación es en su totalidad primaria, solo existe el ciclo básico en el municipio. En salubridad, lo más común es la desnutrición, parasitismo intestinal, amigdalitis, infecciones digestivas. No se cuenta con un centro de salud cercano sino hasta en San Miguel Ixtahuacán; el alto grado de pobreza hace que las personas utilicen remedios caseros para la recuperación de la salud. La tasa de crecimiento es de 2.90% anual.

Las necesidades prioritarias en lo referente a servicios básicos son: carreteras, puestos de salud, letrinización, construcción de escuelas con mejores condiciones y bien amuebladas. Luego de realizar la monografía del lugar, se efectuó un estudio preliminar de campo. Para la selección de ruta de campo se utilizó el clinómetro, debido a que es un terreno muy quebrado y tiene pendientes muy grandes. Los métodos utilizados fueron: planimetría y altimetría, obteniendo un conjunto de secciones transversales, luego se procedió a calcular el diseño en gabinete para establecer la determinación de la ruta crítica, calculando con ello la planta perfil, curvas de nivel, secciones transversales, ubicación y colocación de drenajes transversales y movimiento de tierras, para obtener el total de volúmenes de corte y relleno, con la finalidad de realizar el presupuesto y cronograma del proyecto.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL:**

Diseñar el Proyecto de Apertura de Carretera para las aldeas Chica Zapote y Peña, en el Municipio de San Miguel Ixtahuacán, del departamento de San Marcos.

### **ESPECÌFICOS:**

1. Capacitar al Comité Pro-Mejoramiento de ambas comunidades sobre sus funciones y responsabilidades para el buen funcionamiento de cada uno de los componentes del Sistema del Proyecto de Apertura de Carretera.
2. Proponer al Comité una excelente administración del Sistema del Proyecto de Apertura de Carretera a través del control y registros pertinentes.
3. Elaborar y redactar un manual en el que se incluya el buen mantenimiento y funcionamiento del Sistema del Proyecto de Apertura de Carretera.
4. Proponer estrategias al comité para el mantenimiento adecuado de la carretera, para que ésta se mantenga en buenas condiciones cada año.

## HIPÒTESIS

El 90% de las aldeas y caseríos del Municipio de San Miguel Ixtahuacán del departamento de San Marcos, posee condiciones en Educación, Agua Potable, Salud así como en gran parte en la distribución de servicios básicos que merecen tener las comunidades. Son escasos los cambios realizados para que las mismas puedan alcanzar adecuado crecimiento y desarrollo.

Debido a la escasa ayuda que el Gobierno, Municipalidades, Entidades no Gubernamentales o Semi-Gubernamentales brindan a las comunidades, los habitantes deben asumir una actitud responsable y no dar crédito a las falsas promesas que realizan los distintos candidatos a la alcaldía del municipio.

En reuniones comunales se crea la posibilidad de despertar e incrementar el interés de las personas en seguir planteando sus necesidades ante Instituciones y Organizaciones tanto nacionales como internacionales, las que brindan ayuda con distintos servicios en el área rural de Guatemala. Con ello logran el apoyo a dichas comunidades con distintos proyectos como la salubridad e infraestructura. Como lo constituye el presente proyecto de Apertura de Carretera en las aldeas Chica Zapote y Peña.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad el buen uso de un tramo carretero desempeña un papel muy importante en el desarrollo de una población, por lo que se vuelve obligatorio buscar mecanismos de acceso para la comunicación necesaria de las comunidades rurales de nuestro país.

Con el presente trabajo de graduación se pretende desarrollar detalles importantes en la planificación de proyectos de carretera y con ello utilizar métodos y herramientas propios de ingeniería civil. Este trabajo surgió de la necesidad de concienciar a los miembros de las comunidades, ya que por medio del proyecto de apertura de carretera, es como se ha logrado llegar a ellas y orientar a los líderes comunitarios sobre el buen uso del recurso y administración adecuada del proyecto.



# **1. MONOGRAFÍA DE LA ALDEA CHICA ZAPOTE Y ALDEA PEÑA DEL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL IXTAHUACÁN, SAN MARCOS**

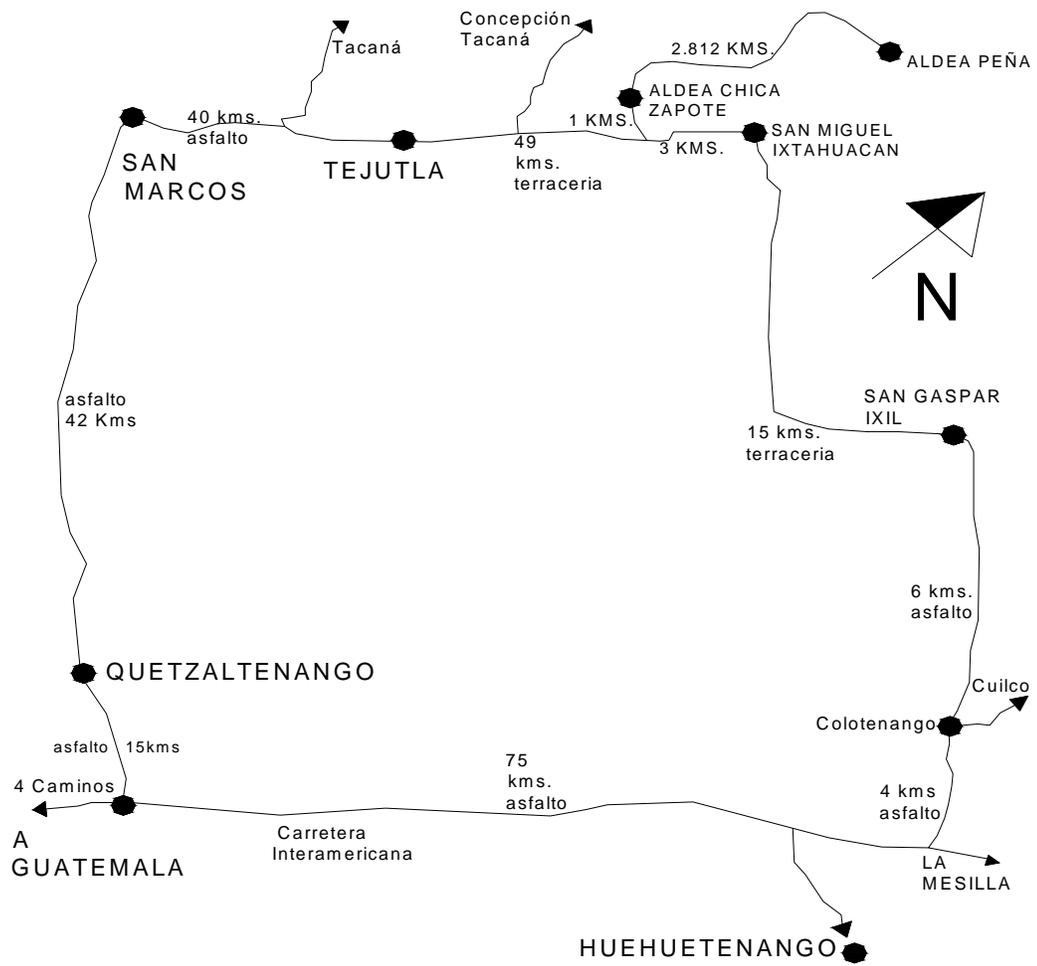
## **1.1. Aspectos Físicos**

### **1.1.1. Ubicación y localización**

La Aldea Chica Zapote, del Municipio de San Miguel Ixtahuacán, Departamento de San Marcos. Está ubicada en la parte noroccidental del mencionado departamento al igual que la aldea Peña.

De Guatemala a San Marcos hay 249 Kms., de carretera asfaltada. De San Marcos al Municipio de Tejútla, 32 Kms., asfaltado. Del Municipio de Tejútla a la Aldea Chica Zapote 38 Kms., de terracería. Comienza el proyecto en Aldea Chica Zapote. De allí a la aldea Peña hay 2.812 Kms. La otra ruta de acceso es de Guatemala a Huehuetenango, que tiene 260 Kms., de carretera asfaltada. De Huehuetenango al Municipio de San Gaspar Ixíl, 39 Kms., asfaltado. De San Gaspar Ixíl, Huehuetenango, a San Miguel Ixtahuacán, San Marcos, 15 Kms., de terracería. De San Miguel Ixtahuacán a la Aldea el Chica Zapote 27 Kms. de terracería.

**Figura 1. Ubicación de la monografía**



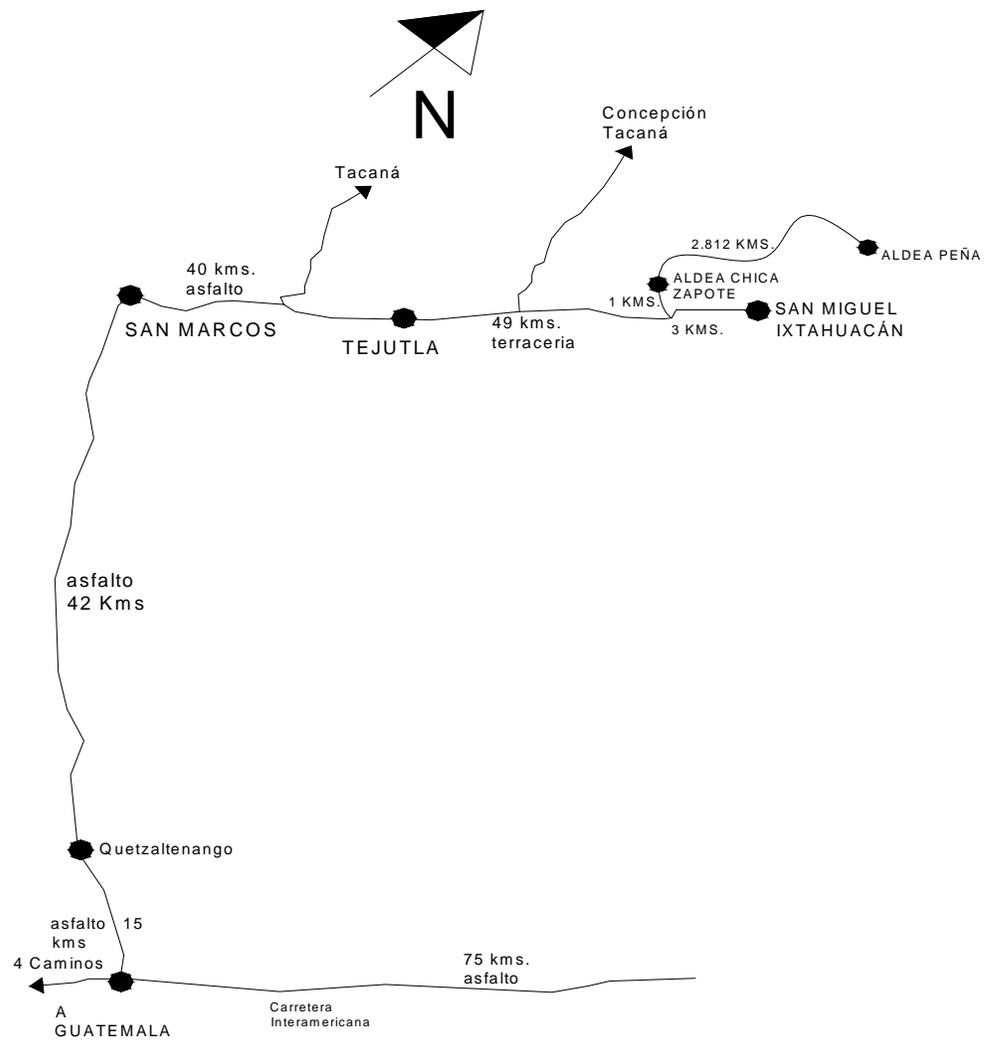
### **1.1.2. Vías de acceso**

Existen dos rutas de acceso a las aldeas en mención, tomando como ciudad de origen a Quetzaltenango, por ser la de mayor número de habitantes.

#### **RUTA UNO**

De Quetzaltenango a San Marcos hay 42 Kms., de carretera asfaltada. De San Marcos a Tejútla, 40 Kms., también en carretera de asfalto. De Tejútla a San Miguel Ixtahuacán hay 49 Kms., en igual condición. Del entronque para aldea Chica Zapote 1 Kms. de terracería.

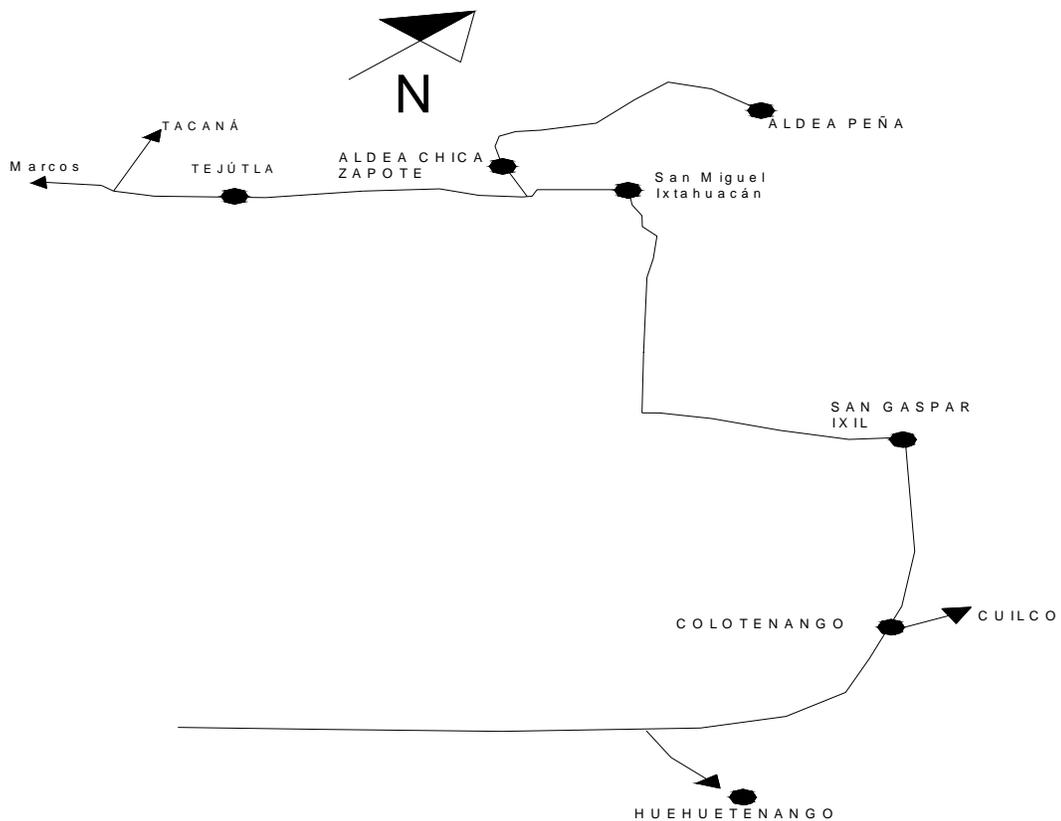
Figura 2. Vías de acceso ruta uno



## RUTA DOS

Partiendo de la ciudad de Quetzaltenango se viaja en carretera asfaltada, pasando por Salcajá, San Cristóbal Totonicapán, Pologuá, Chiquibal, Malacatancito, Huehuetenango, Colotenango, San Gaspar Ixíl, San Miguel Ixtahuacán, aldea Chica Zapote haciendo un recorrido aproximado de 120 kilómetros.

Figura 3. Vías de acceso ruta dos



### **1.1.3. Topografía del terreno**

La topografía del terreno es irregular, clasificada como montañosa, con pendientes entre 30 a 60 grados. Abarca aproximadamente el 90% del área de las aldeas Chica Zapote y aldea Peña. El 10% restante lo conforman pendientes menores a los 30 grados. Por ello las casas generalmente se encuentran en terraplenes elaborados por el hombre. Los cultivos no son factibles debido a que la alta pendiente no es favorable para que la planta se nutra, además de que los abonos aplicados son lavados por las fuertes lluvias y llevados hacia tierras más bajas o a los ríos.

El suelo está conformado en su mayoría por materia orgánica en una capa vegetal muy delgada y en menor cantidad por arcilla plástica útil para trabajos de alfarería.

### **1.1.4. Topología de la vivienda**

La mayoría de viviendas de la región de Chica Zapote son de block. El 75% tiene cubierta de lámina y piso de cemento, y el 25% es de tierra compactada a mano. Las viviendas de las aldeas Chica Zapote y Peña varían mucho porque son de adobe en un 90%, con cubierta de lámina de zinc en un 4% y cubierta de paja un 2%. La estructura de los techos es de madera de pino. El piso es de tierra compactada en un 90% y piso de cemento en un 10%. La mayoría de paredes son de block y adobe expuesto. No tienen cernido ni repellido. La mayoría de las viviendas están formadas por un dormitorio grande y uno pequeño. Luego continúa la cocina y el comedor. La mayoría de cocinas son de estufas mejoradas.

El comedor es una mesa rústica al igual que las bancas. Frente a la vivienda está un patio grande donde se ubica la acometida de agua potable, la que es recibida en pilas o en toneles. La ventilación e iluminación en cada casa es escasa, ya que poseen ventanas muy pequeñas hechas de madera. En la mayoría de viviendas hay de 5 a 9 personas o más, y todos duermen en el dormitorio grande e incluso de 2 a 3 personas en cada cama. Por lo cual, se producen situaciones insanas de convivencia en cada uno de estos hogares.

#### **1.1.5. Clima**

El clima de la Aldea Chica Zapote y en la Aldea Peña es templado en las partes altas y cálido en las partes bajas. Se cultivan distintas clases de frutas y verduras. Cuando sopla demasiado el viento en la parte norte se vuelve fría, y se nota a los habitantes bien abrigados.

#### **1.1.6. Producción agrícola**

En la parte baja de la Aldea Chica Zapote se cosecha lima, naranja, café, yuca, camote, maní y sandía. En la parte alta de la Aldea Peña se cosecha la manzana, el durazno y frijol. El cultivo primordial es el maíz.

### **1.1.7. Educación**

La educación primaria es la única a la que tienen acceso los habitantes ambas aldeas, ya que en ellas existen edificios escolares y profesores pagados por el Estado. Desafortunadamente, del 100% de los niños de edad escolar por lo menos un 30% jamás reciben educación, ya que la mano de obra que los niños proporcionan en ayuda a sus padres al sostenimiento familiar es más importante que el estudio. Por otra parte, de 100 niños que ingresan al primer grado, llegan a culminar los estudios de la escuela primaria aproximadamente de 16 a 20 niños.

La educación secundaria y diversificada se puede recibir en el municipio de San Miguel Ixtahuacán o en la cabecera departamental de San Marcos, y solamente 1 de cada 400 niños puede recibirla. Por lo anterior se concluye que ambas aldeas poseen una educación escasa, reflejada en la condición actual de vida de sus habitantes.

### **1.1.8. Salubridad**

Las comunidades de la región padecen enfermedades propias de una mala nutrición, además de las que producen el clima frío y el templado. Se pueden mencionar entre las más comunes:

- Gripe
- Desnutrición
- Amigdalitis
- Parasitismo intestinal
- Infecciones digestivas

➤ Impétigos

Para la obtención de asistencia médica para enfermedades comunes y de poca gravedad, se puede acudir al Centro de Salud del municipio de San Miguel Ixtahuacán, San Marcos, pero las enfermedades graves deben ser atendidas por el hospital más cercano, que se encuentra en el departamento de San Marcos.

Lo anterior, combinado con la pobreza extrema, conlleva a que la mayor parte de los habitantes traten de curarse las enfermedades graves con remedios caseros o medicina de tienda. Sólo buscan asistencia médica en los casos difíciles, cuando ya no es posible evitar la muerte. Otras personas padecen durante años enfermedades que con un tratamiento adecuado pudieron haber sanado.

Los partos son atendidos por comadronas de las comunidades. Estas mujeres no han tenido capacitación adecuada, sino que, generalmente, es aquella mujer que ha heredado un cúmulo de conocimientos porque su madre fue también comadrona y además por experiencia propia con los hijos que ella ha dado a luz.

#### **1.1.9. Aspectos económicos**

El 80% del ingreso económico familiar de los habitantes de las aldeas Chica Zapote y Aldea Peña, se obtiene de la agricultura, la que es poco rentable debido a que los suelos son muy arcillosos, con una capa delgada de materia orgánica. La actividad agrícola predominante es la siembra de maíz y frijol, la que es suficiente para sobrevivir durante un año.

El 20% restante del ingreso económico familiar de las aldeas en mención se obtiene del recurso boscoso, haciendo leña y muebles, lo cual es un complemento para suplir necesidades como ropa, educación y medicinas.

#### **1.1.10. Estudio poblacional y pronóstico de crecimiento**

Según el censo realizado a mediados del año 2,000, la Aldea Chica Zapote tenía una cantidad de habitantes de 1,200 y la Aldea Peña 2,327 habitantes respectivamente.

La oficina de estadística del departamento de San Marcos posee las tasas de crecimiento para los municipios de San Miguel Ixtahuacán. Al promediarlas se obtuvo 2.90% anual, por lo que con estos datos se puede estimar que para el año 2,025 la población en las comunidades mencionadas será de 7,207 habitantes.

Para hacer este cálculo se usó la ecuación del método exponencial:

$$PF=PA*(1+(TA)/100)^N$$

Donde:

PF = Población futura

PA = Población actual

TA = Tasa de crecimiento en porcentaje

N = Número de años

- Para aldea Chica Zapote

$$PF = 1200 * (1+(2.90/100))^{25} = 2,452.25 \text{ habitantes}$$

Lo anterior se aproxima a 2,452 habitantes.

- Para la Aldea Peña:

$$PF = 2327 * (1+(2.90/100))^{25} = 4,755.33 \text{ habitantes}$$

Lo anterior se aproxima a 4,755 habitantes.

### **1.1.11. Investigación diagnóstica sobre las necesidades prioritarias en cuanto a servicios básicos**

Se pueden resumir en orden prioritario, de la siguiente manera.

#### **1.1.11.1. Carretera**

Con la construcción de 2.812 Km. de carretera de terracería, con superficie balastada, drenajes longitudinales y transversales, que comunique a las Aldeas Chica Zapote y Aldea Peña con la carretera que conduce al municipio de San Miguel Ixtahuacán, la cual posee mantenimiento. Con ello se incrementarán el comercio, la producción de madera, muebles y leña, lo cual elevará el nivel económico de sus habitantes.

Por otra parte, se facilitará el acarreo de materiales para construcción de infraestructura básica en el lugar, como puestos de salud, escuelas, agua potable, drenajes, energía eléctrica, etc.

#### **1.1.11.2. Puesto de salud**

La construcción de un puesto de salud facilitará los servicios médicos primarios y podrá detectarse con anticipación la necesidad de transportar a los pacientes al hospital más cercano para recibir el tratamiento adecuado.

#### **1.1.11.3. Letrinización**

Si no existe una disposición apropiada de las excretas humanas, la reincidencia en las enfermedades será frecuente debido a los diversos focos de contaminación que los mismos habitantes provocarán. Por lo tanto, con la construcción de letrinas los focos de contaminación disminuirán y la salud de los habitantes mejorará.

#### **1.1.11.4. Construcción de escuelas**

La construcción de escuelas y la implementación de la educación técnica, como agricultura y carpintería, hará que las personas mejoren su nivel educativo y su calidad de vida. Por otra parte, las enfermedades disminuirán debido a que la prevención aumenta con el conocimiento de la higiene personal, de las formas de contagio de las enfermedades y de las formas de sanarlas. Lo anterior solamente se puede proporcionar con una buena educación. Las necesidades de una comunidad son innumerables, pero las más urgentes son las mencionadas. Paralelamente a lo anterior, se deberá promover la introducción de la energía eléctrica, lo que permitirá el uso de maquinaria en la carpintería.

## **2. ESTUDIO PRELIMINAR DEL CAMPO**

La selección de ruta es la etapa de mayor importancia de un proyecto de carreteras, pues ésta consta de dos puntos fijos, el inicial y el final, entre los cuales se pueden definir varias alternativas de ruta. Se podrían evaluar principalmente en costos, y elegirse la que mejor se adapte a las condiciones sociales, económicas, al transporte promedio diario que circularía al ponerse en servicio la carretera y al derecho de vía con que se puede contar.

### **2.1. Selección de ruta de campo**

Éste es un trabajo que requiere de experiencia, ya que para el caso se utiliza un clinómetro, que sirve para la medición de la pendiente entre un punto y otro. El topógrafo y la cuadrilla recorren toda la posible ruta sin medir distancias, dándole prioridad a que la ruta cumpla con la pendiente permisible.

Si en algún tramo de la ruta la pendiente y ésta es mayor que la permisible, el topógrafo tendrá que buscar una solución en el campo recorriendo varias alternativas de ruta. Si en ninguna de ellas se puede solucionar el problema, se desecha completamente la ruta y se elige otra o el ingeniero diseñador toma la decisión de hacer grandes cortes o rellenos, que elevan significativamente los costos del proyecto.

Para el caso particular de la carretera que comunica a las aldeas Chica Zapote y Peña, la ruta que se eligió está sobre una brecha existente o caminamiento de 1 metro de ancho, la que es transitada por animales de carga

y peatonales. Las pendientes máximas a chequear con el clinómetro no deben ser mayores del 16% para tramos largos y del 20% para tramos entre 100 y 200 metros de longitud.

## **2.2. Planimetría**

La información topográfica necesaria para el diseño de una carretera, consiste en tomar en campo los ángulos y distancias horizontales que definen la ruta preliminar, haciendo uso del teodolito y de una cinta métrica. El levantamiento consiste en una poligonal abierta, formada por ángulos orientados a un mismo norte y distancias con estaciones intermedias a cada 20 metros.

En el presente trabajo se realizó el levantamiento planimétrico usando el teodolito marca SOKKIA, modelo TM20ES, y se usó el método de conservación de azimut, con orientación de estación a estación por vuelta de campana. Se midieron distancias no mayores de 20 metros, con la cinta colocada horizontalmente, bajando la medida exacta a los trompos mediante plomadas de centro. A fin de no perder las medidas entre estaciones se marcaron con clavos.

La libreta topográfica de campo obtenida en el levantamiento del trabajo, para el tramo inicial de 200 metros, es la siguiente.

**Tabla I. Planimetría**

Est.	P.o	Azimut	Caminamiento	Distancia (m)
			0 + 000	0.00
0		154 <sup>0</sup> 29'00 »	0 + 020	20.00
	1	161 <sup>0</sup> 21'00 »	0 + 045	25.00
1		172 <sup>0</sup> 31'00 »	0 + 065	20.00
		189 <sup>0</sup> 27'40 »	0 + 085	20.00
	2	151 <sup>0</sup> 20'20 »	0 + 100	15.00
2		243 <sup>0</sup> 12'00 »	0 + 120	20.00
		166 <sup>0</sup> 14'40 »	0 + 140	20.00
	3	140 <sup>0</sup> 21'20 »	0 + 160	20.00
3		95 <sup>0</sup> 15'20 »	0 + 180	20.00

### 2.3. Altimetría

Consiste en pasar una nivelación en todos los puntos fijados por el levantamiento planimétrico, fijando bancos de marca a cada 500 metros, los que deben ser ubicados en puntos permanentes o en monumentos de concreto, en lo que deberá anotarse la estación, la elevación y las distancias acumuladas. Como cota de salida se fijará una arbitraria entera, la cual se recomienda que sea de 5,000 metros para no tener cotas negativas.

Es recomendable ir dibujando el perfil que se ha levantado en el día, con el objeto de apreciar si tiene una forma congruente a la realidad y si cumple con las especificaciones de pendientes máximas permisibles. Lo anterior permite que los errores se encuentren a tiempo y no hasta realizar el dibujo en gabinete.

En este trabajo se realizó la nivelación, usando un nivel de precisión marca TOPCON, MODELO G7, mediante el método de nivelación diferencial. La libreta de campo obtenida en el levantamiento preliminar de los primeros 200 metros es la siguiente.

**Tabla II. Altimetría**

<b>Est.</b>	<b>V.A</b>	<b>H.I</b>	<b>V.I</b>	<b>P.V</b>	<b>C o t a</b>
0 + 000	1.5	1001.5			1000.00
0 + 020			1.90		999.60
0 + 040			0.47		1001.03
0 + 060			0.39		1001.11
0 + 080			1.03		1000.47
0 + 100			2.48		999.02
0 + 119.25	1.75	997.45		5.80	995.70
0 + 120			1.81		995.64
0 + 140			1.17		996.28
0 + 154.86	1.60	996.56		2.49	994.96
0 + 160			1.75		994.81
0 + 167.84			2.31		994.25
0 + 180			3.32		993.24
0+200			5.68		990.88

## **2.4. Secciones transversales**

Por medio de las secciones transversales se podrá determinar las elevaciones transversales de la faja de terreno, que se recomienda sean como mínimo de 40 metros, es decir, 20 metros a cada lado a partir de la línea central definida en el levantamiento planimétrico. Éstas deberán ser medidas en forma perpendicular al eje y niveladas con nivel de mano o con un clinómetro, midiendo la distancia horizontal a que se está nivelando cada punto.

Cuando la sección transversal tope con un obstáculo imposible de superar, como un peñasco, una casa, un paredón etc., no es necesario prolongar, sino que se anotará en la columna de observaciones el tipo de obstáculo y su altura o profundidad aproximada.

En los puntos de intersección transversal se medirá sobre la bisectriz del ángulo interior de la poligonal abierta. También deberán sacarse secciones transversales en los fondos de los zanjones y en los lugares donde deba ir tubería de drenaje transversal, así como en donde haya obstáculos tales como casas.

En esta libreta deben anotarse aspectos como: casas, peñascos, paredones, ubicación de drenajes transversales, tipo de suelo, estructuras existentes, si las hay, tales como puentes, etc.

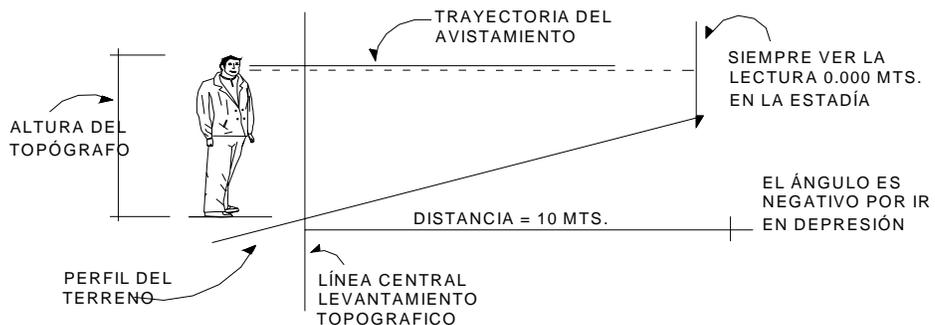
Para el levantamiento de secciones transversales de este trabajo se usó un clinómetro mediante el procedimiento siguiente:

**Primero:** Medir la distancia horizontal y perpendicular a partir de la línea central.

**Segundo:** Medir el ángulo formado entre la línea central y el punto que se midió, sabiendo que los ángulos de elevación son positivos. En la libreta se anotó al lado izquierdo de una diagonal el ángulo con su signo y a la derecha la distancia horizontal al punto en cuestión.

**Tercero:** Conocer la altura del topógrafo que mide los ángulos. La siguiente figura ilustra el procedimiento.

**Figura 4. Características del topógrafo**



La libreta del levantamiento preliminar para los primeros 200 metros es la siguiente.

**Tabla III. Secciones transversales**

<b>SECCIONES DE CAMPO IZQUIERDO</b>	<b>CAMINAMIENTO</b>	<b>SECCIONES DE CAMPO DERECHA</b>
- 14 <sup>0</sup> / 10.00	0 + 000	9 <sup>0</sup> /5.00 20 <sup>0</sup> / 10.00
- 22 <sup>0</sup> / 10.00 3 <sup>0</sup> / 2.50	0 + 020	5 <sup>0</sup> / 10.00
- 37 <sup>0</sup> / 10.00	0 + 040	28 <sup>0</sup> / 10.00
- 36 <sup>0</sup> / 10.00	0 + 060	28 <sup>0</sup> / 10.00
- 27 <sup>0</sup> / 10.00	0 + 080	26 <sup>0</sup> / 10.00
- 25 <sup>0</sup> / 10.00	0 + 100	37 <sup>0</sup> /2.00 35 <sup>0</sup> / 10.00
- 25 <sup>0</sup> / 10.00	0 + 119.25	35 <sup>0</sup> / 10.00
- 30 <sup>0</sup> / 10.00	0 + 120	29 <sup>0</sup> / 10.00
- 33 <sup>0</sup> / 10.00	0 + 140	33 <sup>0</sup> / 10.00
- 31 <sup>0</sup> / 10.00	0 +154.86	31 <sup>0</sup> / 10.00
- 35 <sup>0</sup> / 10.00	0 +160	29 <sup>0</sup> / 10.00
- 35 <sup>0</sup> / 10.00	0 + 167.84	28 <sup>0</sup> / 10.00
- 33 <sup>0</sup> / 10.00	0 + 180	27 <sup>0</sup> / 10.00
- 33 <sup>0</sup> / 10.00	0 + 200	27 <sup>0</sup> / 10.00

## 2.5. Cálculo planimétrico

El cálculo de la topografía se efectúa en gabinete y consiste en conocer las coordenadas parciales y totales de cada vértice que compone la poligonal abierta, con la finalidad de contar con la información suficiente para efectuar con facilidad la localización de la ruta, los corrimientos de línea y otros factores que se explicarán más adelante.

Para el cálculo de las coordenadas totales se usó el método de Pensilvania. A manera de ejemplo se presentan los resultados de los primeros 200 metros de cálculo planimétrico.

**Tabla IV. Cálculo planimétrico**

Est.	P.O.	Azimut	Dist. (m)	Yp.	Xp.	Yt.	Xt.
0	1	161 <sup>0</sup> 21'00"	44.95	-42.5896	14.3744	-42.5896	14.3744
1	2	151 <sup>0</sup> 10'20"	52.36	-45.8711	25.2468	-88.4607	39.6212
2	3	140 <sup>0</sup> 21'20"	37.08	-28.5523	23.6578	-117.013	63.2790
3	4	104 <sup>0</sup> 59'40"	23.68	-6.1266	22.8737	-123.1396	86.1527
4	5	115 <sup>0</sup> 56'20"	23.31	-10.1961	20.9618	-133.3357	107.1145
5	6	137 <sup>0</sup> 56'20"	15.21	-11.2924	10.1895	-144.6281	117.3040
6	7	166 <sup>0</sup> 24'00"	34.61	-33.6395	8.1383	-178.2676	125.4423

## 2.6. Cálculo altimétrico

Con los datos obtenidos en el campo se procede a calcular las cotas de cada punto marcado como máximo a 20 metros sobre la línea central del levantamiento planimétrico.

Los datos que se obtuvieron en el campo son: caminamiento, vista atrás, vista intermedia y punto de vuelta, todo esto a partir de una cota conocida. Tienen que calcularse la altura del instrumento para cada punto de vuelta y la cota. Lo anterior se obtiene usando las siguientes ecuaciones:

$$AI = CU + VA$$

$$C = AI - VI \quad \text{ó} \quad C = AI - PV$$

Donde :

AI = Altura de instrumento

CU = Última cota

VA = Vista atrás

C = Cota

VI = Vista intermedia

PV = Punto de vuelta

Véase el cálculo altimétrico efectuado en la tabla siguiente:

**Tabla V. Cálculo altimétrico**

<b>C a m .</b>	<b>V.A</b>	<b>H.I</b>	<b>V.F</b>	<b>P.V</b>	<b>C o t a</b>
0 + 000	1.5	1001.5			1000.00
0 + 020			1.90		1002.978
0 + 040			0.47		1005.078
0 + 060			0.39		1005.298
0 + 80			1.03		1007.048
0 + 100			2.48		1005.062
0 + 119.25	1.75	997.45		5.80	1008.554
0 + 120			1.81		1008.752
0 + 140			1.17		1009.612
0 + 154.86	1.60	996.56		2.49	1011.691
0 + 160			1.75		1013.428.
0 + 167.84			2.31		1013.595
0 + 180			3.32		1013.619
0 + 200			5.68		

## 2.7. Cálculo de secciones transversales

Las secciones transversales son las que definen las elevaciones y depresiones que el terreno posee en una franja de 40 metros, medida a partir del eje del levantamiento planimétrico, y sirven de base para calcular las curvas de nivel en la mencionada franja.

Los datos se obtienen en el levantamiento preliminar. En cuanto a secciones transversales, que son la distancia y el ángulo positivo o negativo a la izquierda o a la derecha de la, línea se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$C = (D * \text{SEN } A) + At \quad \Rightarrow \quad \text{Para ángulos positivos}$$
$$C = (D * \text{SEN } A) - At \quad \Rightarrow \quad \text{Para ángulos negativos}$$

Donde:

C = Cota

Cc = Cota conocida

D = Distancia horizontal

SEN = Seno de ángulo leído en el clinómetro

At = Altura del topógrafo

**Tabla VI. Cálculo de secciones transversales**

C a m.	Secciones izquierda	Cota central	Secciones derecha
0 + 000	- 4.70 / 10.00	1000.00	0.70/4.75 4.68/10.00
0 + 020	- 5.00 / 10.00 0.25/2.250	999.60	0.93/10.00
0 + 040	- 5.20 / 10.00	1001.03	4.70/10.00
0 + 060	- 5.75 / 10.00	1001.11	4.95/10.00
0 + 080	- 5.20 / 10.00	1000.47	5.15/10.00
0 + 100	- 4.90 / 10.00	999.02	1.30/2.00 6.25/10.00
0 + 119.25	- 5.10 / 10.00	995.70	6.90/10.00
0 + 120	- 6.22 / 10.00	995.64	5.75/10.00
0 + 140	- 5.55 / 10.00	996.28	6.20/10.00
0 + 154.86	- 6.30 / 10.00	994.96	5.90/10.00
0 + 160	- 6.75 / 10.00	994.81	6.18/10.00
0 + 167.84	- 6.90 / 10.00	994.25	6.00/10.00
0 + 180	- 7.20 / 10.00	993.24	6.10/10.00
0 + 200	- 7.90 / 10.00	990.88	5.75/10.00

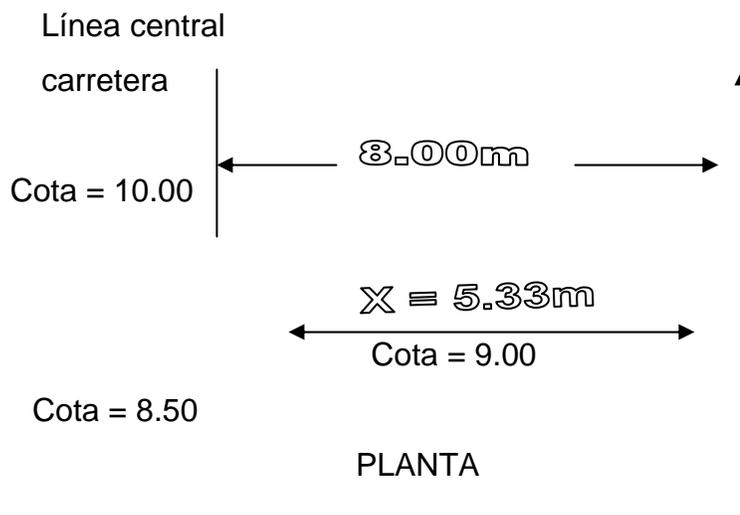
En los resultados anteriores el dato a la izquierda de la diagonal es la altura en metros hacia arriba o hacia abajo a partir de la cota central. El dato al lado derecho es la distancia horizontal medida perpendicular al eje de la línea central del levantamiento planimétrico.

## **2.8. Cálculo de curvas a nivel**

A partir de los datos obtenidos en el cálculo de las secciones transversales se procede a ubicar, en el dibujo en planta, cada punto de las secciones a partir del punto que le corresponda el caminamiento en la línea central. Se anotará a la par de este punto la cota respectiva. Posteriormente se procede a hacer una relación de triángulos semejantes entre cada punto ubicado, ya que la distancia entre puntos es conocida y la diferencia de nivel también lo es. Se podrá conocer la distancia a la que se pueden ubicar las cotas exactas que pudiesen existir entre los puntos en cuestión.

Se puede concluir que, al tener calculada la distancia a la que se ubica un punto que posee una cota exacta, se ha calculado la ubicación en planta de donde posteriormente se dibujará una curva de nivel con una cota establecida. Es recomendable dibujar las curvas de nivel a cada 5.00 metros (ver figura No.5).

**Figura 5. Cálculo de curvas a nivel**



**INTERPOLACIÓN**

8M	→	1.50m	$X = \frac{8 \text{ m} * 1.00 \text{ m}}{1.05} =$
X	→	1.00m	

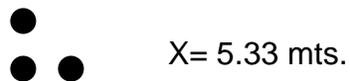
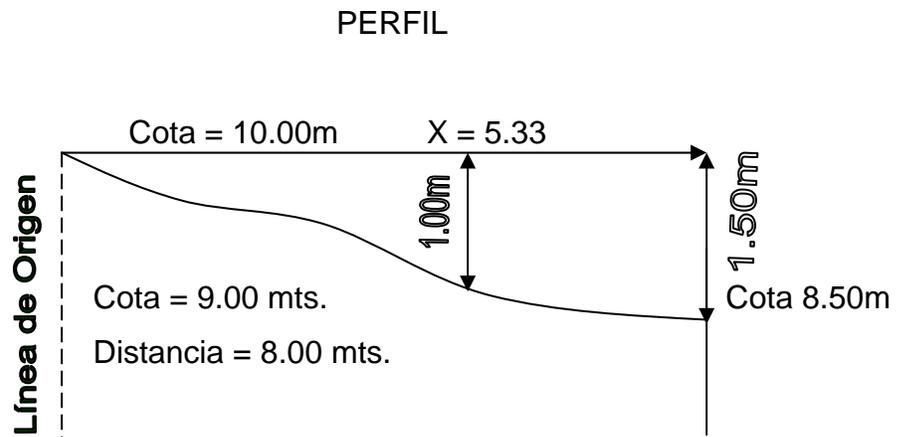


Figura 6. Curvas a nivel de perfil



La ubicación de la cota 9.00m está a 5.33 mts de la estación en cota 10.00.

## 2.9. Planimétrico

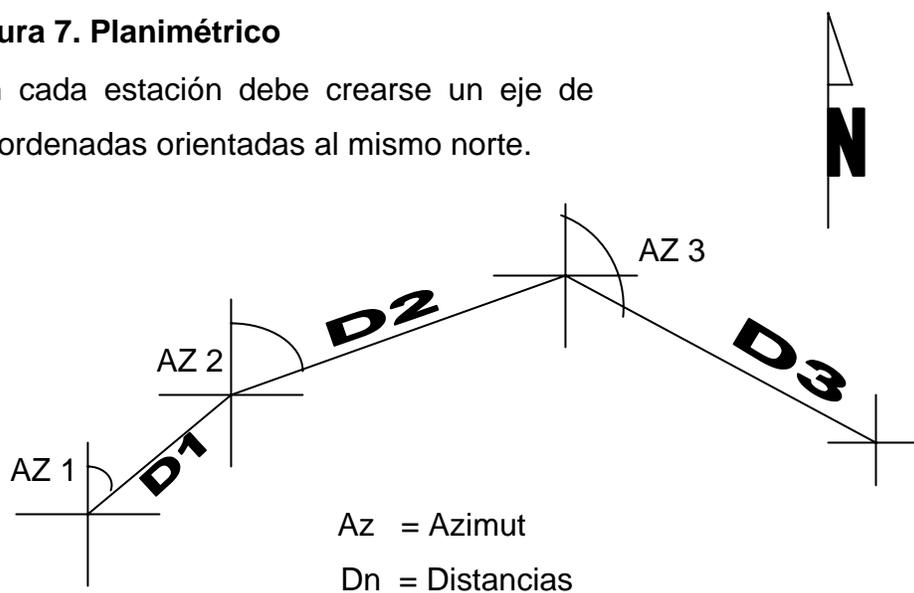
El dibujo planimétrico del levantamiento preliminar en el diseño de carreteras es necesario, porque aunque no constituye el plano final, sirve de guía al ingeniero diseñador para visualizar, en una forma global, la ruta seleccionada y determinar los corrimientos a calcular, si existieran.

Para elaborar el dibujo de la línea preliminar se necesita fijar a la mesa de dibujo el papel a utilizar, usando como eje (x) el que define la regla T, y como eje (y) el que define una escuadra de 90 grados sujeta a la regla T, debe recordarse que los azimut se miden a partir del eje (Y) positivo.

Posteriormente se mide el azimut que la libreta planimétrica de la línea preliminar define, se traza una recta a partir del punto de origen al punto marcado por la medida tomada del transportador. Luego, sobre esta recta se mide la distancia indicada en la libreta de planimetría. El procedimiento se repite tomando como nuevo origen el final de la recta trazada (ver figura No. 7).

### Figura 7. Planimétrico

En cada estación debe crearse un eje de coordenadas orientadas al mismo norte.



La línea preliminar es la base sobre la cual se trazan las curvas que se diseñan.

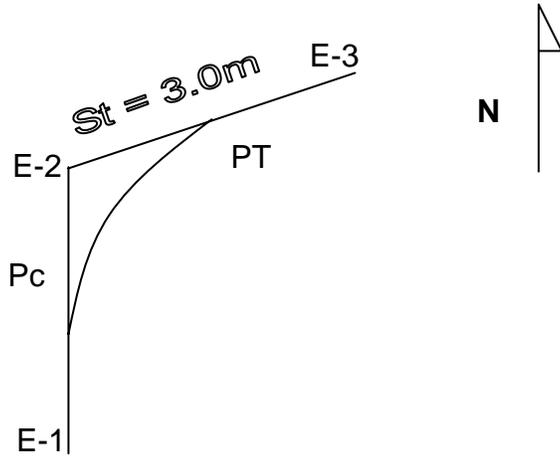
## **2.10. Altimétrico**

Es de suma importancia dibujar el perfil de la línea, ya que esto facilita el cálculo del perfil de localización, por lo que se debe dibujar a escalas que permitan su lectura con mayor rapidez y precisión. Para el caso, se recomienda utilizar la escala 1:1000 en el sentido horizontal y 1:100 en el sentido vertical.

El dibujo consiste en el ploteo de la distancia horizontal medida contra la cota que corresponda a cada caminamiento. Todos los puntos ploteados deberán unirse con una línea.

Posteriormente deberá colocarse en la parte superior los caminamientos que correspondan a cada principio de curva y principio de tangente y, a la vez, calcular, por regla de tres, la elevación que corresponde a los puntos ubicados en el promedio de los caminamientos de principio de curva y principio de tangente. Las cotas que queden dentro de los caminamientos descritos no son las reales, porque la curva de la carretera deja el caminamiento preliminar en el mencionado tramo. Debe calcularse el perfil de localización tomando como base las secciones transversales del tramo en cuestión y utilizar reglas de tres simples, para el cálculo de las cotas del perfil de localización del tramo comprendido dentro de las curvas (ver figura No. 8).

**Figura 8. Altimétrico**



**Tabla VII. Altimétrico**

E.	P. O.	AZIMUT	DISTANCIA	COTA
1	2	$153^{\circ} 78' 97''$	119.25	44.07
2	3	$102^{\circ} 36' 00''$	12.98	42.00
3	4	$172^{\circ} 38' 00''$	6.62	40.00

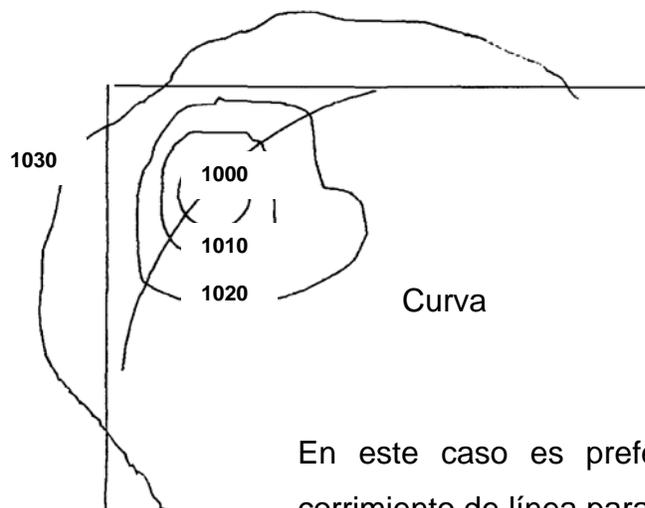
### 2.11. Curvas de nivel

Las curvas de nivel son de mucha importancia en el diseño geométrico de una carretera, ya que proporcionan la información altimétrica del comportamiento del terreno en una franja de 40 metros, como mínimo, a lo largo de todo el levantamiento de la preliminar. La única manera de obtener la información es dibujar las curvas a nivel sobre la poligonal abierta en planta. De esta manera el ingeniero diseñador podrá tener conocimiento de cuándo el caminamiento de una curva horizontal calculada cae en un barranco, sobre una montaña o sobre roca e incluir todos los renglones en su presupuesto.

En carreteras se considera suficiente tener información de curvas a nivel a cada 5.00 metros como máximo, debiendo contener toda la información, como la ubicación de casas y las estructuras construidas en el trayecto, tales como puentes, drenajes y el tipo de suelo. El ingeniero diseñador podrá entonces valuar si diseña sobre la línea preliminar o efectúa algún corrimiento de línea, y elegir sobre las intersecciones que se deban calcular (ver figura No. 9).

**Figura 9. Curvas de nivel**

Levantamiento  
preliminar



En este caso es preferible hacer un corrimiento de línea para que la curva no pase por el barranco.



### 3. DISEÑO DE LOCALIZACIÓN

Consiste en diseñar la línea final o línea de localización en planta, la cual será la definitiva para el proyecto que se trate. Deberá contener todos los datos necesarios para que la cuadrilla de topografía proceda a marcar en el campo la ruta seleccionada, tanto planimétricamente como altimétricamente. Es necesario recalcar que un buen diseño de localización disminuye el costo del proyecto y permite tener un menor tiempo de construcción, una mayor comodidad para los usuarios de la carretera y disminución del riesgo de accidentes.

El diseño de la carretera del presente trabajo se basa en los siguientes aspectos técnicos:

- Debe ser transitable en toda época del año.
- La pendiente máxima en un tramo no mayor de 200 metros debe ser como máximo 20%.
- El 80% de la carretera debe poseer una pendiente igual o menor al 13.70%.
- El ancho de rodadura debe ser de 5.0 metros, con 1.0 metro de cuneta en forma triangular, para permitir rebases.
- La velocidad promedio diario será menor a 100 vehículos a 30 Kms./ hora.

- El radio mínimo en curvas horizontales será de 18 metros.
- Bombeo transversal 3%.
- La longitud mínima de curvas verticales en metros, debe ser igual a la velocidad de diseño.

### **3.1. Cálculo de elementos de la curva horizontal**

Consiste en el diseño de la línea final de localización en planimetría mediante el cálculo de las curvas horizontales, las cuales definirán la ruta a seguir y constituirán la guía fundamental para la cuadrilla de topografía en el trazo de la carretera. En el proceso de diseño y cálculo se deben considerar varios aspectos técnicos, los cuales se enumeran a continuación:

- A) Todo el diseño debe ir basado en el principio de seguridad y comodidad en la carretera.
- B) Una carretera diseñada para seguir las ondulaciones de las curvas a nivel es preferible a una con tangentes pero con repetidos cortes y rellenos, ya que esto disminuye los costos.
- C) Para una velocidad de diseño dada, debe evitarse dentro de lo razonable, el uso de radios mínimos en el cálculo de las curvas horizontales.
- D) En carreteras del área rural es conveniente evaluar si se usa un radio menor al mínimo permitido por la velocidad de diseño a cambio de incrementar considerablemente el costo de la obra al utilizar radios mayores.

- E) Se debe procurar, en todo lo posible, aumentar la longitud de las tangentes.
  
- F) Se deben evitar curvas en donde se localicen puentes, ya que éstos deberán ubicarse preferiblemente en tangentes, pero en situaciones especiales se ampliará la curva con un sobreechancho o se diseñara un puente en curva.
  
- G) No deberán diseñarse curvas con radios mínimos antes de entrar a un puente.
  
- H) En terrenos llanos es conveniente evitar el diseño de tangentes demasiado largas, ya que la atención del conductor se pierde y pueden provocarse accidentes.
  
- I) En cada cálculo debe verificarse la longitud de la tangente, ya que ésta no podrá ser negativa jamás, ya que esto indicaría que dos curvas horizontales se están traslapando.

Después de considerar los anteriores incisos y la experiencia del ingeniero diseñador, se procede al cálculo de las curvas horizontales, con la ayuda de dos escuadras, un compás, un juego de curvas de diseño y las especificaciones respectivas. El diseño planimétrico de carreteras es un proceso de intentos hasta que se consigue el óptimo. En los siguientes incisos se calculará cada elemento de la curva de la estación 5, a la vez que se explicara cada una de las fórmulas. Por lo anterior, es necesario contar con los datos siguientes:

$\Delta$  = Deflexión angular =  $Az_2 - Az_1$

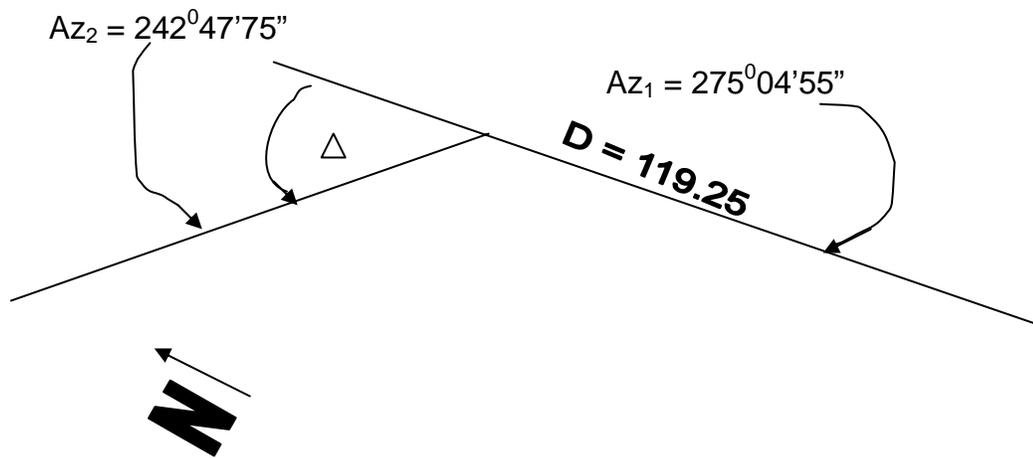
$Az_1, Az_2$  = Azimut<sub>1</sub> y Azimut<sub>2</sub>

$D_1, D_2$  = Distancia<sub>1</sub> y Distancia<sub>2</sub>

$\Rightarrow \Delta = 275^{\circ}04'55'' - 242^{\circ}47'55'' = 32^{\circ}17'00'' = \Delta$

\* En el vértice de la estación 5 se diseñará su correspondiente curva, conforme las siguientes ecuaciones.

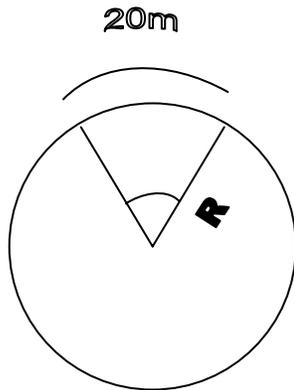
**Figura 10. Deflexión delta**



### 3.1.1. Grado de curvatura ( G )

En Guatemala se define como el ángulo central que sobre una circunferencia define un arco de 20 metros de longitud. En otra forma, se dice que (G) es el ángulo sostenido por un arco de 20 metros.

**Figura 11. Grado de curvatura**



R = radio

G = Grado de Curvatura

$$\frac{G}{360} = \frac{20}{2\pi R}$$

$$R = \frac{1145.9156}{G}$$

$$G = \frac{1145.9156}{R}$$

Debido a que el grado de curvatura y el radio de una curva horizontal dependen uno del otro, existen especificaciones para carreteras que enumeran una serie de radios para distintos grados de curvatura, considerando las velocidades de diseño, el tipo de carretera y los deltas.

### 3.1.2. Longitud de curva ( Lc )

Es la distancia medida desde el principio de curva (PC), al principio de tangente (PT), sobre la curva diseñada.

$$\frac{L_c}{2\pi R} = \frac{\Delta}{360}$$

$$L_c = \frac{2\pi R \Delta}{360}$$

$$L_c = \frac{20 * \Delta}{G}$$

Para el ejemplo:

$$L_c = \frac{20 * (AZ2 - AZ1)}{G} = \frac{20 * (153^0 78' 97'' - 102^0 35' 68'')}{26^0 00' 00''}$$

$$L_c = 35.604 \text{ Mts.}$$

En la presente ecuación se utiliza el delta (  $\Delta$  ), el cual se define como el ángulo medido a partir de la orientación del azimut de la primera tangente, hasta la orientación de la segunda tangente.

### 3.1.3. Subtangente ( St )

Es la distancia entre el principio de curva (PC) y el punto de intersección (PI) o entre el punto de intersección (PI) y el principio de tangente (PT).

$$Tg \left[ \frac{\Delta}{2} \right] = \frac{St}{R} \quad \Rightarrow \quad St = R * Tg \left[ \frac{\Delta}{2} \right]$$

Ejemplo:

$$St = 44.07 * Tg \left[ \frac{Az_2 - Az_1}{2} \right] \quad St = 44.07 * Tg \left[ \frac{153^{\circ}78'97'' - 102^{\circ}35'68''}{2} \right]$$

$$St = 13.52 \text{ Mts.}$$

### 3.1.4. Cuerda máxima ( Cm )

Es la distancia en línea recta, desde el principio de curva (PC) al principio de tangente (PT).

$$\frac{Cm}{2} = R * Sen \left[ \frac{\Delta}{2} \right] \quad Cm = 2 * R * Sen \left[ \frac{\Delta}{2} \right]$$

Ejemplo

$$C_m = 2 * 44.07 * \text{Sen} \left[ \frac{153^{\circ}78'97'' - 102^{\circ}35'68''}{2} \right]$$

$$C_m = 38.45 \text{ Mts.}$$

### 3.1.5. External ( E )

Es la distancia desde el punto de intersección (PI) al punto medio de la curva. Para el diseño de carreteras que han sido construidas sin normas, técnicas ni métodos de ingeniería civil, pero que son funcionales y cumplen con el requisito primordial de permitir el paso de vehículos, es necesario tener como información para el diseño, el external actual de la carretera y así el ingeniero diseñador proyectará curvas que se apeguen lo más posible al movimiento de tierras ya existentes, para reducir costos.

$$E = R * \text{Sec} (\Delta / 2)$$

Ejemplo:

$$E = 44.07 * \text{Sec} \left[ \frac{51^{\circ}43'29''}{2} \right] \Rightarrow E = 48.9451 \text{ Mts.}$$

### 3.1.6. Ordenada media

Es la distancia dentro del punto medio de la curva y el punto medio de la cuerda máxima.

$$1 - \cos \left[ \frac{\Delta}{2} \right] = \left[ \frac{OM}{R} \right]$$

$$OM = R - R * \cos \left[ \frac{\Delta}{2} \right]$$

$$OM = R * \left[ 1 - \cos \left[ \frac{\Delta}{2} \right] \right]$$

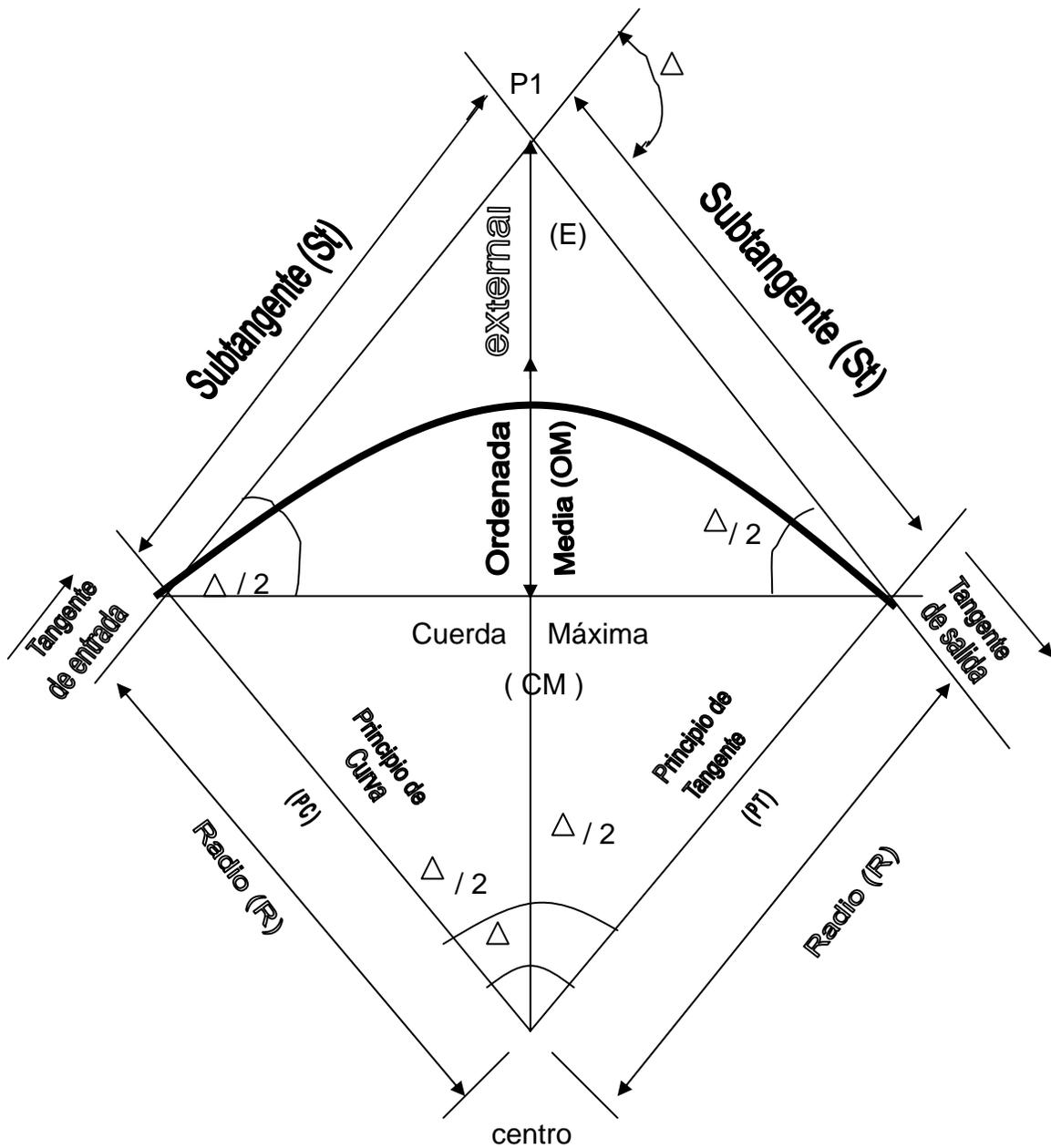
Ejemplo:

$$OM = 44.07 * \left[ 1 - \cos \left[ \frac{51^{\circ}43'29''}{2} \right] \right]$$

$$OM = 4.41 \text{ Mts.}$$

**Figura 12. Elementos de la curva horizontal**

La figura que se presenta a continuación ubica todos los elementos de una curva horizontal anteriormente explicados.



### **3.2. Determinación de curva vertical**

Como se mencionó anteriormente, las carreteras no sólo están conformadas por curvas horizontales, sino también por curvas verticales. Lo anterior significa que se está trabajando en tres dimensiones. Para su diseño y para simplificar el trabajo, las carreteras se desglosan en planimetría y altimetría. En la parte de la altimetría se estudian las curvas verticales, que pueden ser cóncavas o convexas. También existen curvas en ascenso con ambas pendientes positivas (convexas), y curvas en descenso con ambas pendientes negativas (cóncavas) (ver figura No. 13 y 14).

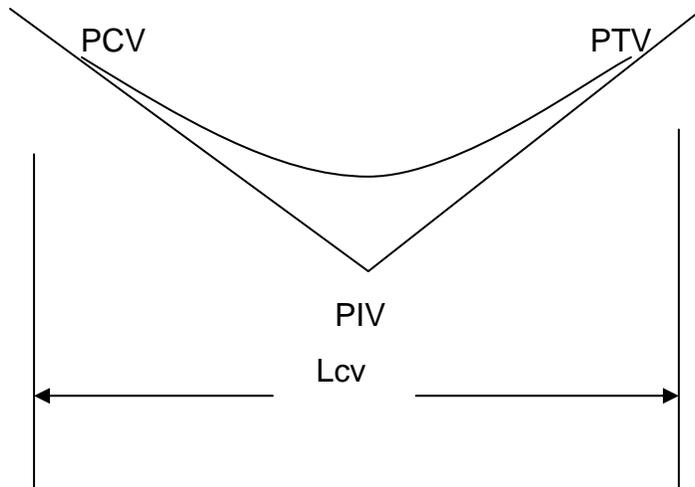
La finalidad de las curvas verticales es proporcionar suavidad al cambio de pendiente. Estas curvas pueden ser circulares o parabólicas, aunque la más usada en nuestro país por la Dirección General de Caminos es la parabólica simple, debido a su facilidad de cálculo y a su gran adaptación a las condiciones del terreno.

Las especificaciones para curvas verticales dadas por la Dirección General de Caminos están en función de la diferencia algebraica de pendientes y de la velocidad de diseño.

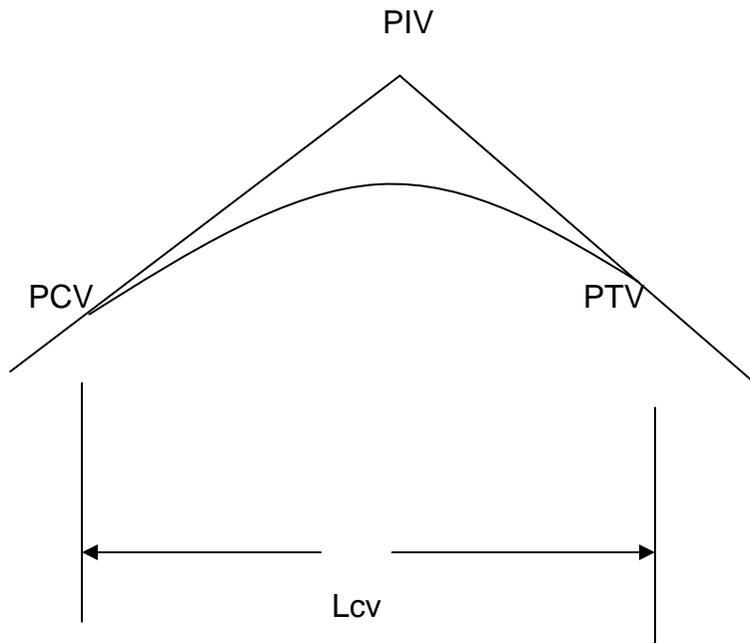
En el momento de diseñar las curvas verticales deben tenerse presentes las longitudes de éstas, para evitar traslapes entre curvas, y dejar también la mejor visibilidad posible a los conductores.

En diseños de carreteras para áreas rurales se ha generalizado entre los diseñadores usar como longitud mínima de curva vertical la que sea igual a la velocidad de diseño. Lo anterior reduce considerablemente los costos del proyecto, ya que las curvas amplias conllevan grandes movimientos de tierra.

**Figura 13. Curva vertical cóncava**



**Figura 14. Curva vertical convexa**



Las longitudes mínimas de curvas verticales se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$L_{vc} = K * A$$

Donde:

K = Constante que depende de las velocidades de diseño

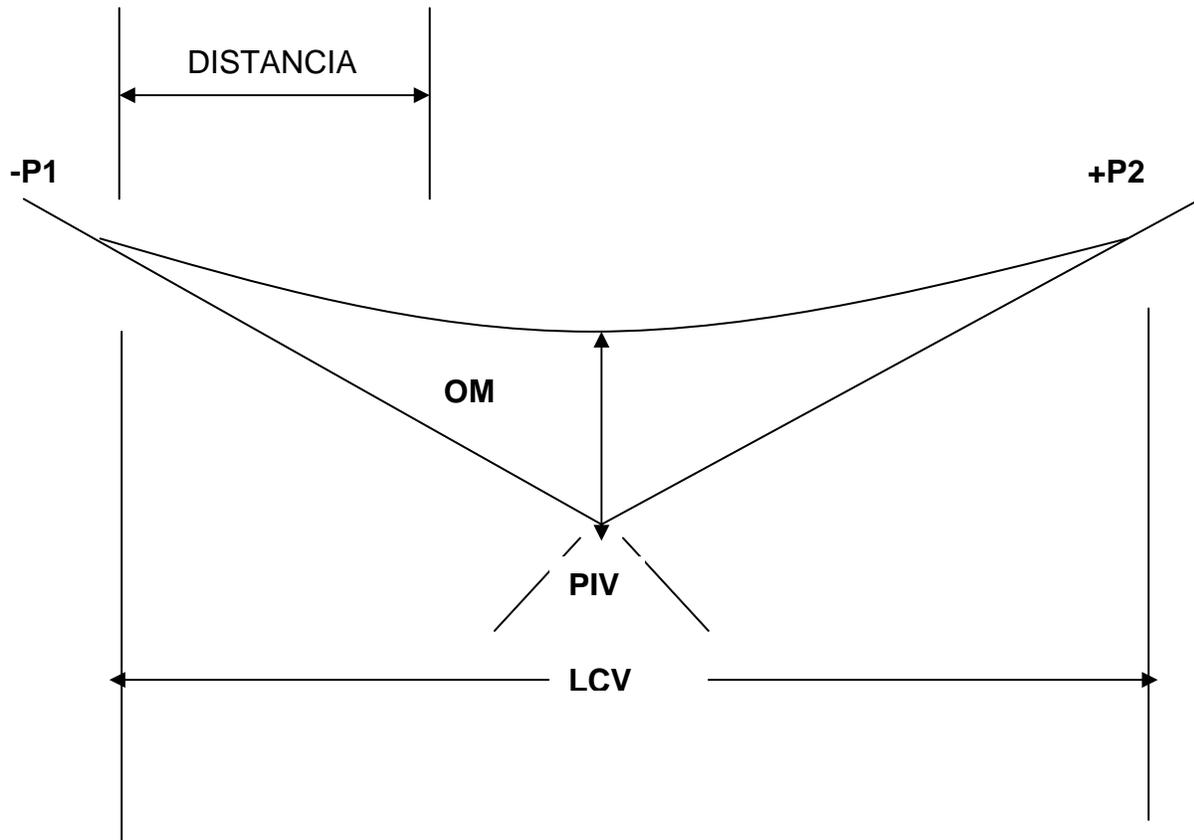
A = Diferencia algebraica de pendientes

**Tabla VIII. Valores de K para curvas cóncavas y convexas**

Los valores de K se enumeran en la siguiente tabla.

<b>VELOCIDAD DE DISEÑO. (KM).</b>	<b>CÓNCAVA VALORES DE K.</b>	<b>CONVEXA. VALORES DE K.</b>
10	1	0
20	2	1
30	4	2
40	6	4
50	9	7
60	12	12
70	17	19
80	23	29
90	29	43
100	36	60

**Figura 15. Curva vertical**



### **3.3. Movimiento de tierras**

#### **3.3.1. Diseño de subrasante**

La subrasante es la línea trazada en perfil que define las cotas de corte o relleno que conformarán las pendientes del terreno. A lo largo de su trayectoria, la subrasante queda debajo de la sub base, base y capa de rodadura en proyectos de asfalto y debajo del balasto en proyectos de terracería.

En un terreno montañoso el criterio técnico básico para definir la subrasante es no exceder la pendiente máxima oscilante entre el 14% al 16%, ni la curvatura mínima permitida para el uso que se le dará a la carretera, lo cual también se relaciona con la sección típica a utilizar y el tipo de terreno.

La subrasante define el volumen del movimiento de tierras, que a su vez se convierte en el renglón más caro en la ejecución, por lo que la subrasante es el elemento que más determina el costo de la obra. Por esta razón, un buen criterio para diseñar es obtener la subrasante más económica. Es necesario apuntar que el relleno es mucho más costoso que el corte, por lo que hay que tomar en cuenta tal situación para definir lo óptimo.

En la mayoría de los casos el criterio técnico y el económico se encuentran en contradicción, en el presente caso un camino rural, ambos deben contribuir a la obtención de una ruta de acceso transitable en toda época del año, que será el objetivo que dominará sobre los anteriores.

Para calcular la subrasante, es necesario disponer de los siguientes datos:

- La sección típica que se utilizará.
- El alineamiento horizontal del tramo.
- El perfil longitudinal del mismo.
- Las secciones transversales.
- Las especificaciones o criterios que regirán el diseño.
- Datos de la clase de material del terreno.
- Datos de los puntos obligados de paso.
- De preferencia, el diseñador debe haber realizado una visita al tramo que va a diseñar.

- Se deben considerar los tramos que puedan quedar balanceados en distancias mayores a 500 metros.

La subrasante queda definida por tramos en tangentes con pendientes definidas y tramos en curvas, las cuales deben brindar suavidad y comodidad al cambio de pendientes.

Los criterios para diseñar la subrasante en diferentes tipos de terrenos se exponen a continuación:

#### **3.3.1.1. Terrenos llanos**

Son aquellos cuyo perfil tiene pendientes de longitudes pequeñas y uniformes a la par de pendientes transversales escasas. En este tipo de terreno la subrasante debe diseñarse en relleno, con pendientes paralelas al terreno natural, con una elevación suficiente para dar cabida a las estructuras del drenaje transversal y, además de esto, debe quedar a salvo de la humedad propia del suelo.

#### **3.3.1.2. Terrenos ondulados**

Son aquellos que poseen pendientes oscilantes entre el 5% y el 12%. La subrasante en estos terrenos se debe diseñar buscando cámaras balanceadas en tramos no mayores de 500 metros. También se debe tener presente no exceder las pendientes mínimas y máximas permitidas por las especificaciones.

Hay dos formas de calcular la subrasante:

a) Se localizan dos puntos conocidos que se han seleccionado como puntos de intersección vertical ( PIV ). La pendiente entre ellos será el parámetro para determinar si son adecuados o deben ser reubicados. Luego, cada 20 metros y en cada punto de cambio de curva horizontal (principio de curva, centro de curva y principio de tangente), se determina analíticamente la altura que tendrá la subrasante.

b) Se puede tener también un punto conocido y una pendiente determinada. A partir del punto seleccionado para ser PIV, se calcula la altura correspondiente del siguiente PIV, según el perfil del terreno.

A cada 20 metros y en otras estaciones adecuadas, se calcula la elevación de la rasante, completando así el cálculo. Cuando la elevación de la subrasante se sitúa encima del terreno, se dice que está en relleno; si se ubica debajo, que está en corte. A partir de esto y de la información obtenida en las secciones transversales se puede obtener la cantidad de tierra a mover.

Los criterios que se utilizaron en el diseño de la subrasante de la carretera elaborada en este trabajo se apegan a los criterios de una subrasante en terreno montañoso.

### **3.3.2. Cálculo de correcciones por curva vertical a subrasante**

Luego de calcular las elevaciones de la subrasante conformada por rectas de pendientes definidas, es necesario corregir las mencionadas alturas en los caminamientos que conforman las curvas verticales, puesto que debe proporcionarse un cambio suave entre la pendiente de entrada y salida.

Según lo muestra la figura que aparece en la página número 53, la ordenada máxima (OM) es el máximo cambio de la curva. Las correcciones siguientes se calculan del exterior de la curva hasta el centro, tanto de entrada como de salida. Las ecuaciones son las siguientes:

$$OM = (P2 - P1) / 800 * LCV$$

$$Y = (OM * D) / (LCV / 2)^2$$

Donde:

P1 = Pendiente de entrada.

P2 = Pendiente de salida.

OM = Ordenada media.

D = Distancia a partir del extremo al punto en que se desea conocer la corrección vertical.

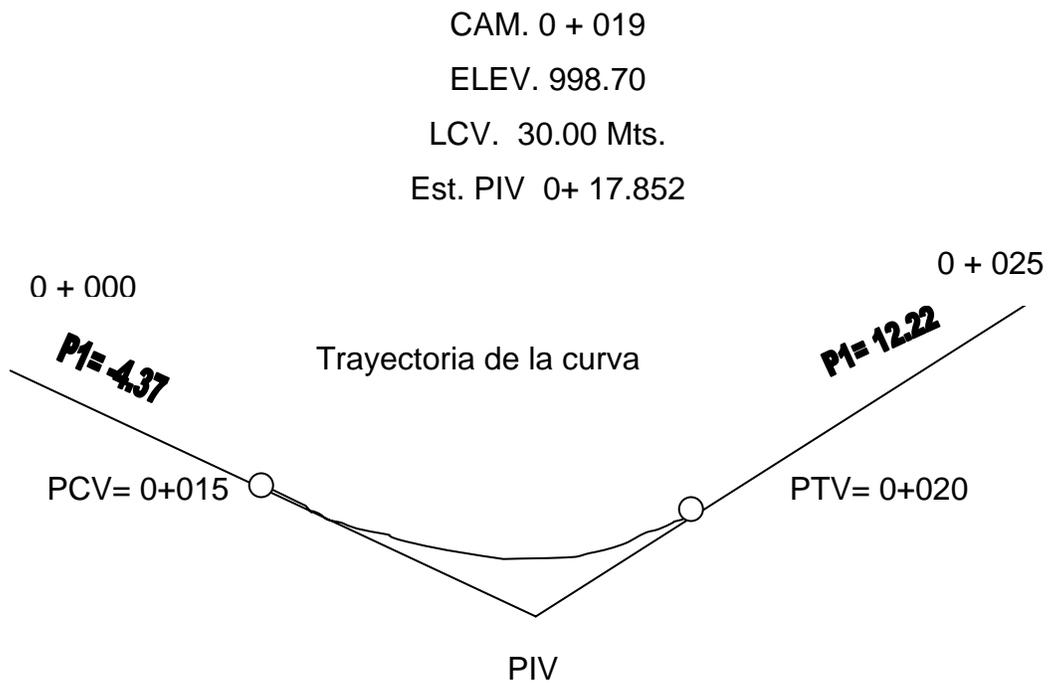
LCV = Longitud de curva vertical.

Y = Corrección vertical.

Esta corrección se suma o resta a la cota de subrasante, se obtiene así la subrasante corregida, base para el resto del cálculo.

A continuación se calcula didácticamente la primera de las curvas verticales del presente trabajo.

**Figura 16. Cálculo de correcciones por curva vertical a subrasante**



Según las ecuaciones

OM = Ordenada media

$$OM = ((P_2 - P_1) / 800) * LCV$$

$$OM = \frac{(12.22 - (-4.37)) * 30.00}{800} = 0.62 \text{ Mts.}$$

La corrección en cualquier caminamiento de la curva vertical es

$$Y = \frac{(OM \times D)}{(LCV/2)^2}$$

$$D = (Cam_2 - Cam_1) \quad \text{ó} \quad D = \left[ (LCV/2) \cdot \left| Est. PIV - Est. i \right| \right]^2$$

EN EL PCV:

$$Y = \frac{0.62 * (0+015.32 - 0+15.32)}{2.5} = 0 \text{ Mts.} \quad \text{no hay corrección}$$

EN CAM. 0 + 017

$$Y = \frac{0.62 * (0+017 - 0+015.32)}{2.5} = 0.004 \text{ Mts.}$$

EN CAM. 0 + 019

$$Y = \frac{0.62 * (0+019 - 0+017)}{2.5} = 0.005 \text{ Mts.}$$

EN PTV

$$Y = \frac{-0.62 * (0+020.325 - 0+020.325)}{2.5} = 0 \text{ m} \quad \text{no hay corrección}$$

### **3.3.3. Cálculo de áreas de secciones transversales**

La topografía del terreno en el sentido perpendicular a la línea central de la carretera determina el volumen de movimiento de tierras necesario en la construcción de un proyecto carretero.

Si se toma en cuenta la sección topográfica transversal, se localizará el punto central de la carretera, el cual puede quedar ubicado sobre el terreno natural. Se marca con esta área de relleno y debajo del terreno natural, el área de corte, a partir de la cual se habrá de trazar la sección típica. Se estimará el ancho de rodadura, con su pendiente de bombeo de 3% o el peralte que sea apropiado si corresponde a un caminamiento en curva horizontal; el ancho del hombro de la carretera, con su pendiente, taludes, de corte y relleno según se presente el caso, se determinará su pendiente en razón al tipo de material del terreno y la altura que precisen.

Es de hacer notar que cuando es necesario se marca un espacio de remoción de capa vegetal en el que se cortará en una profundidad aproximada de 0.30 mts. Éste se considera en un renglón diferente al corte para material de préstamo, no así cuando se considere corte de material de desperdicio. El perfil exacto de la cuneta por lo general se calcula aparte para considerarlo como excavación de canales.

Se mide o calcula el área enmarcada entre el trazo del perfil del terreno y el perfil que se desea obtener, se clasifica así separadamente el corte y el relleno necesario.

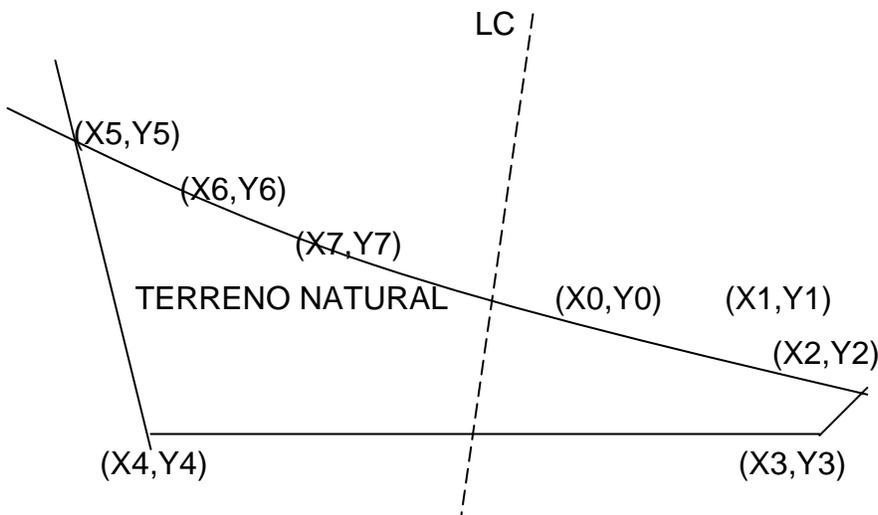
Los taludes recomendados para el trazo de la sección típica, bien sea en corte o en relleno, se muestran a continuación.

CORTE:		RELLENO:	
ALTURA	H - V	ALTURA	H - V
0 - 3	1 - 1	0 - 3	2 - 1
3 - 7	1 - 2	> 3	3 - 2
> 7	1 - 3		

Para medir el área en forma gráfica, se puede realizar un planímetro polar. Si no se dispone de un planímetro, puede calcularse el área, asignando coordenadas totales como se considere conveniente y aplicar el método de los determinantes para encontrar el área.

**Figura 17. Cálculo de áreas de secciones transversales**

$$\text{Área} = \{ \sum (X_1 * Y_{1+1}) - \sum (Y_1 * X_{1+1}) \} / 2$$



**Tabla IX. Cálculo de áreas de secciones transversales**

X		Y
X0	*	Y0
X1	*	Y1
X2	*	Y2
X3	*	Y3
X4	*	Y4
X5	*	Y5
X6	*	Y6
X7	*	Y7
X0		Y0
$a = \sum (X*Y)$		$\sum (Y*X) = b$

$$\text{Area} = \frac{(a - b)}{2}$$

### 3.3.4. Cálculos de volúmenes de movimiento de tierras

Cada una de las áreas calculadas anteriormente se constituye en un lado de un prisma de terreno que debe rellenarse o cortarse. Suponiendo que el terreno se comporta en una manera uniforme entre las dos estaciones, se hace un promedio de sus áreas y se multiplica por la distancia horizontal entre ellas, se obtienen así los volúmenes de corte y relleno en ese tramo.

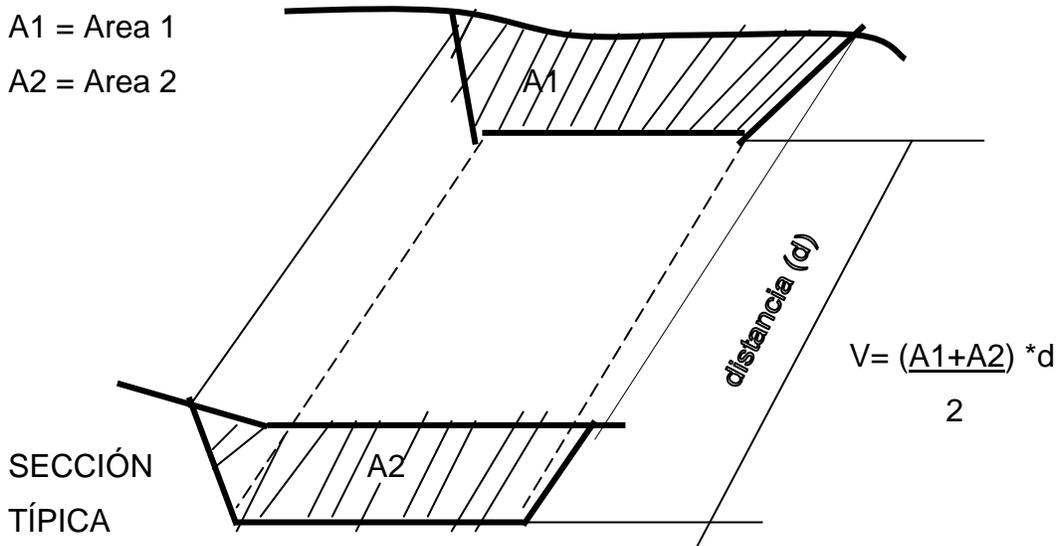
**Figura 18. Cálculo de volúmenes de movimiento de tierras**

$$\text{Volumen} = ((\text{Área 1} + \text{Área 2}) * \text{distancia}) / 2$$

V = Volumen

A1 = Area 1

A2 = Area 2



Cuando en un extremo la sección tenga sólo área de corte y la otra solamente área de relleno, debe calcularse una distancia de paso, donde teóricamente el área pasa a ser de corte a relleno. Éste se obtiene por medio de la interpolación de las dos áreas en la distancia entre ellas. Las ecuaciones que facilitan este cálculo son las siguientes.

$$\text{Vol. Corte} = ((C1 + C2)^2 / 2) * \left\{ (C1 + C2 + R1 + R2) * D \right\}$$

$$\text{Vol. Relleno} = ((R1 + R2)^2 / 2) * \left\{ (C1 + C2 + R1 + R2) * D \right\}$$

**Donde:**

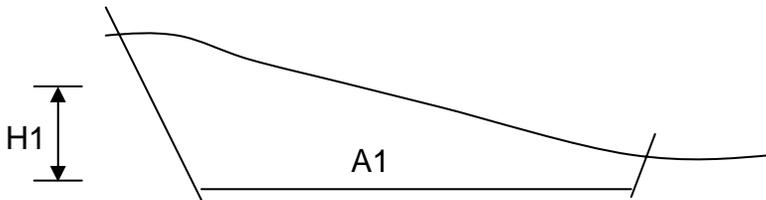
C1 = Área de corte en la primer sección

C2 = Área de corte en la segunda sección

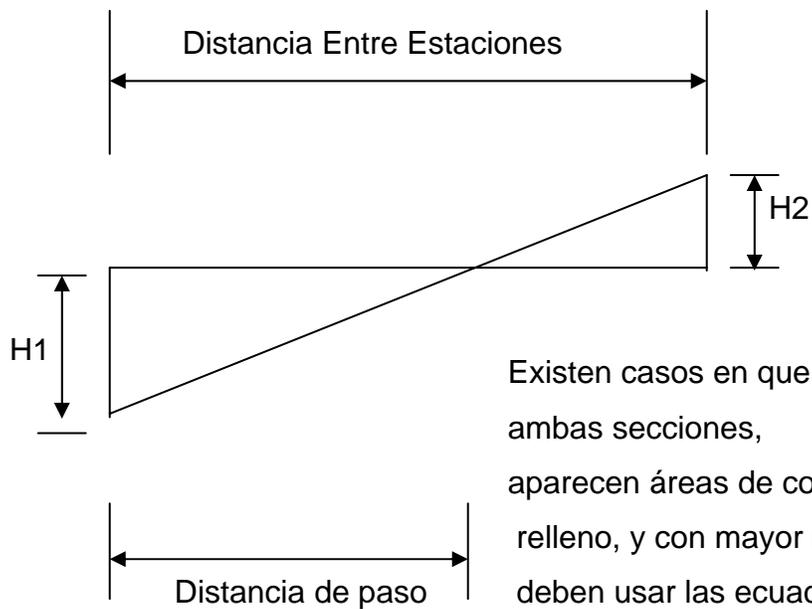
R1 = Área de relleno en la primer sección

R2 = Área de relleno en la segunda sección

**Figura 19. Área de corte**

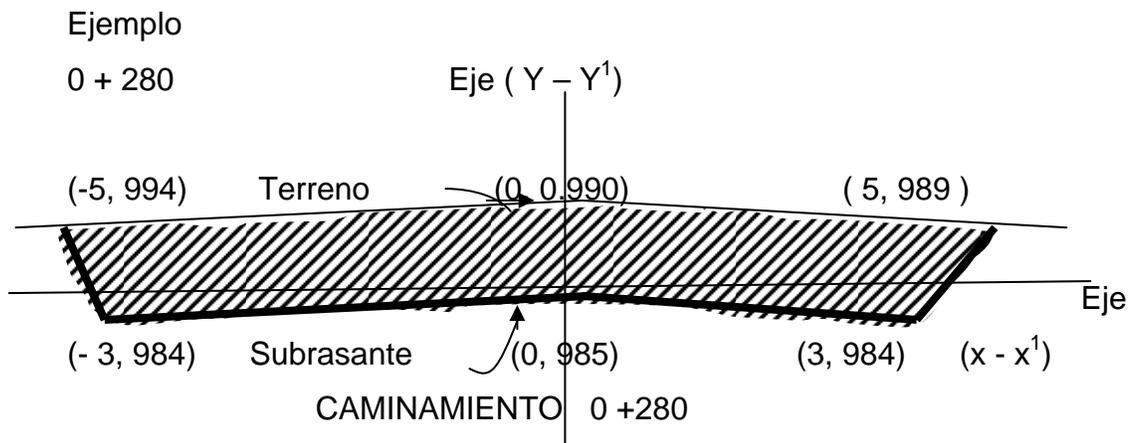


**Figura 20. Área de relleno**



Existen casos en que, en ambas secciones, aparecen áreas de corte y relleno, y con mayor razón se deben usar las ecuaciones anteriores.

**Figura 21. Área de corte del caminamiento**



**Tabla X. Cálculos de volúmenes de movimiento de tierras**

a	X	Y	B
	0	985	
-2955	-3	984	0
-4920	-5	994	-2982
0	0	990	-4950
4950	5	989	0

2967	3	984	4920
0	0	985	2955
$\Sigma = 49$			$\Sigma = - 57$

$$\text{AREA} = A = \left| \frac{a-b}{2} \right| = \left| \frac{49.0 - (- 57.0)}{2} \right| = 53.00 \text{ m}^2$$

El área de corte en 0 + 280 ES 53.00 m<sup>2</sup>

### 3.4. Drenajes

El drenaje tiene la finalidad de desalojar el agua que inevitablemente llega a las alcantarillas y evitar que se estanque en la corona de la carretera. Toda el agua que caiga en exceso a la carretera tiene dos orígenes: puede ser de origen pluvial o de corrientes superficiales, ríos o quebradas.

El agua de escorrentía superficial por lo general se encuentra con la carretera en sentido casi perpendicular a su trazo, por lo que se utiliza para esto, drenaje transversal, según el caudal que se presente.

El agua pluvial debe encauzarse hacia las orillas de la carretera con una pendiente adecuada en sentido transversal. A ésta se le llama “bombeo normal” y generalmente es del 3%. La pendiente longitudinal mínima para la subrasante es del 0.5%.

### **3.4.1. Estudio hidrológico, método racional para la determinación de caudales de diseño**

Para determinar el caudal de escorrentía superficial máxima que puede presentarse en una determinada zona se usa el método racional. Este método consiste en considerar el caudal que se determina (por ejemplo una cuneta) en un momento de máxima intensidad de precipitación.

La ecuación que expresa este principio es:

$$Q = CIA / 360$$

Donde:

Q = Caudal de diseño, en  $m^3 / s$

C = Coeficiente de escorrentía (depende del tipo de superficie que se analice)

A = Área drenada por la cuneta, en hectáreas ( Ha )

I = Intensidad de la lluvia en milímetros por hora ( mm/h )

Existen dos formas de obtener la intensidad que puede afectar a determinada región de Guatemala. La primera es usando las curvas de intensidad versus tiempo. La cual tiene diversas curvas que dan a conocer la posible intensidad que puede ocurrir en determinada frecuencia de años con relación a la duración de la lluvia. En las mencionadas curvas se puede detectar que los aguaceros más fuertes suceden en tiempos cortos.

La segunda forma es usando la ecuación  $I = a/(t+B)$ , donde a y b son constantes proporcionadas por el INSIVUMEH y t es el tiempo de concentración del lugar analizado, que generalmente se considera en 12 minutos. En cuencas grandes debe hacerse un análisis más minucioso considerando la pendiente promedio de la cuenca y de la velocidad de la partícula de agua analizada.

Los coeficientes de escorrentía ( **C** ) más usados en carreteras se enumeran a continuación:

**Tabla XI Coeficientes de escorrentía ( C )**

Centro de la ciudad	0.70	0.95
Fuera del centro de la ciudad	0.50	0.70
Parques, cementerios	0.10	0.25
Áreas no urbanizadas	0.10	0.30
Asfalto	0.70	0.95
Concreto	0.80	0.85
Adoquín	0.70	0.85
Suelo arenoso	0.15	0.20
Suelo duro	0.25	0.30
Bosques	0.20	0.25

El diseño del drenaje de este trabajo se realizó en un área boscosa y se usó un coeficiente  $C = 0.2$ .

### **3.4.2. Diseño de cunetas**

El primer paso para diseñar una cuneta es considerar su longitud y, conforme a esto, el área de carretera que drenará, o del terreno aledaño, si es necesario.

Según las características pluviales del área (detalladas en el numeral anterior), se calcula el caudal que deberá conducirse en la cuneta.

Se establecen las condiciones de la cuneta.

Pendiente

- Tipo de sección que se pondrá en el canal.
- Material del canal (coeficiente de rugosidad).

Con base en esta información se calcula:

- Relación entre área y tirante en el canal.
- Relación entre el radio hidráulico y el tirante que se tenga.
- Caudal que puede conducir el canal según la pendiente y el tirante (Ecuación de Manning).

Igualmente se determina qué tirante deberá tener el canal, para cunetas generalmente se hace de sección trapezoidal, semicircular, cuadrada e, incluso, triangular.

Cuando el tramo que drena la cuneta se hace muy largo, y por ende el área conduce caudales muy altos, se hace necesario descargarlos. En la mayoría de casos se desvía la cuneta hacia una pendiente apropiada, por medio de un canal revestido con concreto o balasto para evitar la erosión y el daño a la sub base y base de la carretera. En caso contrario, se hace pasar por debajo de la carretera con un drenaje transversal.

### 3.4.3. Diseño de drenaje transversal

El drenaje transversal se usa en dos casos:

a) Para evitar que el agua de corrientes superficiales se acumule en un lado de la carretera, y afecte así la base de la misma o que se estanque. En él habrá que determinar el caudal máximo de la corriente (quebrada, río, etc.), por medio de mediciones de la sección de la corriente y de las velocidades del flujo en la época lluviosa del año. También debe averiguarse sobre el nivel máximo que ha alcanzado en otros años. Así mismo, deben observarse otros aspectos, como la pendiente y las condiciones del lecho de la corriente, el esviaje, los puntos de erosión y los puntos posibles de canalización.

b) Para conducir el agua pluvial de un lado al otro de la carretera reunida por las cunetas. En el caso de conducir el agua pluvial proveniente de las cunetas, se puede tomar este dato del diseño ya realizado, con el cuidado de observar cuántas convergen en el punto a estudiar. Para esta opción, generalmente el drenaje se coloca en curvas horizontales para evaluar el caudal de su parte interna donde, debido a la topografía del terreno, el agua de las cunetas converja y se acumularía sin este drenaje. También se coloca en los puntos menores de curvas verticales cóncavas y en tramos rectos donde el caudal a conducir por una cuneta excedería su capacidad y no pudiera desviarse hacia afuera por situaciones topográficas.

Al determinar el caudal y las condiciones que tendrá la estructura a utilizar, el procedimiento para calcular las dimensiones de la alcantarilla a emplear es similar al del numeral anterior. Con la diferencia de que éste puede utilizar una sección casi llena.

En la entrada de un drenaje transversal para conducir el agua de corrientes superficiales fuera de la carretera, debe construirse una caja que ayude a encauzar todo el caudal de la corriente hacia la tubería y un cabezal que proporcione seguridad contra la erosión a causa de la corriente en la salida de ésta.

El procedimiento de diseño para una cuneta y un drenaje transversal es el mismo. Lo único que varía es la sección, ya que en la cuneta generalmente es trapezoidal y en el drenaje transversal es circular, por lo que se ejemplifica el procedimiento para el cálculo de un drenaje transversal.

Ejemplo del diseño de una alcantarilla transversal:

$$\text{Área} = 3 \text{ Ha}$$

$$C = 0.2$$

$$I = 160 \text{ mm/H}$$

Para un aguacero de 10 min. de duración y una frecuencia de 25 años.  
Se usa la ecuación racional:

$$Q = \frac{C I A}{360}$$

$$Q = \frac{0.2 * 160 * 3}{360}$$

$$Q = 0.27 \text{ M}^3 / \text{seg.}$$

### Condiciones de diseño

S= 3%

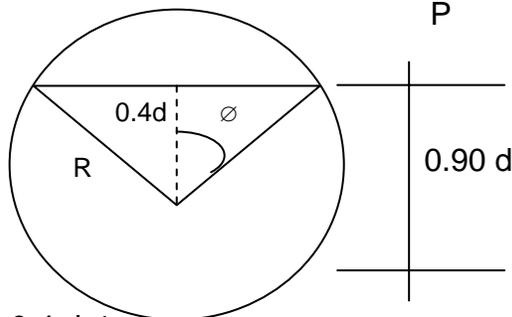
Lleno al 90 %

Q = Los caudales

d = ?

Ecuación de radio hidráulico

$$R = \frac{A}{P} = \frac{\text{área}}{\text{perímetro mojado}}$$



$$\cos \theta = \frac{0.4d}{0.5d}$$

$$\theta = \cos^{-1} \left[ \frac{0.4}{0.5} \right] = 36.86989765 = 36^{\circ}52'11.63'' = 0.6435 \text{ rad}$$

1. ÁREA DEL CÍRCULO =  $\pi * r^2 = \pi * (d/2)^2 = \pi d^2 / 4 = \pi / 4 * d^2$

2. ÁREA DEL SECTOR CIRCULAR:  $0.6435 * (d/2)^2 = 0.161 d^2$

3. ÁREA DEL TRIÁNGULO =  $\frac{1}{2} * (1/2 * (0.4d * 0.3d)) = 0.12 d^2$

$$A = A1 - A2 + A3 = 0.785d^2 - 0.161 d^2 + 0.12 d^2 \Rightarrow A = 0.744d^2$$

$$P = \pi d - 0.6435 * d/2 = (\pi - 0.322) d \Rightarrow P = 2.82 d$$

$$R = \frac{0.74 d^2}{2.82 d^2} = 0.26d$$

Usando la ecuación de Manning

$$Q = \frac{1}{n} A * R^{2/3} * S^{1/2} \quad \text{donde } n = 0.013$$

$$Q = \frac{1}{0.015} * 0.744d^2 * (0.26d)^{2/3} * (0.03)^{1/2}$$

$$Q = \frac{1}{0.015} * 0.744d^2 * 0.407 d^{2/3} * 0.17$$

$$Q = \frac{0.0514}{0.015} d^{8/3}$$

$$Q = 3.4266 d^{8/3} \Rightarrow d = \left[ \frac{Q}{3.4266} \right]^{3/8}$$

PARA  $Q = 0.27 \text{ m}^3 / \text{seg}$

$$d = (0.27 / 3.4266)^{3/8} = 14.96'' = 16''$$

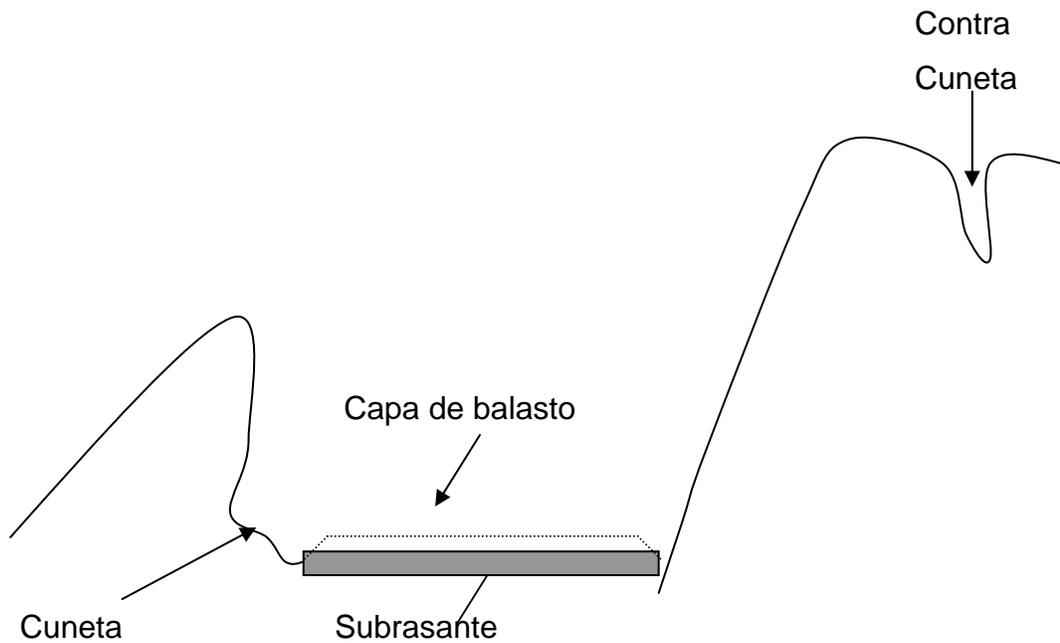
### 3.4.4. Contracunetas

Cuando el área tributaria a un lado de la carretera es demasiado grande y/o inclinada, puede producir algunos problemas. Por ejemplo, aportar un caudal demasiado grande de sedimento, que contribuirá solamente a formar tapones en las cunetas y drenajes.

En el caso mencionado anteriormente, se prefiere construir un canal afuera de la carretera y, que tenga la capacidad de conducir el agua necesaria sin revestimiento, lo cual evita los problemas citados arriba. El cálculo a efectuarse es prácticamente el mismo de las cunetas, pero se considera una superficie de tierra como un factor de seguridad, puesto que por lo general son objeto de menos mantenimiento.

La sección típica utilizada en el proyecto carretero realizado en éste trabajo, se presenta a continuación:

**Figura 22. Sección típica**



### 3.5. Dibujo de curvas de nivel

Cuando se trabaja en un terreno montañoso, es necesario tener una idea exacta de la inclinación del mismo, a fin de apreciar la posición del trazo de la carretera. Con este objetivo, se trazan curvas de nivel en la planta, y se considera el nivel de 5.00 mts, con líneas finas.

Estas curvas generalmente se calcan de las calculadas en el dibujo preliminar. Esta información debe ser complementada con la ubicación de las casas, puentes y drenajes existentes, así como del tipo de terreno que se atraviesa en toda la ruta.

### **3.6. Dibujo de curvas horizontales**

Con el fin de dar un tránsito adecuado de una dirección a otra, es necesario que el trazo de la línea central de la carretera sea una curva lo suficientemente amplia para permitir a los vehículos cambiar de dirección cómodamente.

Las curvas horizontales se dibujarán con líneas finas, y las líneas laterales más gruesas. Con línea punteada se dibujarán los radios de cada curva y sobre estas líneas se escribirán los principios de curva y los principios de tangente. Los datos de la curva, como delta, radio, grado de curvatura, subtangente y la longitud de curva, se escriben a la par de cada curva. Cada tangente debe llevar la longitud y el azimut escritos paralelamente a la trayectoria de la carretera.

### **3.7. Dibujo de curvas verticales**

Para dibujar las curvas verticales, no se hace referencia a ellas en la planta, sino solamente en el perfil. Se localiza el punto de intersección vertical (PIV) y luego hacia cada tangente se mide una distancia de la mitad de la longitud de la curva vertical ( $LCV/2$ ).

Los puntos encontrados son el principio de curva vertical (PCV) y el principio de tangente vertical (PTV). Estos son puntos de tangencia de la curva vertical, que tiene un perfil parabólico simple, con las tangentes verticales. Para trazarla, se puede usar una plantilla de curvas francesas o una de círculos, aunque la primera da mejores resultados.

Cada PCV y PTV son dibujados con círculos de líneas finas de aproximadamente 1 mm. El PIV debe dibujarse con un punto grueso y sobre éste debe indicarse el caminamiento, cota y longitud de curva vertical de cada PIV. El terreno natural se dibuja con una línea fina, y la subrasante con línea más gruesa.

### **3.8. Dibujo de drenajes**

Los drenajes longitudinales, como las cunetas y contracunetas, no se trazan en la planta ni en el perfil, si bien el ancho de la carretera en la planta ya contempla el ancho necesario para la cuneta.

En los proyectos de carreteras pavimentadas se debe hacer una plantilla de cunetas para indicar el caminamiento y el lado izquierdo o derecho en que se construirán.

Para señalar los drenajes transversales se emplea el perfil, donde, en el punto adecuado, se dibuja un símbolo ubicado en el caminamiento y altura a la que se ubicará. Se rotula el caminamiento, diámetro del tubo, material (metálico o de concreto reforzado) y la cota invert de desfogue.

En la planta se señalan los drenajes transversales solamente en casos en que tenga que formarse un puente o bóveda muy grande para que la carretera pase sobre un río.

En hojas adicionales se deben dibujar detalles de los drenajes, tanto longitudinales como transversales, indicando la forma de entrada (caja, entrada a una bóveda, etc.); la forma de salida (cabezal, salida de una bóveda, etc.); la sección, si tiene alguna característica especial y cualquier otro detalle que se considere digno de mención. Se debe dibujar también el desfogue de las cunetas, así como su sección y la de la contracuneta, que por lo general son las mismas a lo largo de toda la carretera, de existir condiciones especiales, deben señalarse y explicarse.

### **3.9. Dibujo de sección típica**

En toda su extensión, la carretera tiene una sección que permanece uniforme la mayoría de las veces. A esta sección se le llama "típica". Según el tramo de la carretera, la sección típica puede ser de alineamiento horizontal y de alineamiento curvo.

La sección de alineamiento horizontal está constituida por:

- **ANCHO DE RODADURA:** Es el lugar donde se proyecta que transiten los vehículos; tiene una pendiente de bombeo normal en un sentido perpendicular al trazo de la carretera, descendiendo del centro a las orillas. En este caso es de balasto, con una pendiente de bombeo normal de 3%.

- **HOMBRO DE LA CARRETERA:** Es un espacio que no se diseña para ser transitado, pero que provee una separación prudencial entre el ancho de rodadura y la cuneta; por lo general tiene una pendiente de bombeo de 4% - 5% y en proyectos de terracería no existe, ya que en estos casos las cunetas se utilizan para situaciones de rebase.
- **CUNETAS:** Diseñada según las características topográficas y pluviales del área.
- **TALUDES:** Ya que no se puede generalizar un talud uniforme para todo el recorrido de la carretera, se muestran proyecciones de relleno en un lado y de corte en el otro, según sea la altura de los mismos.

La sección de alineamiento curvo posee los mismos elementos que la anterior, con la diferencia de que la pendiente de la carretera perpendicular a su trazo es gobernada por el peralte, es decir, la inclinación que desciende de la parte externa de la curva hacia la interna, la cual es necesaria para que los automóviles giren sin peligro de salirse de la carretera, siempre que vayan a la velocidad de diseño.

### **3.10. Dibujo de obras especiales**

Las obras especiales que se encuentran en una carretera pueden ser puentes, bóvedas, cajas, cabezales, muros de contención, cunetas, tipos no comunes de drenajes y elementos semejantes.

Estos elementos se dibujarán con el detalle necesario en hojas separadas, con una clara referencia entre la localización de la obra de arte y su hoja de

detalles. Los planos de las obras a construir deben estar a escalas claras, poseer dimensiones y especificaciones de construcción, así como de los materiales a utilizar.

Muchas de estas obras especiales ya están reguladas por el departamento de Carreteras de la Dirección General de Caminos (DGC), por lo que pueden copiarse tales planos y adjuntarlos al proyecto final, si son idóneos para el caso.

## 4. SUELOS

El suelo es un factor determinante en la estabilidad de una carretera. Es necesario llevar un control de su estado para tener la seguridad de la buena calidad de la misma.

Entre los problemas más frecuentes del suelo están:

- Deslizamientos
- Baches
- Colapsos

Los deslizamientos se manifiestan en los cortes cuya cohesión no es lo suficientemente fuerte para mantener el talud en caso de temblores o saturación. Por lo general los deslizamientos se presentan en puntos donde el terreno presenta capas que pueden deslizarse en sentido perpendicular al trazo de la carretera o poseen un material muy plástico.

En el trazo mismo de la carretera se pueden presentar baches causados por material altamente plástico; este material, cuando se satura, posee un soporte casi nulo para el tránsito y por lo general queda deformado permanentemente y deja un bache en la carretera, que obstaculiza el tránsito y daña a los vehículos, que se golpean al pasarlo.

En el trazo de la carretera pueden encontrarse capas rocosas que son aparentemente estables, pero que cuando hay un exceso de presión colapsan por huecos presentes, dejan cavernas donde estuvieron y provocan que la

carretera caiga aun solamente por su propio peso. Estas formaciones rocosas son, en su generalidad, carbonatos solubles en el agua de lluvia. Por lo mismo, deben evitarse las filtraciones para que no se disuelvan y formen huecos mayores que hagan fallar el suelo.

Para evitar los deslizamientos, hay que procurar, en lo posible, no situar el trazo de la carretera en sentido perpendicular a las posibilidades de deslizamiento de las capas de rocas presentes.

En caso de tener un material altamente plástico, para evitar baches, debe estabilizarse con cal o cemento, o eliminarse y sustituirlo por otro de mejores características.

Para eliminar las posibilidades de un colapso del material, se inyecta lechada de cemento donde se localicen huecos subsuperficiales. Este mismo procedimiento se utiliza para evitar las filtraciones de agua.

Por otra parte, es necesario conocer los tipos de suelo que conforman el tramo carretero, para poder dar el tratamiento adecuado y hacer que éstos puedan soportar más cargas sin deformarse, proporcionar mayor impermeabilidad y dar alojamiento a las estructuras que se construyan en el proyecto para brindar mayor seguridad de que no colapsarán.

Por lo anterior, la manera más apropiada de estudiar el suelo y conocer sus propiedades está en el laboratorio, por lo que se detallan a continuación los ensayos a realizar en un suelo.

## **4.1. Pruebas de laboratorio**

Las pruebas que se practican a los suelos en el laboratorio tienen como finalidad descubrir la mejor manera de manejarlos para obtener los mejores resultados y comprobar cuán buenos pueden ser éstos. También se utilizan para determinar la proporción granulométrica de los suelos y determinar qué compactación presentan.

Las pruebas en laboratorio se clasifican de la siguiente manera:

- Análisis granulométrico
- Límites de Atterberg: Límite líquido, límite plástico
- Proctor
- Chequeo de compactación en campo

### **4.1.1. Granulometría**

El análisis granulométrico es necesario, debido a que según la distribución del tamaño de los granos del suelo, así será el porcentaje de vacíos que éste pueda tener. Para realizar este análisis se sigue el procedimiento siguiente:

Se determina el volumen de suelo necesario para realizar la prueba de (100 a 200 gr. para suelos de grano fino, 200 a 500 gr. para suelos arenosos o 1 a 3 kg. para suelos gravosos).

Se seca la muestra en una estufa y se pesa en seco. Esta misma se lava, haciéndola pasar por el tamiz más fino (No. 200). Se desecha el material fino

que pase por el tamiz y se pesa lo sobrante, luego de secarlo en un estufa de 105<sup>o</sup> C.

Se desmenuzan los terrones del material con un rodillo, haciéndolo rodar sobre una superficie llana. Se termina de pulverizar el material con la mano de mortero recubierta de goma hasta que se pulverice completamente.

Se coloca la muestra pesada y pulverizada en un juego de tamices, colocando el más grueso arriba y en orden decreciente hacia abajo, cerrando el último con la cazoleta y el superior con la tapa; se sacude vigorosamente el conjunto con un movimiento rotativo horizontal, por un tiempo no menor de 15 minutos, dejándolo caer ligeramente sobre una superficie blanda.

Se pesa el material retenido por cada tamiz, refiriéndolo como un porcentaje del peso total. Al peso de los finos que queden en la cazoleta se le añade la diferencia de peso en el lavado del suelo.

La American Society For Testing and Materials (ASTM) clasifica a los suelos por su tamaño, dando el nombre de **arcilla** al suelo cuyo tamaño sea menor a 0.005 milímetros; **limo** al suelo que oscile entre los 0.005 a 0.05 milímetros; **arena** al suelo que oscile entre los 0.05 a los 2 milímetros; **grava** al suelo que tiene un tamaño mayor a 2 milímetros y menor a 60 milímetros. A los suelos mayores a los 60 milímetros se les llama **pedregones**. Es claro, entonces, que la granulometría revela propiedades importantes del suelo que en ingeniería civil son de suma importancia, ya que se sabe que los suelos finos se caracterizan por su plasticidad y los suelos gruesos por su soltura, y se sabe también que la combinación de suelos finos con gruesos hacen a un material propicio para compactar y soportar cargas.

#### **4.1.2. Límites de Atterberg**

Son base para determinar la forma de trabajar el suelo y su respuesta frente a la humedad. Por otra parte, sirven para el diseño de bases en pavimentos flexibles. Miden la consistencia del suelo con relación a la misma.

Un suelo puede ser sólido hasta cierta cantidad de humedad; si ésta aumenta puede deformarse con poca presión, y entonces se dice que está en un estado plástico; si la humedad crece de tal manera que el suelo fluye cuando se golpea, se dice que está en un estado líquido. La determinación de estos estados y los límites entre ellos se da arbitrariamente, según los ensayos que se explican a continuación.

#### **4.1.3. Límite líquido**

Es el que está entre el estado líquido de un suelo y su estado plástico. Se define como el contenido de humedad, expresado en porcentaje de su peso seco, bajo el cual el suelo comienza a fluir después de 25 golpes, utilizando el aparato propuesto por A. Casagrande.

Para determinarlo, se pulverizan aproximadamente de 100 a 150 gr. de material seco, con la mano del mortero cubierta con goma, sobre una superficie limpia y lisa; luego se cierne la muestra a través de un tamiz No. 40, se descarta el material retenido en él y se mezcla con agua el suelo que pasó por dicho tamiz, hasta que tenga la consistencia de una pasta espesa pero no suave, la que se cubre con una manta o papel y se deja reposar una hora como mínimo.

Antes de empezar el ensayo, se mezcla nuevamente la muestra usando una espátula y se separa una cucharada del material para utilizarla en el ensayo del límite plástico. Se coloca material en el platillo de bronce del aparato Casagrande hasta llenarlo a 1/3 de su capacidad, se usa una espátula para mezclar y extender el material y formar una masa lisa de 1 cm. de espesor. En el punto de máxima profundidad se divide la pasta en dos partes con el acanalador, por medio de un trazo firme a lo largo del diámetro, que arranque del centro del soporte y forme un surco bien claro y definido. Para suelos arenosos se requiere usar el acanalador varias veces para evitar desgarrar los lados del surco; la profundidad de éste debe hacerse cada vez mayor y solamente el último trazo debe llegar al fondo del platillo.

Con el aparato limpio, seco y bien calibrado, se coloca el platillo en él y se gira la manivela a razón de dos golpes por segundo, contando el número de golpes necesarios para que el fondo del surco se cierre en una longitud de ½ pulgada. Si las mitades de la muestra se unen a los 25 golpes, se toma una muestra de la masa y se le mide el contenido de humedad, el cual será el del límite líquido del material. Si la cantidad de golpes es menor a 25, se toma una muestra del material, se mide el contenido de humedad y se agrega más agua para repetir la prueba. Si la cantidad de golpes es mayor de 25, se obtiene la humedad del suelo y se agrega más suelo para repetir la prueba.

Se plotea en papel semilogarítmico la cantidad de golpes contra el porcentaje de humedad y se interpola en caso necesario para obtener el límite líquido.

#### **4.1.4. Límite plástico**

Es el contenido de agua que tiene el límite inferior de su estado líquido, el límite plástico de un suelo se acepta como el contenido de humedad que permite cilindrarlo haciendo bastoncitos de 3 mm. de diámetro sin que se rompan. Para realizar el ensayo que determina este límite se toma la cucharada de muestra utilizada para el ensayo de límite líquido y se deja secar hasta que alcance una consistencia que no se adhiera a la de la mano, pero que permita ser cilindrada sin que se rompa.

En ese momento se divide la muestra en dos partes, se toma una y con la palma de la mano se hace rodar sobre una superficie lisa y llana, con una hoja de papel no absorbente o vidrio, hasta que tenga 3 mm. de diámetro. Se repite el mismo procedimiento hasta que el cilindro se resquebraje por disminuir su humedad debido a la manipulación. Se determina en ese preciso momento su contenido de humedad. El resultado se comprueba con la otra parte de la muestra.

#### **4.1.5. Proctor**

Es necesario mencionar que la prueba de proctor se creó para determinar la relación entre la humedad óptima con que un suelo puede alcanzar su máxima densidad posible, es decir, su máxima compactación, ya que la escasez de agua en un suelo y la abundancia de la misma ocasiona que el suelo no pueda ser compactado al máximo.

Un suelo debe compactarse porque esto mejora su capacidad de soportar cargas, disminuye la absorción del agua y reduce la sedimentación. Es necesario encontrar una relación entre el contenido apropiado de agua a usar

en un volumen determinado de suelo y la máxima densidad que el suelo compactado puede alcanzar, todo esto se hace en el laboratorio antes de iniciar el trabajo de campo.

En la prueba Proctor se compacta una muestra del suelo en un recipiente estándar de 101.6 Mm de diámetro por 116.6 Mm de altura, con una capacidad de 0.00094 M3. El recipiente se llena con tres capas de igual espesor. Cada capa del suelo se compacta empleando una pesa de 2.5 Kg., que se eleva a una distancia de 0.3048 metros y se deja caer 25 veces, uniformemente sobre cada capa del suelo, obteniéndose una muestra del suelo que ha recibido un total de 60.579 metro kilos de energía por metro cúbico ( $m \cdot kg/m^3$ ), calculado como sigue:  $0.3048 \text{ mts.} \cdot 2.5 \text{ kg.} \cdot 25 \text{ caídas} \cdot 3 \text{ capas} = 57.15 \text{ Mts.} \cdot \text{kg.}$ , y 1 m<sup>3</sup> de suelo tiene 1060 veces el volumen de la muestra usada en la prueba de Proctor, entonces  $1/0.0094 \text{ M3}$  es equivalente a  $1060/M3$  por lo que  $57.15 \cdot 1060/M3 = 60.579 \text{ Mts.} \cdot \text{Kg/M3}$ .

Después de golpear la muestra de suelo, ésta se pesa (peso húmedo) y, luego, se pesa otra vez después de secar el suelo en un horno (peso seco). La diferencia entre estos pesos representa el peso del agua que contenía el suelo. La densidad del suelo seco puede ahora indicarse en kilos por metro cúbico. La cantidad de agua o de humedad también puede indicarse como un porcentaje del peso seco.

Ejemplo:

Para muestra de 0.00075 M3 de suelo

Peso del suelo húmedo = 2.08 Kg

Peso del suelo seco = 1.90 Kg

Pérdida del peso del agua = 0.18 Kg

Luego, se hace el siguiente cálculo:

Densidad del suelo seco = 1.90 Kg. / 0.00075 M3 = 2,533.33 Kg./M3

% de humedad = ( 0.18 Kg. / 1.90 Kg.) \* 100 = 9.47%

El procedimiento anterior se repite añadiendo al suelo distintas cantidades de agua para cada repetición, anotando los pesos del suelo lo mismo que los porcentajes de humedad, como se hizo anteriormente. Los datos anteriores se marcan en una gráfica, en donde en el eje de la equis se anotarán los diferentes porcentajes de humedad y en el eje de la ye la densidad en seco que corresponde a cada porcentaje de humedad. Por lo general la gráfica es ascendente y empieza a descender, y en ese punto el suelo alcanza su densidad Proctor máxima y el porcentaje de mejor compactación en que se puede trabajar un determinado suelo.

La prueba de laboratorio anterior fue desarrollada por R.R. Proctor, un ingeniero municipal de la ciudad de Los Ángeles, California, a principios de la década de 1930. Ahora ha sido aceptada por toda la industria de construcción y es reconocida como la prueba de Proctor Estándar. La tendencia a edificar estructuras de gran peso, como centrales de energía nuclear y pistas para aviones de propulsión a chorro, ha aumentado la exigencia de especificaciones de compactación más rígidas.

Para dichas estructuras se ha desarrollado una prueba Proctor modificada, los principios y procedimientos para ambas pruebas son muy semejantes. Sus diferencias se enmarcan a continuación.

**Tabla XII. Proctor**

<b>ESPECIFICACIONES</b>	<b>PROCTOR ESTÁNDAR</b>	<b>PROCTOR MODIFICADO</b>
Peso del martillo	2.5 Kg.	4,536 Kg.
Distancia del golpe	30.48 Cm.	45.72 Cm.
Número de capas del suelo	3	5
Número golpes por capa	25	25
Volumen del cilindro. Prueba	0.00094	0.00094
Energía transmitida suelo	60.579 Kg / m <sup>3</sup>	274,786.0 Kg /m <sup>3</sup>

### **Chequeo de compactación de campo**

La prueba más usada en ausencia de equipos bastante costosos es el método de **cono de arena**, el cual consiste en excavar un hueco de 15 cms. de ancho por 15 cms. de profundidad en el suelo compactado. Se pesa el suelo extraído del hueco, luego se seca completamente y se vuelve a pesar. La cantidad de agua perdida, dividida por el peso en seco da por resultado el porcentaje de humedad del suelo. Un aparato en forma de cono y un frasco que contienen granos finos y uniformes de arena especial se colocan sobre el agujero, el cual se llena con ésta. Así será posible conocer el volumen del agujero perforado, ya que es igual al volumen que ocupa la arena extraída del frasco.

Al dividirse el peso en seco del suelo que se extrae entre el volumen de la arena que se requiere para llenar el agujero, se obtiene la densidad del suelo compactado en Kg/m<sup>3</sup>. La densidad obtenida se compara con la densidad máxima de una prueba Proctor, obteniéndose la densidad Proctor relativa. El

método del cono de arena es reconocido y aceptado, pero tiene como inconveniente los errores humanos y que la prueba dura un par de horas. Así se torna impráctico realizar la prueba después de cada pesada de compactación.

Para ahorrar tiempo con los avances tecnológicos y científicos se usa con mayor frecuencia el método nuclear, el cual es un medidor de la densidad / humedad, y opera según el principio de que los suelos densos absorben más radiación que suelos sueltos. El medidor nuclear se coloca directamente sobre el suelo que se va a probar y se conecta para que funcione, los rayos gama de una fuente radioactiva penetran en el suelo y, según sea el número de vacíos de aire que existan, un número de los rayos se reflejan y vuelven a la superficie. Estos rayos que se reflejan son registrados en el contador; luego, la lectura del contador se compara con los datos en un cuadro que indica la densidad del suelo en kilos por metro cúbico.

Esta densidad se compara con la densidad máxima de una prueba Proctor y se obtiene la densidad relativa Proctor. El método nuclear ha adquirido popularidad debido a su exactitud y rapidez, ya que los resultados se obtienen en tres minutos y el suelo no se perturba como en la prueba del **cono de arena**.

La prueba Proctor de laboratorio descrita con anterioridad, junto con estas dos pruebas de campo, representan la parte teórica de la compactación que deben comprenderse.

Aunque los ensayos expuestos anteriormente tienen mayor aplicación en la fase de construcción de un proyecto carretero, en este trabajo se hicieron los ensayos correspondientes al tipo de suelo predominante en la subrasante, de la aldea Chica Zapote y aldea Peña, en el laboratorio de suelo de la Supervisora

No. 14 de carreteras, construcciones y Supervisiones de Asfaltos (CONCISA), para que puedan ser útiles en la construcción del proyecto. Los resultados se adjuntan al final del presente capítulo.

#### **4.2. Características técnicas del material de balasto**

Se le llama balasto al material selecto que se coloca sobre la subrasante con que termina una carretera, el cual se compone de un material bien graduado, es decir, que consta de material fino y grueso, con el objeto de protegerla y de que sirva de superficie de rodadura, el cual debe cumplir con las condiciones siguientes:

- Debe ser de calidad uniforme y exento de residuos de madera, raíces o cualquier material perjudicial o extraño.
- El material de balasto debe tener un peso unitario suelto no menor de 80 libras/ pie cúbico.
- El tamaño máximo del agregado grueso del balasto no debe exceder de 2/3 del espesor de la capa a utilizar y en ningún caso debe ser mayor de 10 cm.
- La capa del balasto a colocarse sobre la subrasante no debe ser menor a los 10 cm.
- La porción del balasto retenida en el tamiz No.4 (4.75mm) debe estar comprendida entre el 70 % y el 30% en peso.

- La porción del balasto que pase el tamiz No. 40 ( 0.425mm. ) debe tener un límite líquido no mayor de 35 y un índice de plasticidad entre 5 y 11.
- La porción de balasto que pase el tamiz No 200 (0.075mm) no debe exceder de 25% en peso.

Por otra parte, la colocación del balasto debe hacerse en capas no mayores a los 25cm., y compactado a 90% Proctor. Para el presente trabajo, se utilizará el balasto ubicado en la cumbre de la aldea Chica Zapote, el cual cumple con los requerimientos anteriormente enumerados.

#### **4.3. Resultados del ensayo de suelos realizado a la subrasante de la carretera diseñada en el trabajo de graduación**

Examen visual: arcilla limosa, color café.

Clasificación: A-7-6 L:P: 29.8 I:P: 18.4

Proctor modificado: 98.5%

Humedad óptima: 23.6%

Índice de grupo : 12

Equivalente de arena: 11.9%

C.B.R. 9.3%



## 5. PRESUPUESTO

La finalización de cualquier diseño de carretera conlleva a preguntarse ¿cuánto cuesta este proyecto?, por lo que es de suma importancia conocer la forma adecuada de calcular y, a la vez, de presentar un diseño completo de carreteras. Por lo mismo, es de suma importancia conocer los rendimientos de la maquinaria a usar, así como el costo por hora.

Al elaborar un presupuesto de carreteras, se parte del hecho de haber cuantificado ya los diferentes renglones de trabajo, por lo que la Dirección General de Caminos ha estandarizado los renglones a cuantificar, así como la unidad de medida a utilizar en la mencionada cuantificación. Todos los renglones de trabajo poseen un código, el cual corresponde al capítulo e inciso en que se encuentran detallados los diferentes trabajos que conlleva el renglón en cuestión, en las **ESPECIFICACIONES GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS Y PUENTES**.

Los precios que se usen en el presupuesto incluyen los costos por materiales, mano de obra, maquinaria y equipo, así como por imprevistos, utilidades y prestaciones. Por lo tanto los contratistas deben tener un amplio conocimiento de los mismos para no errar en sus presupuestos.

Lo anterior conlleva a la facilidad de análisis de un presupuesto y su comparación ante los precios de diferentes empresas que deseen ser contratadas para la construcción de una carretera.



**TABLA XIII. Cronograma de actividades**

**PROYECTO:** APERTURA DE CARRETERA  
**COMUNIDAD:** ALDEA CHICA ZAPOTE A ALDEA PEÑA  
**MUNICIPIO:** SAN MIGUEL IXTAHUACÁN  
**DEPARTAMENTO:** SAN MARCOS  
**FECHA:** FEBRERO DE 2004

**CUADRO DE INTEGRACION DE COSTOS Y CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES**

REGLON CONTRATADO CON EL EJECUTOR								CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES		
No	REGLON	UNIDAD	CANTIDAD CONTRATADA	PRECIO UNITARIO Q	COSTO APORTE ENTIDAD Q	% POR ACTIVIDAD	TIEMPO DE ACTIVIDADES			
							1	2	3	
<b>TERRACERIA</b>										
1	RECTIFICACION DE LINEA CENTRAL	ML	2,812.98	Q 1.75	Q 4,922.72	1.15				
2	DESCOMBRO MONTE BAJO	HORAS/MAGUINA	16,877.90	Q 200.00	Q 4,219.48	0.99				
3	MOVIMIENTO DE TIERRA	HORAS/MAGUINA	8,789.08	Q 200.00	Q 60,847.44	14.22				
4	CONFORMACION DE TERRACERIA	HORAS/MAGUINA	16,877.90	Q 175.00	Q 7,384.08	1.73				
5	COMPACTACION DE TERRACERIA	HORAS/MAGUINA	16,877.90	Q 175.00	Q 6,329.21	1.48				
6	MATERIAL EXPLOSIVO PARA BANCO	CAJAS	4.00	Q 1,500.00	Q 4,500.00	1.05				
<b>SUPERFICIE REVESTIDA BASE</b>										
7	RECTIFICACION DE NIVELES	ML	2,812.98	Q 1.75	Q 4,782.07	1.12				
8	REVESTIMIENTO VOLUMEN DE BALASTO									
8.1	VOLUMEN COMPACTADO									
8.1.1	BALASTO COMPACTADO	M3	4,219.48	Q 200.00	Q 23,734.55	5.55				
8.2	VOLUMEN DE BANCO									
8.2.1	CORTE Y CARGA DE MATERIAL	M3	5274.35	Q 160.00	Q 32,964.66	7.70				
8.3	VOLUMEN SUELTO									
8.3.1	TRASPORTE DE BALASTO	M3	5274.35	Q 80.00	Q 64,464.22	15.07				
8.3.2	TENDIDO DE BALASTO	M3	5,274.35	Q 200.00	Q 30,767.01	7.19				
9	COMPRA DE BANCO	UNIDAD	1.00	Q 8,000.00	Q 8,000.00	1.87				
10	MATERIAL EXPLOSIVO PARA BANCO	CAJAS	3.00	Q 1,500.00	Q 4,500.00	1.05				
<b>DRENAJES</b>										
11	DRENAJES TRANSVERSALES	UNIDAD	13	Q 5,523.75	Q 71,808.75	16.78				
12	CONSTRUCCION DE CUNETAS	ML	5063.37	Q 20.00	Q 30,380.23	7.10				
13	CONSTRUCCION DE CONTRACUNETAS	ML	2672.33	Q 20.00	Q 13,361.67	3.12				
14	TRANSPORTE DE MAQUINARIA	VIAJES	4.00	Q 3,800.00	Q 15,200.00	3.55				
15	HERRAMIENTA	GLOBAL	1.00	Q 3,729.66	Q 3,729.66	0.87				
16	ASESORIA TECNICA PROFESIONAL	GLOBAL	1.00	Q 11,188.98	Q 11,188.98	2.61				
17	MANO DE OBRA CALIFICADA	GLOBAL	1.00	Q 9,324.15	Q 9,324.15	2.18				
18	MANO DE OBRA NO CALIFICADA	GLOBAL	1.00	Q 3,729.66	Q 3,729.66	0.87				
19	ROTULO	UNIDAD	1.00	Q 1,118.90	Q 1,118.90	0.26				
20	IMPREVISTOS	GLOBAL	1.00	Q 2,237.80	Q 2,237.80	0.52				
21	SEVICIOS ADMINISTRATIVOS	GLOBAL	1.00	Q 7,459.32	Q 7,459.32	1.74				
22	FIANZAS	GLOBAL	1.00	Q 932.42	Q 932.42	0.22				
<b>TOTAL APORTE ENTIDAD CON EL EJECUTOR</b>					<b>Q 427,886.99</b>	<b>100.00</b>				

COMUNIDAD  
MUNICIPIO  
DEPARTAMENTO  
FECHA:

ALDEA CHICA ZAPOTE A ALDEA PEÑA  
SAN MIGUEL IXTAHUACAN  
SAN MARCOS  
Feb-04

**PRESUPUESTO DE TERRACERIA**

No	DESCRIPCION	CANTIDAD	RENDIMIENTO	HORA	PRECIO UNITARIO	TOTAL
	<b>LONGITUD NETA</b>	<b>2812.98</b>	<b>ML</b>			
	<b>SECCION TIPICA "E" ONDULADA</b>					
1	RECTIFICACION DE LINEA CENTRAL	2812.98	ML		Q 1.75	Q 4,922.72
2	DESCOMBRO MONTE BAJO (DMB=ML*8) TRACTOR D6D CAT (SIMILAR)	16877.90	600.00 M2/H	28	Q 150.00	Q 4,219.48
3	MOVIMIENTO DE TIERRA (VOLUMEN DE CORTE) CORTE DE MATERIAL NO CLASIFICADO TRACTOR D6D CAT (SIMILAR)	8789.08	65.00 M3/H	135	Q 450.00	Q 60,847.44
4	CONFORMACION Y NIVELACION DE TERRACERIA MOTONIVELADORA 120 G CAT (SIMILAR)	16877.90	800.00 M2/H	21	Q 350.00	Q 7,384.08
5	COMPACTACION DE TERRACERIA MOTONIVELADORA HASSER (SIMILAR)	16877.90	600.00 M2/H	28	Q 225.00	Q 6,329.21
6	MATERIAL EXPLOSIVO DINAMITA Y ESTOPINES (SIMILAR)	3.00	CAJAS		Q 1,500.00	Q 4,500.00
	<b>SUBTOTAL EN TERRACERIA</b>				<b>Q</b>	<b>88,202.94</b>

**PRESUPUESTO DE SUERFICIE REVESTIDA BASE**

No	DESCRIPCION	CANTIDAD	RENDIMIENTO	HORA	PRECIO UNITARIO	TOTAL
11	RECTIFICACION DE NIVELES	2812.98	ML		Q 1.70	Q 4,782.07
12	REVESTIMIENTO VOLUMEN DE BALASTO					
12.1	VOLUMEN COMPACTADO (VC=ML*6*0.25)		40.00			
12.1.1	BALASTO COMPACTADO VIBRO-COMPACTADORA HASSER (SIMILAR)	4219.48	M3/H	105	Q 225.00	Q 23,734.55
12.2	VOLUMEN BANCO (VB=VC/0.80)		40.00			
12.2.1	CORTE Y CARGA DE MATERIAL RETRO ESCAVADORA CASE-930 (SIMILAR)	5274.35	M3/H	132	Q 250.00	Q 32,964.66
12.3	VOLUMEN SUELTO (VS=VB*1.3)		9.00			
12.3.1	TRANSPORTE BALASTO CAMION DE VOLTEO Doble eje 8-M3 (SIMILAR)	5274.35	M3/H	586	Q 110.00	Q 64,464.22
12.3.2	TENDIDO DE BALASTO MOTONIVELADORA 120-G (SIMILAR)	5274.35	60.00 M3/H	88	Q 350.00	Q 30,767.01
13	COMPRA DE BANCO (NO MAYOR DE 4 KMS)	1.00	UNIDAD		Q 8,000.00	Q 8,000.00
14	MATERIAL EXPLOSIVO PARA BANCO	3	CAJAS		Q 1,500.00	Q 4,500.00
	<b>SUBTOTAL EN SUPERFICIE REVESTIDA BASE</b>				<b>Q</b>	<b>169,212.51</b>

## PRESUPUESTO DE DRENAJE TRANSVERSAL

No	DESCRIPCION	CANTIDAD	RENDIMIENTO	HORA	PRECIO UNITARIO	TOTAL
11	DRENAJE TRANSVERSAL 24" DIAMETRO DE METAL GALVANIZADO CORRUGADO CON SUS CABEZALES DE CONCRETO CICLOPEO	13	UNIDAD		Q 5,523.75	Q 71,808.75
12	CONSTRUCCION DE CUNETAS LONGITUDINALES NATURALES (0.60 DE ANCHO*0.30 DE ALTO)	5063.37	ML		Q 6.00	Q 30,380.23
13	CONSTRUCCION DE CONTRACUNETAS LONGITUDINALES NATURALES (0.40 DE ANCHO*0.20 DE ALTO)	2672.33	ML		Q 5.00	Q 13,361.67
<b>SUBTOTAL EN DRENAJES TRANSVERSALES</b>						<b>Q 115,550.65</b>

### RESUMEN DE RENGLONES DE TRABAJO

No	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL	TOTAL
<b>TERRACERIA</b>						<b>Q 88,202.94</b>
1	RECTIFICACION DE LINEA CENTRAL	2812.98	ML	Q 1.75	Q 4,922.72	
2	DESCOMBRO MONTE BAJO	16877.90	HORAS/MAQUINA	Q 200.00	Q 4,219.48	
3	MOVIMIENTO DE TIERRA	8789.08	HORAS/MAQUINA	Q 200.00	Q 60,847.44	
4	CONFORMACION DE TERRACERIA	16877.90	HORAS/MAQUINA	Q 175.00	Q 7,364.08	
5	COMPACTACION DE TERRACERIA	16877.90	HORAS/MAQUINA	Q 175.00	Q 6,329.21	
6	MATERIAL EXPLOSIVO PARA BANCO	3.00	CAJAS	Q 1,500.00	Q 4,500.00	
<b>SUPERFICIE REVESTIDA BASE</b>						<b>Q 169,212.51</b>
7	RECTIFICACION DE NIVELES	2812.98	ML	Q 1.75	Q 4,782.07	
8	REVESTIMIENTO VOLUMEN DE BALASTO					
8.1	VOLUMEN COMPACTADO					
8.1.1	BALASTO COMPACTADO	4219.48	M3	Q 200.00	Q 23,734.55	
8.2	VOLUMEN DE BANCO					
8.2.1	CORTE Y CARGA DE MATERIAL	5274.35	M3	Q 160.00	Q 32,964.66	
8.3	VOLUMEN SUELTO					
8.3.1	TRASPORTE DE BALASTO	5274.35	M3	Q 80.00	Q 64,464.22	
8.3.2	TENDIDO DE BALASTO	5274.35	M3	Q 200.00	Q 30,767.01	
9	COMPRA DE BANCO	1.00	UNIDAD	Q 8,000.00	Q 8,000.00	
10	MATERIAL EXPLOSIVO PARA BANCO	3	CAJAS	Q 1,500.00	Q 4,500.00	
<b>DRENAJES</b>						<b>Q 115,550.65</b>
11	DRENAJES TRANSVERSALES	13	UNIDAD	Q 5,523.75	Q 71,808.75	
12	CONSTRUCCION DE CUNETAS	5063.37	ML	Q 20.00	Q 30,380.23	
13	CONSTRUCCION DE CONTRACUNETOS	2672.33	ML	Q 20.00	Q 13,361.67	
14	TRANSPORTE DE MAQUINARIA	4	VIAJES	Q 3,800.00		Q 15,200.00
15	HERRAMIENTA	1	GLOBAL	Q 3,729.66		Q 3,729.66
16	ASESORIA TECNICA PROFESIONAL	1	GLOBAL	Q 11,188.98		Q 11,188.98
17	MANO DE OBRA CALIFICADA	1	GLOBAL	Q 9,324.15		Q 9,324.15
18	MANO DE OBRA NO CALIFICADA	1	GLOBAL	Q 3,729.66		Q 3,729.66
19	ROTULO	1	UNIDAD	Q 1,118.90		Q 1,118.90
20	IMPREVISTOS	1	GLOBAL	Q 2,237.80		Q 2,237.80
21	SEVICIOS ADMINISTRATIVOS	1	GLOBAL	Q 7,459.32		Q 7,459.32
22	FIANZAS	1	GLOBAL	Q 932.42		Q 932.42
<b>COSTO TOTAL</b>						<b>Q 427,886.99</b>



## CONCLUSIONES

1. El diseño del tramo carretero presentado en el trabajo de graduación, cumple con los requisitos técnicos en su totalidad, ya que los cambios de ruta propuestos para la disminución de las pendientes son posibles en todos los tramos, debido a que existen derechos de paso.
2. En los drenajes transversales se utilizó tubería de concreto no reforzado debido a que se obtiene una disminución de costos en un 20%, y ello se debe a que la tubería no reforzada se coloca a una mayor profundidad y con ello se evitan rupturas, a la vez no incrementa los costos porque la mano de obra no calificada la proporciona la comunidad. La tubería no reforzada tiene un costo de 30% menos que la reforzada, por lo tanto, aunque en la construcción de las cajas y cabezales sean de mayor tamaño siempre hay un ahorro de 20% en los costos totales.
3. Se diseñaron cunetas de forma triangular debido a que proporcionan un espacio útil para el rebase de vehículos.
4. El diseño del proyecto permitió el desarrollo de relaciones humanas con los habitantes de ambas comunidades, lo que obligó a poner en práctica la teoría y con ello desarrollar habilidades topográficas.



## RECOMENDACIONES

1. Se considera que las aldeas Chica Zapote y aldea Peña, deben organizar comités de mantenimiento para el camino, ya que en el momento en que esté construido, cada comunidad pueda darle el mantenimiento respectivo a la carretera utilizando los materiales y técnicas aprendidas en las clases magistrales sostenidas durante el desarrollo del E.P.S.
2. A las instituciones que den financiamiento para la construcción de la carretera se les sugiere la utilización del material de balasto que se encuentra en las aldeas Chica Zapote y Aldea Peña, ya que éste ha sido utilizado durante bastante tiempo para la construcción de carreteras circunvecinas, demostrando calidad.
3. Se sugiere a las entidades encargadas a la reforestación, que implementen un programa de siembra de árboles, ya que durante el desarrollo del proyecto se realizará la tala distintas especies naturales.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Austín, Barry. **Topografía**. Segunda edición. México Editorial Limusa S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores, 1993.
2. Bartee, Thomas. **Basic**. Segunda edición. México Editorial Harla, 1980.
3. Barrios Ambrosy, Edwin Raúl. Cálculo y replanteo de curvas horizontales, verticales y espirales de transición para carreteras. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1978.
4. Merrit, Frederick S. **Manual del Ingeniero Civil**. Segunda edición. México. Editorial McGraw Hill, 1987.
5. Maccormac, Jack C. **Topografía**. Primera edición. Colombia Editorial Prentice/Hall internacional, 1987.
6. Montes de Oca, Miguel. **Topografía**. Cuarta edición. México Editorial Alfa Omega, 1993.
7. Olivera Bustamante, Fernando. **Estructuración de vías terrestres**. Segunda edición. México Editorial CECSA, México, 1996.



# ANEXOS





Figura 24. Planta, perfil y secciones est. 0+000 – 0+500

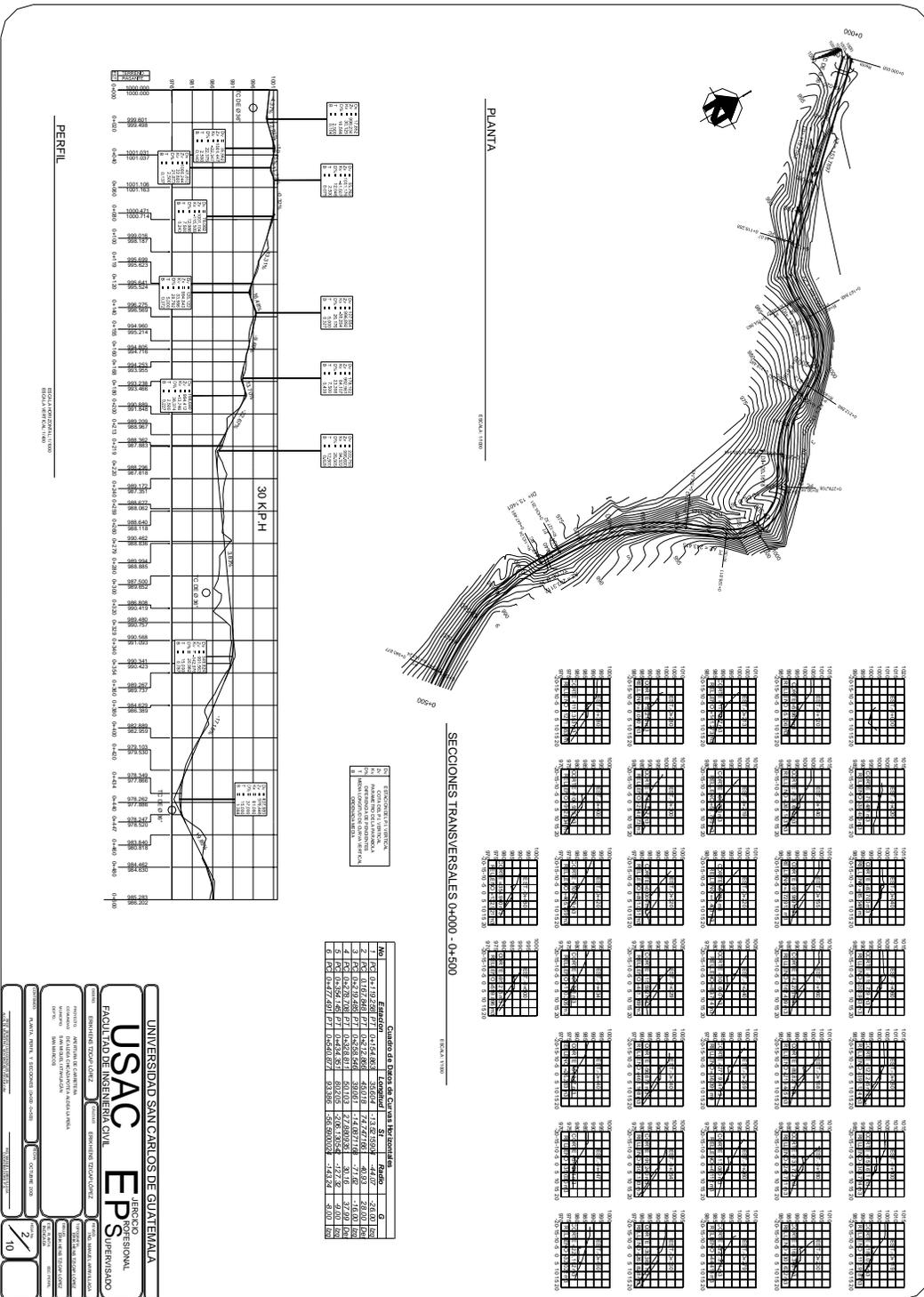






Figura 27. Planta, perfil y secciones est. 1+500 – 2+000

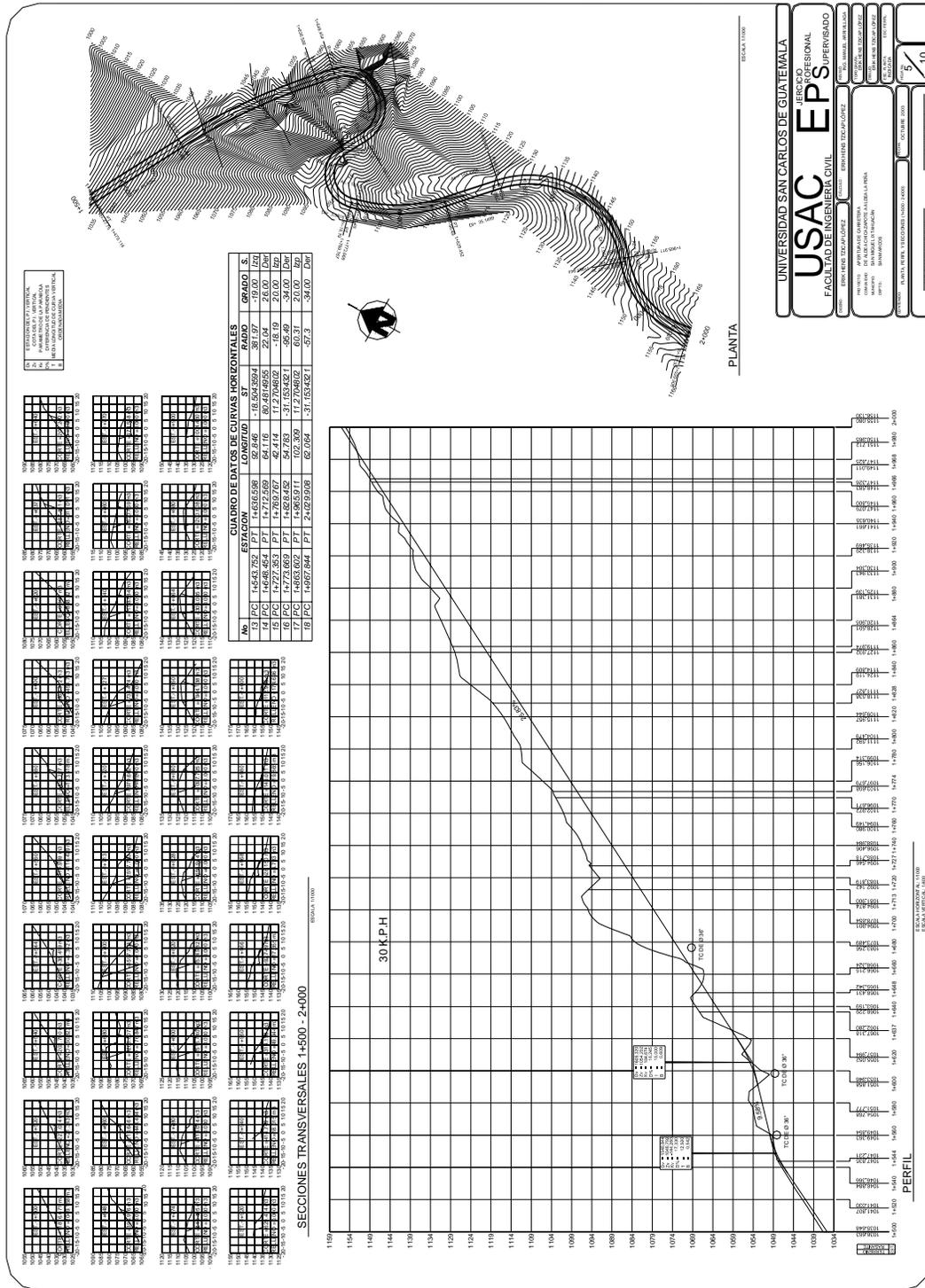


Figura 28. Planta, perfil y secciones est. 2+000 – 2+500

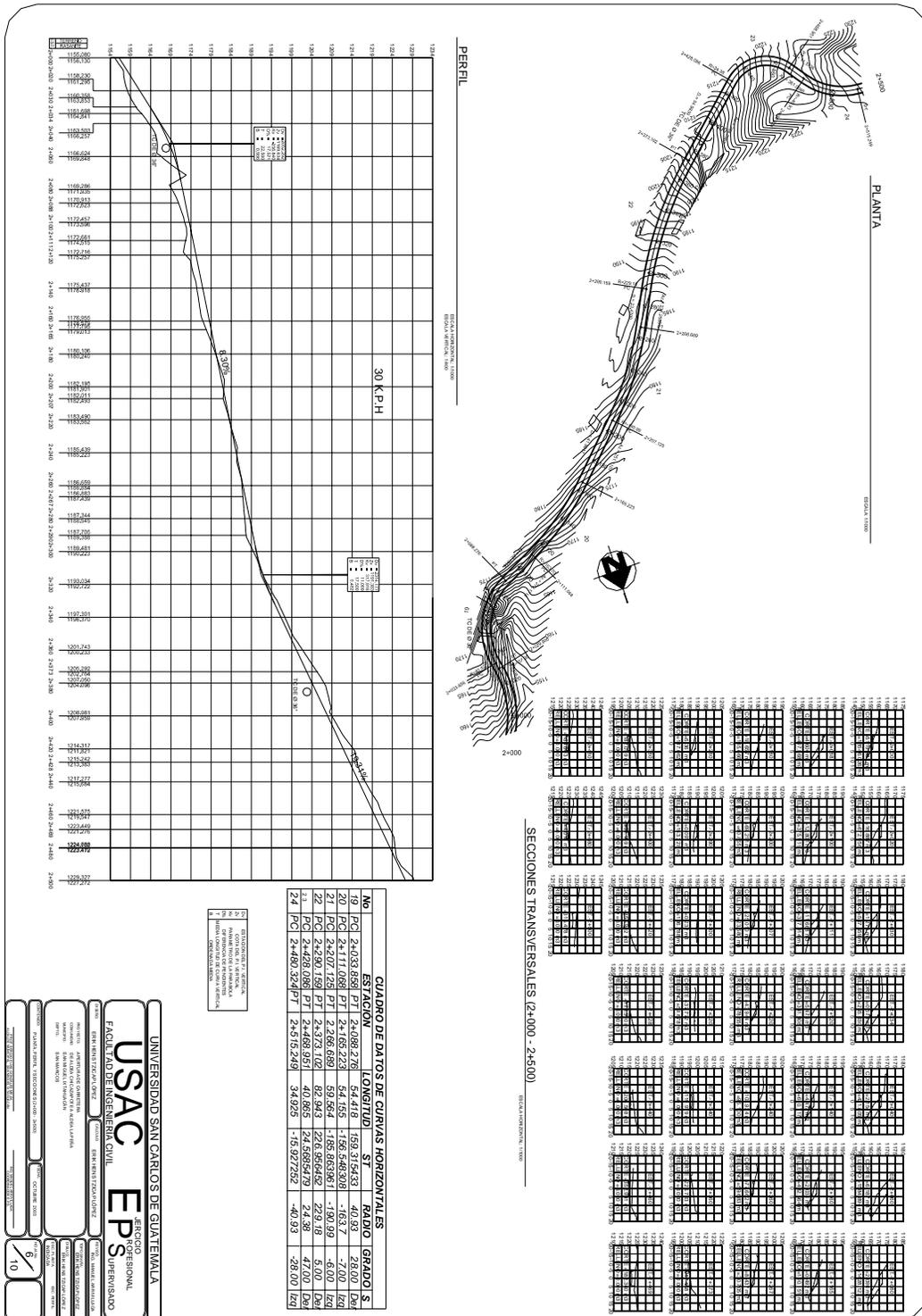






Figura 31. Cabezales con alas a 45°

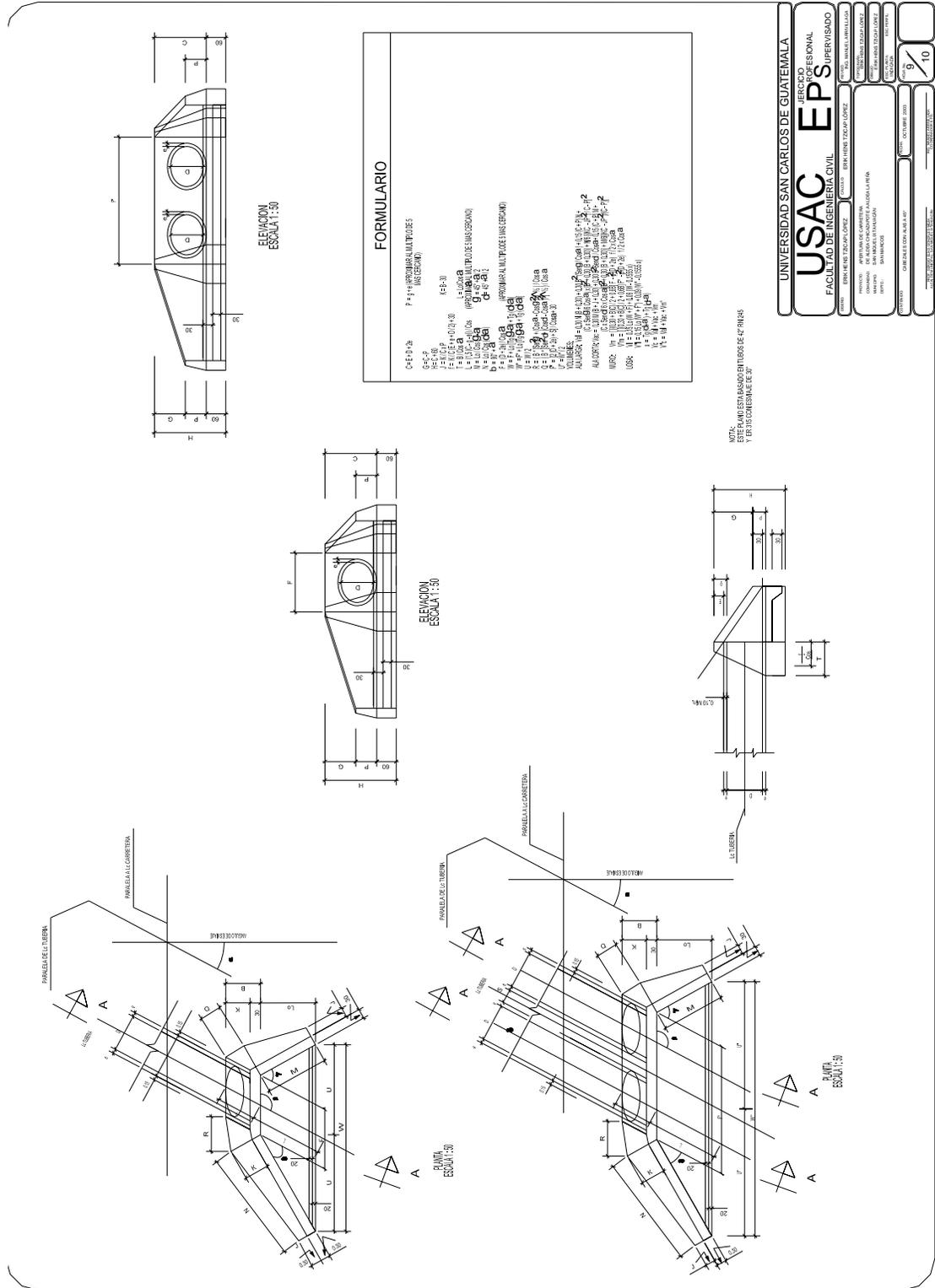


Figura 32. Cabezales rectos

