



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**ESTUDIOS PRELIMINARES Y DISEÑO DE PAVIMENTO DE UN
TRAMO CARRETERO, "SAN VICENTE PACAYA A EL
PATROCINIO", ESCUINTLA**

ELLIOS RODRÍGUEZ BENÍTEZ

Asesorado por: Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta.

Guatemala, octubre de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESTUDIOS PRELIMINARES Y DISEÑO DE PAVIMENTO DE UN TRAMO CARRETERO, "SAN VICENTE PACAYA A EL PATROCINIO", ESCUINTLA.

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA

DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ELLIOS RODRÍGUEZ BENITEZ

ASESORADO POR EL ING. MANUEL ALFREDO ARRIVILLAGA
OCHAETA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA INGENIERÍA

DECANO:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I:	Ing. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II:	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III:	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV:	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
SEC. ACADÉMICO:	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuel Milson
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Alberto Tobar Jimenez
EXAMINADOR	Ing. Edgar Enrique Aragón Guzmán
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:

ESTUDIOS PRELIMINARES Y DISEÑO DE PAVIMENTO DE UN TRAMO CARRETERO, “SAN VICENTE PACAYA A EL PATROCINIO”, ESCUINTLA.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 25 de octubre de 2002

Elios Rodríguez Benítez

ACTO QUE DEDICO A:

A MIS PADRES

Maximiliano Rodríguez (†)
Blanca Lidia Benítez León
Por su constante apoyo y amor que me han
brindado.

MIS HERMANOS

Nelson E. Rodríguez Benítez
Max Rodríguez Benítez
Héctor O. Rodríguez Benítez
Miguel J. Rodríguez Benítez
Por su amor y apoyo en todo momento.

A MIS ABUELOS

Especialmente a
Benjamín Benítez Zabala

FACULTAD DE INGENIERÍA

MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE ESTUDIO

Mi gratitud y aprecio

AGRADECIMIENTO ESPECIAL:

DIOS TODO PODEROSO

Por el día de mi vida y entendimiento para lograr una meta más.

JESÚS

Por ser el mejor ejemplo del camino a seguir.

La Universidad de San Carlos de Guatemala

Por su valiosa aportación académica.

La Municipalidad de San Vicente Pacaya

Por su apoyo y oportunidad de desarrollarme como trabajador de la carrera escogida.

Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta.

Por su apoyo, respeto y colaboración incondicional en el soporte teórico para la elaboración de este trabajo de investigación.

Las personas que de una u otra forma me prestaron colaboración para la realización de esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII

1 INVESTIGACIÓN

1.1 Monografía del lugar	2
1.2 Antecedentes del lugar	2
1.3 Descripción de condiciones actuales	3
1.4 Antecedentes topográficos	5

2 FACTIBILIDAD DEL PROYECTO

2.1 Desarrollo económico de la zona	9
2.1.1 Área de Influencia	9
2.2 Análisis de volúmenes de tráfico	10
2.2.1 Situación del tránsito	10
2.3 Análisis de capacidad y nivel de servicio del proyecto	11
2.3.1 Criterios y procedimientos	11
2.4 Elección de sección típica	12

3 TOPOGRAFÍA

3.1	Altimetría	16
3.1.1	Nivelación topográfica	22
3.1.1.1	Nivelación directa	23
3.1.1.2	Nivelación indirecta	25
3.1.2	Métodos de nivelación	25
3.1.2.1	Nivelación diferencial	26
3.1.2.2	Nivelación de perfil	27
3.1.3	Especificaciones para nivelación	27
3.2	Nivelación del acceso de San Vicente Pacaya a El Patrocinio	30
3.2.1	Selección de ruta y banco de nivel	30
3.2.2	Procedimiento	31
3.2.3	Libreta de campo	34
3.2.4	Cálculo y resultados	34
3.2.5	Perfil del terreno	35

4 CONTROL DE CALIDAD Y ENSAYOS DE LABORATORIO

4.1	Control de calidad	39
4.1.1	De sub-rasante	39
4.1.2	De sub-base y base no estabilizada	40
4.1.3	De sub-base y base estabilizada	45
4.2	Métodos de muestreo	49
4.2.1	Cuarteo de muestras	50
4.2.2	Muestras alteradas e inalteradas	51
4.2.2.1	Profundidad de las muestras	51
4.2.2.2	Procedimiento para tomar las muestras	52
4.2.2.3	Tamaño de muestras	54
4.2.2.4	Distancia entre muestras	54

4.3	Muestreo de la sub-rasante	55
4.3.1	Procedencia de la muestra	56
4.4	Ensayos de campo	58
4.4.1	Tipos de suelo	58
4.4.1.1	Grava	58
4.4.1.2	Arena	59
4.4.1.3	Limo	59
4.4.1.4	Arcilla	59
4.4.1.5	Materia orgánica	59
4.4.2	Identificación de suelos	60
4.4.2.1	Dilatancia	61
4.4.2.2	Resistencia en seco	61
4.4.2.3	Tenacidad	62
4.4.2.4	Otros ensayos	63
4.5	Características de los materiales disponibles	63
4.5.1	Compactación Proctor modificado	64
4.5.2	Razón soporte california (C.B.R.)	65
4.5.3	Limites de Atterberg	67
4.5.4	Análisis granulométrico	70
4.5.5	Peso unitario suelto (P.U.S.)	70

5 DESCRIPCIONES ESTRUCTURALES DE LOS MATERIALES QUE COMPONEN LAS DIFERENTES CAPAS DEL PAVIMENTO

5.1	Estado de la carretera	75
5.1.1	Sub-rasante	75
5.1.2	Sub-base	77
5.1.3	Base	79
5.1.4	Carpeta de rodadura	79

5.2	Trabajos previos al diseño del pavimento	81
5.2.1	Sección típica del pavimento	84
5.2.2	Tratamientos asfálticos superficiales	84
5.2.2.1	Tipos de tratamiento superficial	84
5.2.2.2	Usos de los tratamientos superficiales	85
5.2.3	Control de la temperatura de riego de los asfaltos	86
6	DISEÑO DEL PAVIMENTO	
6.1	Objetivo de pavimento	89
6.2	Tipos de pavimento	90
6.2.1	Pavimento flexible	92
6.2.2	Pavimento semi-flexible	92
6.2.3	Pavimento rígido	93
6.3	Movimiento de tierras	93
6.3.1	Distancia de acarreo libre	94
6.3.2	Distancia sobre-acarreo	94
6.3.2.1	Préstamo	94
6.3.2.2	Desperdicio	94
6.4	Cunetas	101
6.4.1	Diseño de cunetas	101
6.4.2	Métodos de construcción	110
6.4.3	Tipos de cunetas	114
	CONCLUSIONES	117
	RECOMENDACIONES	119
	BIBLIOGRAFÍA	121
	ANEXOS	123

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Departamento de Escuintla, municipio de San Vicente Pacaya	6
2.	Ubicación del tramo carretero	7
3.	Cálculo de coordenadas topográficas	17
4.	Nivelación directa simple	23
5.	Nivelación directa compuesta	24
6.	Medición por el método de nivelación directa	32
7.	Estructura de un pavimento	88
8.	Área de una sección transversal	94
9.	Sección típica de un volumen de área	95
10.	Tipos de áreas	97
11.	Sección transversal de la cuneta	110
12.	Sección transversal típica de cunetas	112
13.	Sección típica de la carretera	127

TABLAS

I	Características geométricas de carreteras tipo E	13
II	Características geométricas de carreteras tipo F	13
III	Cálculo planimétrico	18
IV	Cálculo altimétrico	20
V	Cálculo de secciones transversales	36
VI	Formula de dosificación	48
VII	Resistencia a la penetración	65
VIII	Material en porcentaje para CBR	65
IX	Índice de plasticidad	68
X	Especificaciones de temperaturas asfálticas	84
XI	Tabla de determinantes	94
XII	Condiciones del terreno para el coeficiente C	104
XIII	Valores de C recomendados para la formula racional	106
XIV	Lista de materiales con la mano de obra	121
XV	Presupuestos	125

LISTA DE SÍMBOLOS

Δ	Ángulo de deflexión de la tangente
K	Constante que depende de la velocidad de diseño
Az	Azimut
Σ	Sumatoria
Rb	Rumbo
d	Distancia de un tramo a otro
G	Grado de curvatura
Lc	Longitud de curva
St	Subtangente
Cm	Cuerda máxima
E	External
Om	Ordenada media
Lcv	Longitud de curva vertical
C1	Área de corte en la primera sección
C2	Área de corte en la segunda sección
R1	Área de relleno en la primera sección
R2	Área de relleno en la segunda sección
Cam.	Caminamiento
V.a	Vista atrás
HI	Altura de instrumento
V.ad	Vista adelante
Pv	Punto de Vuelta
Cu	Coeficiente de uniformidad
Cg	Coeficiente de graduación

L.L.	Límite líquido
I.P.	Índice de plasticidad
L.P.	Límite plástico
W	Humedad óptima
P.U.S.	Peso unitario seco

GLOSARIO

Agregado:	material duro e inerte, tal como la grava, roca picada, escoria o arena.
Agregado grueso:	se llama al agregado que queda retenido en el tamiz No. 8 (2.36mm)
Agregado fino:	es el agregado que pasa el tamiz No. 8 (2.36mm)
Abrasión:	proceso de desgaste o destrucción producido por la fricción de una superficie.
Alineación:	línea de límite para construir, partiendo del eje central de una calle.
Asfalto:	es un material cementante, de color marrón oscuro a negro, de consistencia sólida, semisólida o líquida.
Banco:	estrato de gran espesor.
Balasto:	es una capa de material selecto (grava), el cual sirve para dar condiciones óptimas de funcionalidad a la vía.

Bitumen:	nombre genérico de todos los hidrocarburos naturales, incluyendo el petróleo, la nafta, y el asfalto.
Carga de diseño:	peso que, para el diseño, debe soportar la estructura.
Carpeta:	capa de rodadura.
Carretera:	vía de tránsito público, construida dentro de los límites del derecho de vía.
Cuneta:	canal para drenaje de agua pluvial.
Datum:	dato o referencia.
Denudación:	acción o efecto de denudar o demoler un relieve.
Derecho de vía:	área de terreno que el gobierno suministra para ser usado en la construcción de una carretera, sus estructuras, anexos y futuras ampliaciones.
Estación:	cualquiera de los puntos de un terreno en que se miden ángulos o distancias.
Estadal:	complemento del equipo de medición topográfica que consiste en una escala graduada de 4 m de longitud.
Estrato:	masa mineral en forma de capa que varía de espesor.

Latitud:	distancia que hay desde un punto de la superficie terrestre al Ecuador contado por los grados de su meridiano.
Longitud:	distancia del meridiano de un lugar al primer meridiano actualmente el de Greenwich contada en grados sobre el Ecuador.
Muestra:	porción pequeña de un suelo que permite considerarla como representativa del mismo.
Nivel:	instrumento que sirve para medir la diferencia de altura entre dos puntos.
Perfil:	representación gráfica del corte o sección perpendicular del terreno o trazo.
Rodadura:	es el ancho útil del camino.
Sub-rasante:	es la cota de la vía después de haber realizado cortes y rellenos, por lo tanto es la que determina el movimiento de tierras.
Talud:	es el declive del paramento de un muro o del suelo.
Tamiz:	cedazo o colador.
Teodolito:	instrumento geodésico de precisión para medir ángulos.

Terraplen: macizo de tierra con que se rellena un hueco o que se levanta para hacer un camino.

Trazo: delineamiento de la terracería que denota el caminamiento de un pavimento.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación consta del diseño de una carretera que pertenece al municipio de San Vicente Pacaya, en la cual comunica a una de sus aldeas que es El Patrocinio, que permitirá a mejorar el mercado local, logrando así, acceso a todos los servicios; por lo que éstas deberán de mantenerse en buenas condiciones.

Se presentan los conceptos generales y criterios que se deben tomar en cuenta para el diseño y construcción del drenaje menor en proyectos de carretera, y así evitar el daño a la estructura del pavimento y a la terracería.

Para el efecto, se aplicaron los resultados del estudio de suelos obtenidos previamente, los cuales consistieron en ensayos de granulometría, límites de Atterberg, Próctor modificado y C.B.R.

Se detallan los datos importantes y necesarios para la construcción de dicho proyecto, presupuesto, considerando los costos reales del lugar.

Los costos de construcción de un pavimento varían de una región a otra, esto puede ser necesario cuando: 1) se necesita transportar los materiales al lugar; 2) el costo de la mano de obra y su rendimiento puedan verse afectados según sea el lugar y el clima de la región y 3) el rendimiento de la maquinaria sea afectado, debido a condiciones topográficas del área de trabajo.

OBJETIVOS

General

Solucionar la falta de una vía de comunicación terrestre entre el municipio de San Vicente Pacaya a la aldea El Patrocinio, como alternativa eligiendo la estructura de un pavimento flexible, en la red vial de Guatemala.

Específicos

1. utilizar el mejor criterio, tanto en el diseño como en la planificación, para garantizar un buen servicio y mejorar las condiciones de vida de las comunidades beneficiadas.
2. proporcionar a la municipalidad San Vicente Pacaya y a los habitantes del lugar, el proyecto de pavimentación que solucione el problema de acceso existente entre la aldea de El Patrocinio y de Los Ríos;
3. plantear soluciones racionales que favorezcan la capacitación y eficiente preparación del estudiante de ingeniería en el desempeño profesional, cumpliendo, así, con la colaboración directa de la Facultad de Ingeniería en la resolución de problemas de nuestro país;
4. presentar en forma general todos los estudios previos al desarrollo del diseño, apoyados en una base teórica que sirva como complemento al proyecto de construcción de la carretera.

INTRODUCCIÓN

Las aldeas El Patrocinio y Los Ríos son dos comunidades, eminentemente, cafetaleras, las cuales, últimamente han padecido muchas incomodidades, en lo concerniente al transporte de las cosechas. Éstas incomodidades se han debido a la falta de un camino pavimentado, sin esta estructura no se puede pensar en un tránsito rápido, cómodo y seguro.

El presente trabajo de graduación consiste en el proyecto de un camino que resolverá dicho problema, reduciendo gastos de flete, tiempo, etc. El proyecto se llevó a cabo en dos etapas: la primera, que fue el trabajo de campo y la segunda, el trabajo de gabinete. En la primera etapa se realizó el levantamiento topográfico, el cual consistió en: tránsito, nivelación y seccionamiento transversal de la línea central. En la segunda etapa se llegó a las hojas finales, las cuales se elaboraron después de haber realizado todos los cálculos de diseño de la vía.

El Ejercicio Profesional Supervisado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos debe cumplir con lo siguiente: SERVICIOS PROFESIONALES, INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA; en éste estudio se cumplió esto de la siguiente forma.

El Servicio Profesional es el proyecto, en sí, del diseño de la vía donde se llevó a cabo un trabajo de campo y un trabajo de gabinete. La Investigación consistió en el estudio acerca del mejoramiento de los caminos que parten del municipio de San Vicente Pacaya a seis aldeas circunvecinas. La Docencia

consistió en adiestrar al personal que colaboró en los trabajos de campo para un mejor desenvolvimiento.

Dentro del enorme campo de la Ingeniería Civil se contemplan muchos aspectos técnicos que, aunque parezcan excluyentes, se relacionan entre sí y, generalmente, se complementan unos con otros, para la obtención de óptimos resultados. Un ejemplo particular lo constituye el presente trabajo, Estudios Preliminares y Diseño de Pavimento de un Tramo Carretero "San Vicente Pacaya a El Patrocinio", Escuintla, el cual hace converger distintas ramas de la ingeniería, como lo son: el estudio de la mecánica de suelos, la topografía, cuya minuciosa aplicación permite asegurar el éxito del diseño y construcción del proyecto estudiado.

Antes de emprender el diseño de un pavimento, es necesario contar con la suficiente información del lugar escogido para el desarrollo del mismo. Este conjunto de datos debe obtenerse con criterios técnicos propios de la carrera que, sin lugar a duda, son determinantes e inciden, directamente, en las decisiones racionales a tomar para el diseño en sí.

El contenido de éste trabajo de graduación persigue, por un lado, resaltar la importancia que tienen los estudios preliminares de un proyecto de pavimentación y, específicamente, presentar los resultados de dichos estudios que sirven como base al diseño del pavimento de la calle de acceso que comunica al municipio de San Vicente Pacaya con la aldea El Patrocinio.

El marcado crecimiento poblacional y desarrollo industrial y comercial de la aldea El Patrocinio, ha dado lugar a la planificación y ejecución de un programa vial tendiente a facilitar el flujo de vehículos y, en general, mejorar las condiciones de vida y los servicios públicos del lugar, propiciando, en esta

forma, un mejor desarrollo del área, el cual se traduce, a la vez, en creación de fuentes de trabajo y bienestar económico para los habitantes del mencionado lugar.

Lo anterior constituye razones suficientes para justificar el diseño y construcción de pavimentos de las calles. Para ello, es importante hacer notar que las condiciones de éstas son deplorables, especialmente, durante la estación lluviosa. Provocando molestias a los vecinos, lo que hace que aparezca un incentivo más para llevar a la realidad la construcción de dicha obra.

La Facultad de Ingeniería, consciente de la necesidad que tienen diversos sectores del país, impulsa este programa de pavimentación, el cual es un intento de interpretar las inquietudes y anhelos de los habitantes de la aldea y, al mismo tiempo, sea un proyecto que propicie un medio de progreso para el lugar.

1 INVESTIGACIÓN

El objetivo de la investigación, es determinar las principales deficiencias en los caminos vecinales en el municipio de San Vicente Pacaya y dar soluciones para mejorarlos. El trabajo de diseño se inició con una visita al lugar para determinar los puntos obligados de salida y llegada, localizándolos en la hoja cartográfica de Escuintla, escala 1:50,000; en la que se encuentran las comunidades a unir.

Se desarrolló una pendiente para una carretera tipo “F” que tendrá un ancho de calzada de 5.7 m con una velocidad de acceso de 30 kilómetros por hora.

Es de hacer notar que la vía se puede adaptar en su mayor parte al camino peatonal existente, con pequeñas excepciones a las que se les ha dado la solución más factible y económica. San Vicente Pacaya y El Patrocinio, municipio y aldea que han venido sintiendo, desde hace algunos años, la necesidad de una adecuada vía de comunicación que las enlace entre sí, pues teniendo intereses comunes que defender, basados esencialmente en su producción agrícola, requiere de una vía ínter comunicativa para las operaciones de traslado de esa producción.

1.1 Monografía del lugar

San Vicente de Pacaya, municipio del departamento de Escuintla. Municipalidad de 4ª categoría. Área aproximada 236 km². Nombre geográfico oficial: San Vicente Pacaya. Colinda al norte con Amatitlán y Villa Canales (Gua.); al este con Barberena (S.R.); al sur con Guanagazapa (Esc.); al oeste con Escuintla y Palín (Esc.).

La cabecera está al noroeste del macizo del volcán de Pacaya. Escuela 1,680 m SNM, Lat. 14°24'51", Long. 90°28'08". Amatitlán 2059 II. En el Km 34.80 de la carretera interoceánica CA-9 que al norte conduce a la capital y al sur a la cabecera Deptal. Escuintla, parte de la carretera Deptal. de la misma, que unos 7½ Km. Al este llega al sur de la Cab. San Vicente Pacaya, de donde por camino de revestimiento suelto al norte es poco menos de un 1 Km a su Cab. Mun. Tiene así mismo caminos, roderas y veredas que unen a sus poblados y propiedades rurales entre sí y con los municipios vecinos.

1.2 Antecedentes del lugar

Según datos de 1,955 en la cabecera vivían 1,931 habitantes y en todo el municipio 4,105, que componían 885 familias. Porcentaje indígena 2.6 y de analfabetos 65.7. No contaban con el servicio de agua potable; se estaban realizando los trabajos para tal fin por la Dirección General de Obras Públicas. Carecía de asistencia médica y hospitalaria. Entre las enfermedades endémicas, se mencionó en los adultos paludismo. No tenía luz eléctrica, mercado ni industria que pudiese ser estimulada.

El censo 1,964 dio 5,183: Urbano 2,029 (masculino 1,021 femenino 1,008); grupo étnico no indígena 2,022 (masculino 1,015 femenino 1,007); indígena 7 (masculino 7, femenino 1). Rural 3,154 (masculino 1,697, femenino 1,457); grupo étnico no indígena 2,938 (masculino 1,565, femenino 1,373); indígena 216 (masculino 136, femenino 84). Población de 7 años y más 3,976. Urbano 1,559 (alfabetos 815, analfabetos 744); rural 2,417 (alfabetos 898, analfabetos 1,519). Viviendas 1,051 (urbano 394, rural 657).

Se estimó una densidad de 22 habitantes por Km². Los datos proporcionados por Estadística correspondientes al VIII Censo General de Población del 7 de abril de 1,973 dieron 6,116 (hombres 3,194, mujeres 2,922). Información posterior indicó 5,730 (hombres 3,005, mujeres 2,725); alfabetos 2,143; indígenas 225. Urbano 2,702 (hombres 1,381, mujeres 1,321); alfabetos 1,303; indígenas 54.

1.3 Descripciones de condiciones actuales

El municipio cuenta con 1 pueblo que es la cabecera, San Vicente Pacaya; 5 aldeas y 6 caseríos.

- Bejucal
- El Cedro
- El Patrocinio (antes El Pozo), con los caseríos:
 - El Caracol, Los Jazmines, Los Ríos.
- Los Chagüites, con los caseríos:
 - El Almendro, El camarón, Los Lotes.
- San Francisco de Sales

La caficultura es la actividad principal de sus moradores y por ende ésta recibe más énfasis como fundamento de la economía regional, se siguen en orden de importancia cultivos de frijol y maíz, productos que se cosechan con fines meramente de subsistencia. Su accidentada topografía, propia de las áreas montañosas, impide que los métodos de mecanización agrícola puedan ser introducidos, utilizándose los procedimientos rústicos tradicionales de trabajo de campo. Goza de un ambiente tranquilo y de un clima sano y confortante, factores que devienen del comportamiento de los habitantes y de una naturaleza agreste e incontaminada. El municipio, tiene la fortuna de contar con abundantes bosques, algunos de los cuales se han formado naturalmente y otros han sido cultivados, como en el caso de los destinados a sombra de cafetos.

Su producción agrícola es básicamente el café, el cultivo que genera los mayores ingresos y en el que se sustenta su economía. La comercialización del grano se efectúa en su mayor parte a través del movimiento cooperativo, del cual forman parte.

La producción pecuaria se encuentra poco desarrollada, debido seguramente a que la topografía de los terrenos es muy quebrada. No por ello la actividad es subestimada del todo, ya que son pocas las familias que cuentan con más de una cabeza de ganado vacuno, con el objeto de obtener su propia producción de leche, y algún ganado equino, utilizado para el transporte personal y de carga.

En lo que toca a la crianza de aves de corral, como gallinas y pavos, así como ganado porcino, estos menesteres son comunes entre los habitantes del municipio, pero en ningún caso se desarrolla con propósitos que no sean los de

suplementar la dieta familiar y economía doméstica, pues por su propio nivel de producción ni tiene importancia en otros aspectos.

La única industria establecida es la de café, producto que se procesa en el beneficio de la cooperativa que cuenta con pulperos y patios de secado natural. Convertido en pergamino, es llevado a los mercados, debidamente envasado. La zona cuenta con el potencial necesario para crear en el futuro una industria de madera.

1.4 Antecedentes topográficos

El municipio de San Vicente Pacaya goza de una topografía bastante plana aunque a sus alrededor existen algunos cerros de poca altura, pero en general se constituye una topografía plana. Aunque sus aldeas que rodean al municipio tienen una topografía con pendiente uniforme, pero bastante pronunciada, bastante cortada en su parte norte y sur. En éstas aldeas hay abundante vegetación, terrenos que los habitantes usan para cultivar.

A pesar de lo accidentado de su topografía, el municipio cuenta con una red de caminos vecinales para comunicar a las diversas comunidades, así como privados de las diversas fincas, pero por la falta de un adecuado programa de mantenimiento se encuentran en mal estado, agudizando el problema durante la temporada lluviosa.

Figura 1. Departamento de Escuintla, municipio de San Vicente Pacaya

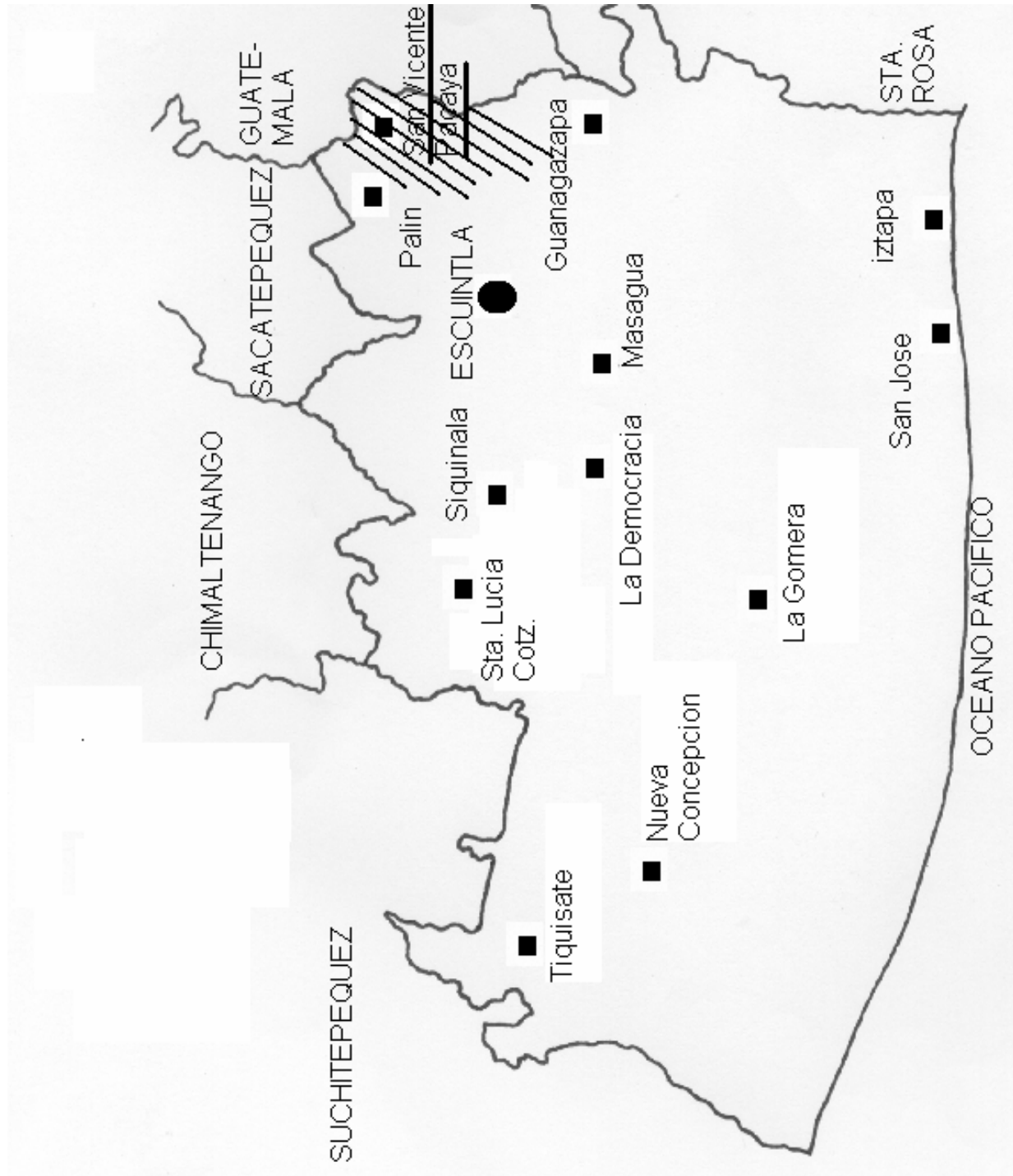
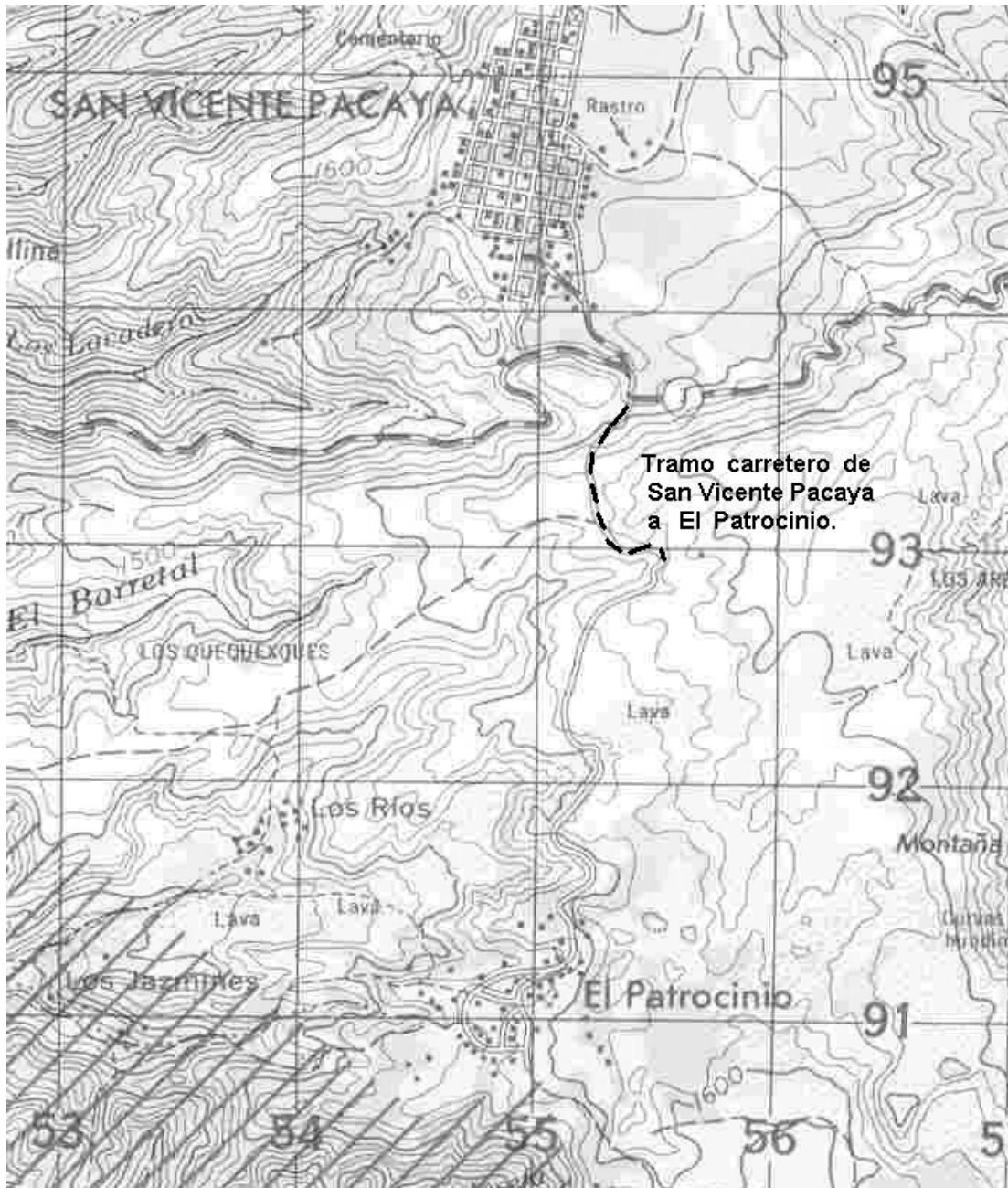


Figura 2. Ubicación del tramo carretero



La carretera en diseño para efectos de ubicación, comprende desde San Vicente Pacaya a El patrocinio.

2 FACTIBILIDAD DEL PROYECTO

Es el más importante de los factores naturales que afecta la localización definitiva de una carretera, por las pendientes de perfil, limitaciones en la curva horizontal, distancia de visibilidad que se puede obtener, tipo de sección que se puede utilizar más favorablemente.

2.1 Desarrollo económico de la zona

Existen infinidad de caminos secundarios y vecinales que necesitan pavimentarse para que puedan ser transitables todo el año, pero en general, nunca se dispone de fondos suficientes para dotar a estos caminos de pavimentos de primera clase y el número reducido de vehículos.

2.1.1 Área de influencia

El área de influencia de la carretera que corresponde entre San Vicente Pacaya y El Patrocinio, queda como área de influencia del proyecto 6 km², el cual fue obtenido siguiendo el criterio de 3.6 km como máximo a cada lado de la carretera, cuando la pendiente y los accidentes topográficos así lo permitieron.

Para fines de este estudio se divide el área de influencia en dos: sí las personas que dispondrán de ella tienen su uso como opción única o notablemente mejor que las demás, formando parte de su modo de vida, el lugar de estas personas residan será de influencia directa. Si su uso es ocasional o representa para el usuario solamente una opción entre dos o más

con poca diferencia en la calidad de servicio, el sitio donde vivan los usuarios en tal situación se llamará área de influencia indirecta.

2.2 Análisis de volúmenes de tráfico

2.2.1 Situación del tránsito

El presente proyecto se analiza en un tramo carretero, que tiene como referencia a un volumen de tránsito, que para poder realizar el estudio del movimiento vehicular, se tomaron como base por medio de la estación de control localizada en San Vicente Pacaya y El Patrocinio.

Es necesario hacer constar, que para el tramo carretero de San Vicente Pacaya a El Patrocinio, se tomaron en cuenta los buses en el total de tránsito, en vista de que para esta sección del proyecto, la Dirección de General de Caminos cuenta con registros anuales de tránsito.

En términos generales el tránsito para el proyecto completo tendrá una incidencia positiva para el desarrollo del municipio de San Vicente Pacaya y muy especialmente para el departamento de Escuintla.

Estimación del tránsito

La estimación de tránsito de diseño es muy importante para poder diseñar los espesores del pavimento. El tránsito que por ellas actualmente circula, está constituido casi exclusivamente por el de los vecinos de las aldeas que algunos son propietarios de vehículos, por vehículos repartidores que se abastecen

entre ellos mismos, y naturalmente con lo que corresponde el transporte urbano, que va tanto como aldeas como a otros municipios.

Del conteo efectuado sobre la calle se determinó que en la dirección del tránsito sur-norte circulan un total de 1,420 vehículos de los cuales un 2.80% corresponde a vehículos pesados, o sea un total de 40 vehículos pesados. Se menciona dicho dato ya que para estimar el tránsito promedio diario se hizo la siguiente suposición: el tránsito que actualmente circula por la calle de norte a sur continuará circulando en ese sentido. Es decir que se diseñará para un tránsito promedio diario de 710 vehículos con un 2.80% de vehículos pesados o sea un total de 20 vehículos pesados diarios.

2.3 Análisis de capacidad y nivel de servicio del proyecto

Se tomó por capacidad el número de vehículos por unidad de tiempo (por lo general una hora) que razonablemente puede esperarse que pasen por un camino en dos sentidos bajo las condiciones existentes del camino y del tránsito. El nivel de servicio mide la calidad del flujo de tránsito, en la cual tienen sus efectos una serie de factores, tales como la velocidad, el tiempo de recorrido, los costos de operación, las interrupciones del tránsito, la libertad de maniobras, la seguridad, el confort, etc.

2.3.1 Criterios y procedimientos

Para el presente estudio se tomaron los siguientes criterios.

- Se analizó la capacidad y nivel de servicio del proyecto; "Antes del mejoramiento (año 1,986)", inmediatamente después del mejoramiento (año 2,002) y para después de 13 años del mejoramiento (año 2,015).

- Para "Antes del mejoramiento", se tomaron los datos de tránsito de 1986 y se levantaron en el campo la pendiente, la visibilidad y la velocidad de operación actual.
- Para "Inmediatamente después del mejoramiento", se tomaron los datos de la proyección de tránsito del proyecto.
- Para después de 13 años del mejoramiento, se tomaron datos de tránsito de la proyección al 2,015. La pendiente y la visibilidad se tomó la misma de "Inmediatamente después del mejoramiento", y para lo del diseño velocidad de operación, se asumió que sería la misma de "Antes del mejoramiento".
- El tramo carretero del proyecto San Vicente Pacaya a El Patrocinio lo divide otro sub-tramo que lo comunica a San Francisco de Sales, que está para asfaltarlo para los próximos años, y se calculó su capacidad y nivel de servicio respectivo, sacando al final un promedio ponderado que nos dio la capacidad y nivel de servicio del proyecto.

2.4 Elección de sección típica

Es la representación gráfica de un corte transversal que muestra en proyección vertical, las pendientes, espesores, dimensiones y composición de las capas de la estructura del pavimento.

De acuerdo a las tablas dadas por la AASHTO y según los análisis del tráfico previsto para dicho proyecto la sección típica a usarse es de tipo "F".

En las tablas se observa las características geométricas, valores límites recomendados para las características de la carretera en estado final.

Tabla I. Características geométricas de carreteras tipo E

TIPO E	VEL. DISEÑO K.P.H.	DERECHO VIA (M).	RADIO MÍNIMO (M).	PENDIENTE MÁXIMA
REGION		25		
LLANA	50		75	8%
ONDULADA	40		47	9%
MONTAÑOSA	30		30	10%

Tabla II. Características geométricas de carreteras tipo F

TIPO F	VEL. DISEÑO K.P.H.	DERECHO VIA (M).	RADIO MÍNIMO (M).	PENDIENTE MÁXIMA
REGION		25		
LLANA	40		47	10%
ONDULADA	30		30	12%
MONTAÑOSA	20		18	14%

ACLARACIÓN:

Para un camino tipo G, las características geométricas son similares a las del camino tipo F, salvo algunas excepciones en pendiente y radio de curvatura. Pues en este tipo se aceptan pendientes máximas de 18% y radio de curvatura mínima de 12.00 m.

3 TOPOGRAFÍA

La topografía, siendo la ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones de puntos sobre la superficie de la Tierra, tiene una amplia utilidad y aplicación en el diseño de pavimentos.

El conjunto de operaciones necesarias para determinar las posiciones de puntos y posteriormente su representación en un plano es lo que comúnmente se llama Levantamiento.

Los levantamientos pueden ser topográficos y geodésicos. Son topográficos aquellos que abarcan superficies reducidas y por lo tanto se pueden hacer despreciando la curvatura de la Tierra, sin presentar error apreciable. Los levantamientos Geodésicos, por el contrario, son de grandes extensiones, por lo que es necesario considerar la curvatura de la Tierra.

El trabajo topográfico que se hizo para el diseño del pavimento, en el caso del tramo carretero diseñado, fue realizado por personal de la cuadrilla de topografía de la Municipalidad de San Vicente Pacaya.

Dicho trabajo consistió en el levantamiento de la línea central de la calle diseñada y en las medidas planimétricas necesarias para poder dibujar la planta y localizar en los planos los servicios e instalaciones existentes. Así mismo se determinó la nivelación de la línea central, se obtuvieron secciones transversales a cada veinte metros y se determinaron las alturas de los

tragantes existentes. Durante todo este trabajo la cuadrilla de topografía contó con la dirección y supervisión de las autoridades de la Unidad Ejecutora Profesional Supervisado.

3.1 Altimetría

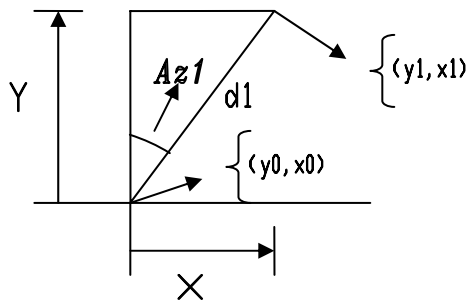
Para su estudio, los levantamientos topográficos pueden ser de tres tipos:

- Planimetría o control horizontal,
- Altimetría o control vertical,
- Planimetría y altimetría combinadas.

La altimetría tiene por objeto determinar las diferentes alturas entre puntos del terreno. Las alturas de los puntos se toman sobre planos de comparación diversos, siendo el más común de ellos, el del nivel del mar. A las alturas de los puntos sobre esos planos suele llamárseles cotas, elevaciones, alturas o niveles.

El cálculo de topografía se efectúa en gabinete y consiste en conocer las coordenadas parciales y totales en 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 que se explicarán más adelante.

Figura 3. Cálculo de coordenadas topográficas



$$y = d_1 \cdot \cos(Az_1)$$

$$x = d_1 \cdot \sin(Az_1)$$

$$y_1 = y_0 + y$$

$$x_1 = x_0 + x$$

En el trabajo de EPS se realizó el levantamiento planimétrico usando un teodolito marca SOKKISHA, modelo TM20C. y se usó el método de deflexión, 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 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 de EPS es la siguiente.

Tabla III. Cálculo planimétrico

EST.	P.O.	AZIMUT	DISTANCIA
	A 1	28°33'15"	12.80
	B 1	283°49'40"	7.46
	C 1	194°04'40"	3.52
	D 1	160°50'15"	9.83
	E 1	143°20'40"	7.10
	F 1	118°23'25"	12.30
	G 1	100°53'15"	9.15
	H 1	62°02'30"	3.50
	I 1	25°58'10"	17.40
	A 1	357°29'15"	9.05
E 1	E 2	155°53'45"	71.30
	A 2	294°47'35"	8.00
	B 2	216°16'30"	8.30
	C 2	196°12'25"	17.60
	D 2	167°51'30"	22.50
	E 2	136°29'50"	6.96
	F 2	68°56'03"	4.28
E 2	E 3	183°14'00"	41.10
	A 3	338°57'10"	11.13
	B 3	280°02'33"	7.03
	C 3	233°12'23"	13.17
	D 3	190°48'50"	10.06
	E 3	149°26'23"	4.12
	F 3	49°02'45"	7.00
E 3	E 4	191°01'25"	35.22
	A 4	341°47'05"	3.35
	B 4	234°06'30"	5.94
	C 4	227°51'24"	11.32
	D 4	178°50'00"	11.92
	E 4	103°17'40"	6.87
	F 4	81°59'30"	9.45
	G 4	78°56'20"	13.30
	H 4	83°30'55"	20.74
	I 4	73°19'00"	26.54
	J 4	61°49'45"	19.58
	K 4	29°40'45"	17.30

EST.	P.O.	AZIMUT	DISTANCIA
	L 4	12°00'45"	21.62
E 4	E 5	222°24'10"	43.76
	A 5	170°11'25"	10.55
	B 5	296°41'25"	3.58
E 5	E 6	215°09'20"	179.32
	A 6	132°35'25"	2.05
	B 6	306°06'00"	6.47
E 6	E 7	221°39'05"	81.05
	A 7	51°11'40"	17.35
	B 7	174°14'00"	12.60
	C 7	214°10'55"	14.87
	D 7	16°52'00"	10.20
E 7	E 8	191°32'05"	33.71
	A 8	42°49'00"	8.05
	B 8	151°19'05"	12.88
	C 8	182°24'40"	11.56
	D 8	338°13'30"	7.58
E 8	E 9	167°45'45"	128.14
	A 9	69°53'00"	5.42
	B 9	263°42'15"	2.97
E 9	E 10	170°27'25"	98.20
	A 10	174°14'00"	5.92
	B 10	266°01'40"	2.60
	C 10	140°04'10"	12.52
	D 10	170°50'50"	16.65
E 10	E 11	159°08'45"	38.95
	A 11	62°38'20"	5.25
	B 11	131°47'15"	17.42
	C 11	159°08'55"	13.07
	D 11	209°13'40"	15.27
	E 11	234°57'20"	11.45
	F 11	227°01'22"	7.04
	G 11	237°34'20"	3.94
	H 11	314°50'05"	8.84
E 11	E 12	143°15'00"	54.25

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. Lo que tiene que calcularse es la altura del instrumento para cada punto de vuelta y la cota. Las elevaciones se calcularon con las fórmulas siguientes:

$$AI = Cu + VA$$

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

Donde :

AI = Altura del instrumento.

Cu = Última cota.

VA = Vista atrás.

C = Cota.

VI = Vista intermedia.

PV = Punto de vuelta.

En el trabajo de EPS se realizó la nivelación usando un nivel LEICA, mediante el método de nivelación diferencial.

Parte de la libreta de campo obtenida en el levantamiento de nivelación es la que se describe a continuación.

Tabla IV. Cálculo altimétrico

CAM.	V.A.	H.I.	V.AD.	P.V.	COTA
B.M. # 1	3.65	103.65			100
0+000			3.658		99.998
0+010			3.54		100.11
0+017.60			3.37		100.28
0+020.10			2.921		100.73
0+030			2.475		101.18
0+040			2.271		101.38
0+046.40			2.002		101.65
0+049.40			1.558		102.09
0+050			1.558		102.09
0+060			1.102		102.55
P.V.	2.122	105.344		0.428	103.22
0+070			1.775		103.57
0+080			1.472		103.88
0+090			1.236		104.11
0+100			0.668		104.68
0+100.10			0.668		104.68
B.M. # 2	1.32	106.272		0.392	104.95
0+110			1.363		104.91
0+120			1.211		105.06
0+130			1.345		104.93
0+140			1.758		104.51
0+150			2.689		103.58
0+160			3.103		103.17
0+180					121.02
0+191			0.972		122.94
P.V.	3.902	127.625		0.192	123.72
0+200			3.13		124.5
P.V.	3.72	131.207		0.138	127.49
0+220			3.615		127.59
0+240			0.296		130.91
P.V.	4	134.973		0.234	130.97

Continuación de la Tabla IV

0+260			0.341		134.73
PB.	3.9	138.823		0.05	134.92
0+280			0.454		138.37
PB.	3.985	142.61		0.198	138.63
0+300			0.467		142.14
PB.	3.695	146.117		0.188	142.42
0+320			0.878		145.24
PB.	3.96	149.6.87		0.39	145.73
0+340			1.648		148.04
PB.	3.935	153.439		0.183	149.5
0+360			3.452		149.99
0+370.7			2.027		151.41
0+380			0.795		152.64
PB.	3.862	157.043		0.258	153.18
0+400			1.886		155.16
PB.	3.85	160.798		0.097	156.95
CAM.	V.A..	H.I.	V.AD.	P.V:	COTA
P.V.	3.79	164.489		0.099	160.7
0+420			3.705		160.78
0+440			0.732		163.76
0+451.75			1.932		162.56
0+460			0.684		163.8
PB.	3.865	168.22		0.134	164.36
0+480			1.407		166.81
0+485.46			0.601		167.62
PB.	3.91	172.051		0.079	168.14
0+500			2.6		169.45
0+520			0.321		121.73
PB.	3.925	175.874		0.102	171.95
0+540			1.774		124.1
PB.	3.963	179.591		0.246	175.63
0+560			2.775		176.82
0+580			0.202		179.38

Continuación de la Tabla IV

P.V.	3.89	183.369		0.112	179.48
0+600			1.738		181.63
0+613.6			0.338		183.03
P.V.	3.68	186.176		0.273	183.1
0+620			3.34		183.44
0+640			2.155		184.62
0+660			1.173		185.6
0+680			0.97		185.81
0+700			1.045		185.73
0+706.8			1.07		185.7
0+720			0.98		185.8
P.V.	1.445	187.096		1.125	185.65
0+740			1.285		185.81
0+745.75			1.342		185.75
0+760			1.07		186.02
0+780			0.061		186.48
0+800			0.009		187

3.1.1 Nivelación topográfica

La nivelación topográfica es el procedimiento por medio del cual se hallan las diferencias de alturas y se determinan las cotas de los puntos de un terreno. Consiste en asignarle a cada punto de la superficie terrestre una cota referida al dato o nivel de referencia.

Después de haber concluido el levantamiento de la línea central se procedió a nivelarla, obteniendo las elevaciones de los puntos de intersección (PI) y de todos los puntos colocados a cada 20 m sobre la línea central.

3.1.1.1 Nivelación directa

Es el sistema más empleado en trabajos de Ingeniería civil, pues permite conocer rápidamente las diferencias de nivel por medio de lecturas directas de las distancias verticales. Puede ser Simple o Compuesta.

La nivelación directa simple es aquella en la cual, desde una sola posición del aparato, se pueden conocer las cotas de todos los puntos del terreno que se desea nivelar. Se sitúa el aparato en el punto más conveniente, es decir, en el punto que ofrezca mejores condiciones de visibilidad. La primera lectura se hace sobre la mira colocada en el punto fijo y permanente que se toma como Banco de Marca (B.M.) y a partir de él se nivela todos los puntos del terreno.

Figura 4. Nivelación directa simple

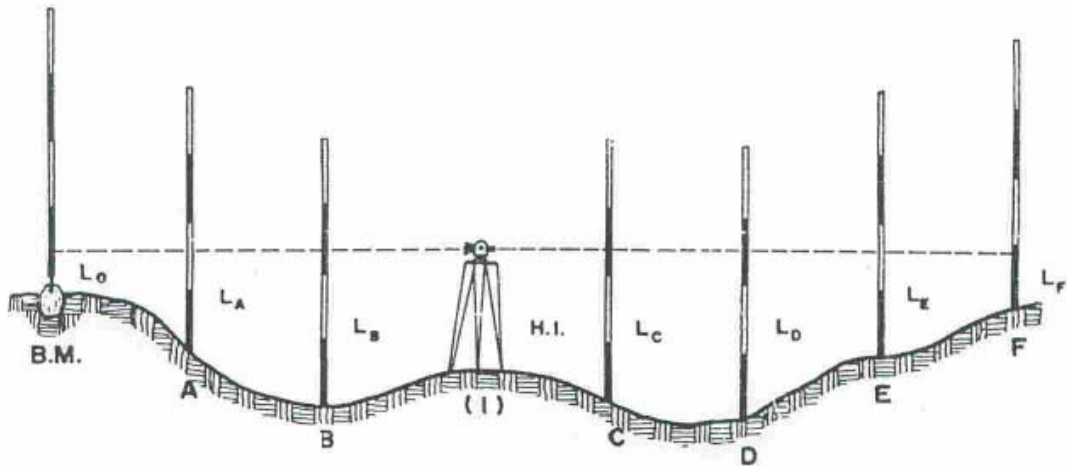
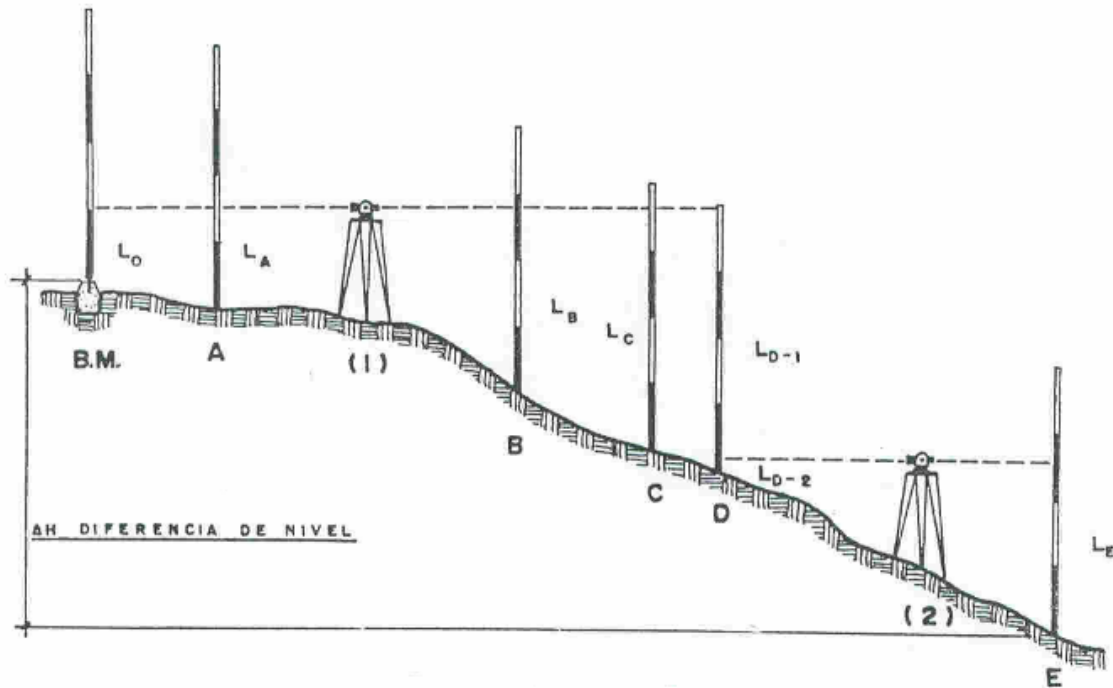


Figura 5. Nivelación directa compuesta



La nivelación directa compuesta se emplea cuando el terreno es muy irregular y quebrado o cuando las distancias a cubrir son demasiado largas (mayores de 300 m). El aparato no permanece en un mismo sitio sino que va trasladándose a diversos puntos de donde se toman nivelaciones simples que van ligándose entre sí. (Ver figura 5)

Se efectúan tres tipos de lecturas:

- Vista atrás: es la lectura que se hace sobre el B.M. o sobre la estación anterior para conocer la lectura del aparato.

- Vista intermedia: es la lectura que se hace sobre los puntos que se requiere nivelar, para conocer la correspondiente cota.
- Vista adelante: es la lectura que se hace para hallar la cota del punto de cambio (P.C.) o punto de vuelta (que es un B.M. provisional).

3.1.1.2 Nivelación indirecta

Se puede clasificar como nivelación indirecta a los métodos de nivelación barométrica, es decir, a aquellos que utilizan el barómetro como aparato usual en la determinación de la presión atmosférica.

El principio de la nivelación barométrica es el siguiente: "La presión atmosférica varía en forma inversamente proporcional a la altura sobre el nivel del mar", así, en la función de la presión de un determinado lugar, se pueden conocer las alturas del mismo.

Al nivel del mar la presión vale 76.2 cm de columna de mercurio, a 0° C y 45° de altitud. Cada 100 m de altura la presión varía aproximadamente de 0.7 a 1 cm de columna de mercurio.

3.1.2 Métodos de nivelación

Dos son los métodos para nivelar directamente:

- Nivelación diferencial.
- Nivelación de perfil.

3.1.2.1 Nivelación diferencial

Tiene por objeto determinar la diferencia de cotas entre dos puntos. Se pueden dar dos casos:

- Distancia corta: cuando hay algún lugar donde se puede colocar el aparato de modo que puedan verse desde él los dos estadales, colocados en sus respectivos puntos. El desnivel se obtiene simplemente por la diferencia de las lecturas de los dos puntos.
- Distancia larga: cuando no se pueden cumplir las condiciones del caso anterior. El desnivel se obtiene repitiendo la operación cuantas veces sea necesario, utilizando puntos intermedios llamados Puntos de Liga (P.L.).

La comprobación de la Nivelación Diferencial es otra nivelación, que se puede hacer de las siguientes maneras:

- Nivelar de ida y de regreso por los mismos puntos o por puntos diferentes. (Es lo más conveniente).
- Nivelar por doble punto de liga, es decir, hacer lo mismo que el caso anterior pero realizando dos nivelaciones al mismo tiempo con distintos puntos de liga.
- Nivelar por doble altura del aparato, es decir, hacer nivelaciones independientes, comprobando las diferencias de alturas entre PL pero teniendo la primera y última lectura distinta.

3.1.2.2 Nivelación de perfil

Tiene por objeto determinar las cotas de puntos a distancias conocidas sobre un trazo, para obtener el perfil de dicho trazo.

El trazo del terreno y las distancias entre puntos se marcan de antemano. Por facilidad las distancias entre puntos se toman iguales según convenga.

El procedimiento es similar al de nivelación diferencial pero con la diferencia de que ahora se toman los puntos pre-establecidos como puntos de liga y se hacen las lecturas en los mismos.

Teniendo ya las cotas de todos los puntos del terreno y sus distancias, se puede dibujar el perfil del trazo.

Si las escalas horizontal y vertical del dibujo son iguales, se obtiene un perfil normal. En algunos casos, como el del presente proyecto, se disminuye la escala vertical para exagerar y apreciar mejor los desniveles.

3.1.3 Especificaciones para nivelación

La precisión de una nivelación depende de muchos factores pero, básicamente, además del aparato que se utilice, dependerá del cuidado del operador. El error depende de gran parte del número de veces que se tenga que colocar el aparato en el terreno, es decir, que para una misma distancia recorrida será mayor el error en terreno accidentado que en terreno plano.

La tolerancia de un error para nivelación que recomiendan los textos varían en algo, pues unos consideran errores accidentales, mientras que otros, errores de trabajo.

Considerando solo errores accidentales, los errores máximos o tolerancias (T) son: Nivelación entre dos puntos de ida y de regreso siguiendo el mismo o diferente camino:

$$T = \pm 0.01 m \sqrt{p}$$

donde P = No. de Km recorrido de ida y de regreso

Nivelación entre dos puntos de cotas conocidas obtenidas por nivelaciones anteriores:

$$T = \pm 0.02 m \sqrt{p}$$

donde: P = No. de Km recorrido de uno a otro punto.
(No se requiere regresar).

Nivelación entre dos puntos por doble punto de liga:

$$T = \pm 0.015 m \sqrt{p}$$

donde: P = El doble de la distancia recorrida.

Nivelación de dos puntos por doble altura del aparato:

$$T = \pm 0.02 m \sqrt{p}$$

donde: P = El doble de la distancia recorrida.

Se procedió al levantamiento topográfico, haciendo mediciones con cinta, nivelación de la línea central y seccionamiento transversal. Posteriormente se realizó el trabajo de gabinete, el cual consistió en la elaboración de hojas de diseño de curvas horizontales, diseño de curvas verticales y los detalles correspondientes.

También se estimó el volumen del movimiento de tierras, lo cual permitió hacer una estimación. Por último se procedió a la elaboración de las hojas finales (en hojas planta-perfil).

Se procedió a realizar el levantamiento topográfico, utilizando para ello el siguiente equipo:

- teodolito marca SOKKISHA, modelo TM20C
- cinta métrica de 50 metros
- plomada de 1 libra
- martillo clavos, tapitas.

La municipalidad colaboró con personal que ayudó a realizar con el trabajo de campo. Cada dos o tres días, hubo personas diferentes que colaboraban en

el levantamiento topográfico representando esto un inconveniente que disminuyó el ritmo normal de trabajo.

Para el levantamiento de la línea central se utilizó el método de poligonales abiertas con deflexiones simples.

El seccionamiento transversal se llevó a cabo con el fin de obtener información del perfil transversal del eje de la vía. Se seccionó transversalmente a cada 20 m de la línea central midiendo las diferencias de nivel del terreno y abarcando una distancia de 20 m por lado de la línea central.

El equipo utilizado fue el siguiente:

- nivel de mano
- estadal Marca Nestler

Se necesitó la colaboración de 3 personas de la municipalidad para cada jornada.

3.2 Nivelación de acceso de San Vicente Pacaya a El Patrocinio

El tramo carretero de acceso de San Vicente Pacaya a El Patrocinio correspondiente al primer tramo de la cabecera municipal, por tener un trazo actual existente, sólo requiere, para el desarrollo del proyecto de pavimentación, de la nivelación de su perfil.

3.2.1 Selección de ruta y banco de nivel

La selección de la ruta a seguir para la colocación de estaciones a cada 20 m, se basa en el trazo existente de la primera calle acceso a El Patrocinio y San Francisco de Sales.

La selección de la ruta se basó en el trazo existente de una calle de terracería utilizada por comunidad y en el derecho de vía . Su diseño no tubo tanto problema, ya que el terreno no era tan montañoso, y la vegetación predominante es de cultivos permanentes (café) y árboles.

3.2.2 Procedimiento

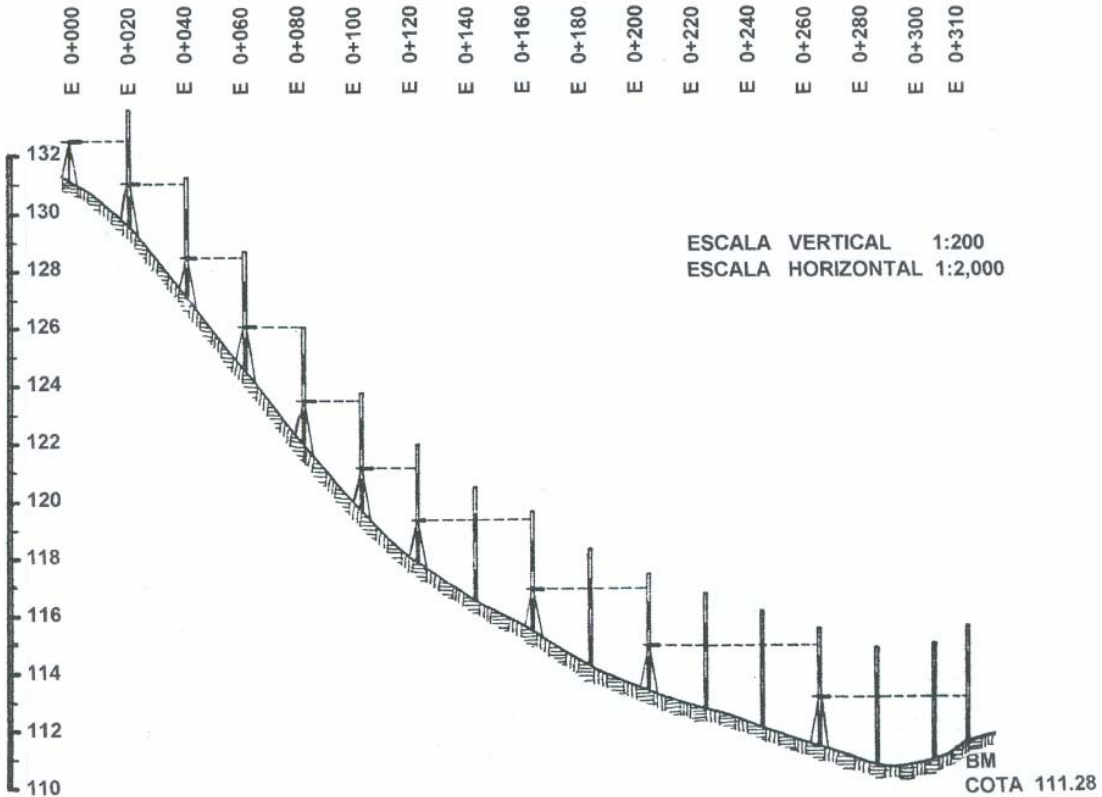
Para poder llevar a cabo el trabajo de campo, fue necesario adiestrar algunos vecinos de las comunidades en técnicas de mediciones topográficas, ya que los mismos carecían de los mínimos conocimientos de esta materia.

Por la característica del terreno se considera conveniente la utilización del método de nivelación directa compuesta.

El equipo necesario para la nivelación es el siguiente:

- teodolito (utilizado como nivel),
- trípode,
- estadal,
- cinta métrica,
- estacas, clavos y martillo.

Figura 6. Medición por el método de nivelación directa



- I. Partiendo de la cota más alta (localizada en la estación 0+000) se miden con cinta métrica de 15 distancias horizontales de 20 m hasta llegar a la estación 0+300. La última estación (B.M.) está a otros 10 m de distancia (E 0+310).
- II. Se arma, centra y nivela el aparato en la estación 0+000. Además, con cinta se mide la altura del aparato (H.I.) y se coloca el estadal en la siguiente estación (0+020). Se realiza la lectura con el aparato a 90° y se anotan los datos en la libreta de campo.

- III. Como ya no es posible, por lo quebrado del terreno, realizar otra lectura, se arma, centra y nivela el aparato en la estación 0+020 y desde allí se toma la siguiente lectura en la estación 0+040. También aquí se toma la lectura del aparato.
- IV. La diferencia de cotas estará dada por la diferencia entre la lectura actual y la altura del aparato: Nivel = Lectura - HI.
- V. Estos pasos se repiten sucesivamente tomando nota en la libreta de campo de: estación, altura del aparato o instrumento (HI) y lectura a 90°.
- VI. El trabajo se simplifica cuando se pueden observar varios puntos desde una misma estación, por ejemplo, desde las estaciones 0+120, 0+160, 0+200 y 0+260.
- VII. El procedimiento de cálculos de las cotas es el usual y se encuentra descrito en cualquier libro de topografía general, es decir, usando las ecuaciones siguientes:

$$H.I. = COTA + V.A.$$

$$COTA = H.I. - V.I.$$

H.I. = altura de instrumento

V.A. = vista atrás

V.I. = vista intermedia

Después de haber realizado el trabajo de campo se procedió a trabajar en gabinete, elaborando en hojas de diseño, las cuales contenían toda la información topográfica necesaria para iniciar. En ellas se dibujaron: perfil de la línea, secciones y curvas de nivel.

3.2.3 Libreta de campo

En el procedimiento descrito con anterioridad se menciona que deben anotarse en la libreta de campo los siguientes datos: No. de estación, estación, H.I. o altura del aparato y las lecturas observadas.

Por nuestra parte se calcularon en la libreta de campo que nos fue proporcionada, se procedió a plotear los puntos calculados tanto de planta como de perfil y a dibujar todas las secciones transversales, teniendo especial cuidado en los datos de las alturas de los taludes existentes.

Para diseñar la rasante se siguió el criterio que dice que la rasante más económica es aquella que más se pega al terreno natural, siempre que ello no sacrifique las condiciones de comodidad y mejoramiento de la línea del proyecto.

3.2.4 Cálculos y resultados

Los cálculos para determinar las diferencias de alturas entre cada estación son muy sencillos, pues, consisten en restar la altura del instrumento en una estación a la lectura observada en el estadal colocado en la siguiente estación.

$$NINEL = LECTURA(n) - H.I. (n - 1)$$

Cuando es posible realizar más de una lectura desde una misma posición, se calcula la diferencia de nivel restando a cada lectura; la altura común de instrumento.

Dentro del cálculo de cotas es importante la columna que contiene las diferencias de nivel acumulado, pues, partiendo del B.M. cuya cota es conocida, se va sumando, algebraicamente, la diferencia del nivel acumulado hasta llegar a la última cota (en este caso hasta la estación 0+000).

3.2.5 Perfil del terreno

Se llama así a la representación gráfica del corte o sección perpendicular del terreno o trazo, que permite observar las cotas del nivel correspondiente a determinados puntos medidos, horizontalmente.

El perfil del terreno se puede dibujar a escalas distintas: para las cotas se utiliza la escala vertical y para las distancias o estaciones la escala horizontal.

Si las escalas horizontales y verticales son iguales, se trata de un perfil normal, pero, generalmente, se tiende a disminuir la cota vertical, lo que permite observar mejor en el dibujo los cambios de nivel y pendiente a lo largo del trazo.

Antes de pavimentar una carretera, calle o aeropista debe levantarse el perfil aproximado del suelo, a fin de conocer la clase, características y capacidad soporte del terreno que va a servir de fundación al pavimento a construirse.

En la Figura 6, se puede observar el perfil del terreno nivelado, con escala horizontal 1:2,000 y a escala vertical 1:200.

El cálculo de las secciones transversales se llevó a cabo según la nivelación del eje central, seccionando a cada 20 metros sobre el eje central, para determinar el volumen de corte y relleno para la construcción de la carretera.

El método consiste en determinar las cotas a diferentes distancias con respecto al eje central. Lo anterior se realiza restando la lectura del estadal de la altura del instrumento del eje central, esto como si fuera una radiación.

Tabla V. Cálculo de secciones transversales

Izquierda				Caminamiento	Derecha			
-0.5/10	0/9	0.1/6	0.5/3	0+000	-0.15/3	-0.25/5	-1/10	
	1.35/9	0/6	0.6/3	0+020	-0.15/3	0.25/6		
	0.5/6	-0.06	0/3	0+040	-0.15/3	-0.3/6	1.2/6	
	0.8/6	-0.1/5	0.1/3	0+060	-0.5/3	-0.3/5	0.7/6	
	1.2/6	0/5	0.1/3	0+071.8	-0.15//3	-0.85/5	1/6	
	1.1/6	-0.2/5	0.5/3	0+080	-0.1/3	-0.4/5	0.8/6	
	1/6	-0.5/5	0.2/3	0+100	-0.15/3	-0.35/5	1.1/6	
	-0.15	-0.15	0.1/3	0+112.4	-0.5/3	-0.2/5	1.15/8	
	0.65/6	-0.3/5	-0.2/3	0+120	0.1/3	0/5	0.85/6	
	0.65/6	-0.3/5	-0.2/3	0+140	0.1/3	0/5	0.85/6	
	1.3/8	0/6	0.2/3	0+147.5	-0.5/3	-0.75/5	1.2/6	
	0/7	0.15/6	0.15/3	0+160	0/3	-0.1/6	-0.3/7	
	-0.8/7	-0.5/6	-0.15/3	0+180	-0.1/3	-0.1/6	-0.7/7	
	-0.8/8	-0.4/6	-0.15/3	0+191.38	0.1/3	0/6	-0.25/7	
	-0.9/8	-0.5/6	-0.2/3	0+200	0/3	0/6	-0.4/7	
	-0.6/9	-0.15/6	-0.5/3	0+220	0.1/3	0.2/6	0.3/7	
	-0.1/8	0.1/6	0.5/3	0+240	0/3	-0.25/6	-0.4/7	
	-0.4/10	0.1/6	0.5/3	0+260	0.1/3	0.15/6	0.1/7	0.7/8
	-0.5/7	0.5/6	0.1/3	0+280	0.5/3	0.2/6	-0.15/7	
	0/7	0.2/6	0.5/3	0+300	0.4/3	-0.4/6	0.15/7	
		-0.2/6	-0.5/3	0+320	0.3/3	-0.7/6	0.5/7	
		-0.15/6	0.2/3	0+340	-0.7/3	-0.2/6	-0.2/7	

Continuación de la Tabla V

-0.45/8	-0.15/7	-0.1/6	-0.1/3	0+360	-0.8/3	0.12/6	0.35/7	-0.2/8
	0.15/7	0.1/6	0/3	0+370.7	0.1/3	-0.4/6	0.15/7	-0.15/8
	-0.5/7	0.1/6	0/3	0+380	-0.7/3	-0.3/6	0.1/7	0.6/8
	-0.5/7	-0.1/6	-0.5/3	0+400	0.7/3	0.1/6	0.2/7	0.3/8
0.75/8	0.1/7	-0.3/6	0/3	0+420	0.25/3	0.15/6	0.85/7	0.6/8
	0/7	-0.25/6	-0.1/3	0+440	-0.11/3	-0.2/6	-0.1/7	0.8/8
0.4/8	0.1/7	0/6	-0.2/3	0+451.75	0.12/3	0.22/6	0.1/7	0.9/8
0.4/8	-0.7/7	0.2/2	0.8/3	0+460	0.15/3	0.3/6	0.25/7	0.9/8
0.9/8	-0.15/7	-0.1/6	-0.5/3	0+480	0.15/3	0.12/6	-0.7/7	1.1/8
0.85/8	-0.2/7	-0.2/6	0.7/3	0+485.46	0.8/3	-0.9/6	0.21/7	1.35/8
0.7/8	0/7	-0.2/6	-0.1/3	0+500	-0.1/3	-0.3/6	-0.1/7	0.9/8
-1.35/8	0/7	-0.12/6	0.1/3	0+520	0.3/3	-0.1/6	-0.15/7	1.35/8
0.9/9	0.3/8	-0.2/6	-0.5/3	0+540	-0.8/3	-0.4/4	-0.25/7	-1.25/8
1.2/8	-0.5/7	-0.5/6	0.5/3	0+560	0.2/3	-0.4/6	0.85/7	
	1.05/7	-0.1/6	0/3	0+580	0/3	0.5/6	0.95/7	
	1.2/7	0.15/6	0.15/3	0+600	-0.5/3	-0.1/6	0.95/7	
	1/7	0.1/6	0.5/3	0+613.6	-0.5/3	-0.1/6	1/7	
	0.5/7	-0.14/6	0.5/3	0+620	-0.6/3	-0.55/6	0.56/7	

4 CONTROL DE CALIDAD Y ENSAYOS DE LABORATORIO

4.1 Control de calidad

El control de calidad del suelo puede considerarse como un requisito indispensable para el desarrollo de toda obra de Ingeniería Civil que se pretenda llevar a cabo. Con ella se deben obtener datos tan importantes como la calidad, el tipo de suelo y la resistencia del mismo.

Las características básicas del suelo en el municipio, son en su mayoría, quebrados, bastante pedregosos e irregulares, debido a actividad del volcán de Pacaya, por lo que están asentados sobre material volcánico, de color café oscuro, produciendo inclinaciones en el terreno que oscilan entre el 1% al 9%, donde se pueden observar áreas bastante productivas por su pendiente.

4.1.1 De sub-rasante

- Tolerancia en compactación: se establece en menos del 5%, la sub-rasante reacondicionada debe ser compactada en su totalidad, hasta lograr el 95% de compactación con respecto a la densidad máxima AASHTO T-180. La compactación en el campo se debe comprobar según AASHTO T-191; con la aprobación escrita del ingeniero. Se deben efectuar ensayos representativos por cada 400 m².
- Tolerancia de superficie: se establece una tolerancia de 3 cm más o menos respecto al nivel de conformación de superficie indicada en los

planos con los cortes de 20 cm. Si la superficie reacondicionada estuviera muy baja respecto a los niveles indicados en los planos, el delegado residente con la debida anticipación podrá ordenar cortes más profundos o completar los rellenos con material de préstamo apropiado.

- Aceptación: la sub-rasante reacondicionada se debe aceptar para efectos de pago, hasta que se encuentre debidamente cubierta con material de sub-base, en el ancho total de sub-rasante indicado en las secciones típicas de pavimentación. No se permite que la sub-rasante ya reacondicionada, quede sin recubrir con sub-base, en una distancia mayor de 2 Km.

Las características de los materiales que componen la sub-rasante dependen de la temperatura, el régimen lluvioso y la precipitación anual media, niveles freáticos, de la geología y la topografía del terreno.

Según estudios realizados para su construcción, los materiales que constituyen la sub-rasante son arenas arcillosas y tiene una variación de CBR promedio que la compañía constructora presentó de este banco.

4.1.2 De sub-base y base no estabilizada

- a) Control de calidad en los materiales para sub-base no estabilizada.
 - Valor soporte: se debe efectuar un ensayo por cada 500 m³ producidos al iniciar la explotación de cada banco, hasta llegar a 3,000 m³ y seguidamente un ensayo por cada 3,000 m³ colocados.

- Piedras grandes y exceso de finos: las piedras mayores de 7 cm deben ser eliminadas, de preferencia en el banco o planta de producción, antes de colocar el material de sub-base.
- Granulometría: se debe efectuar un ensayo de granulometría, por cada 500 m³ de los primeros 3,000 m³ producidos al iniciar la explotación de cada banco, después ensayos cada 3,000 m³ colocados de material de sub-base.
- Plasticidad y equivalente de arena: se debe efectuar un ensayo por cada 3,000 m³ de material de sub-base colocado.

a.1) Control de calidad y tolerancias en los requisitos de construcción

- Compactación: se establece que se debe efectuar un ensayo representativo por cada 400 m² de cada una de las capas que se compacten. Las densidades de campo de preferencia no deben efectuarse a una distancia menor de 20 m en sentido longitudinal, sobre la superficie compactada que se está controlando. A menos que se trate de áreas delimitadas para correcciones.
- Superficie y espesor: no se aceptan irregularidades de más o menos 2 cm respecto a la cota de superficie correspondiente de la sub-base.
- Deflexión: el valor máximo de deflexión aceptable para la superficie de la capa de sub-base, no debe ser mayor a 0.2" (5 mm), respecto a un punto dado, a una distancia no mayor de 12' (3.68 m) en cualquier dirección. Para la prueba de deflexión se debe tomar cada 400 m².

- Aceptación: la aceptación de la capa de sub-base se debe efectuar, hasta que ésta se encuentre debidamente cubierta con la capa de base y los hombros.
- b) Control de calidad en los materiales para base de grava o piedra triturada
- Valor soporte: se debe efectuar un ensayo por cada 500 m³ producidos, seguidamente, un ensayo por cada 3,000 m³ colocados.
 - Abrasión: en cada banco, se debe efectuar un ensayo por cada 10,000 m³ de material en su estado original y por cada 20,000 m³ de material triturado.
 - Caras fracturadas y partículas planas o alargadas: en cada banco se debe efectuar un ensayo por cada 100 m³ de los primeros 1,000 m³ de material en su estado original y por cada 20,000 m³ de material triturado.
 - Granulometría: en cada banco, se debe efectuar un ensayo por cada 50 m³ en los primeros 500 m³ producidos y seguidamente un ensayo cada 100 m³ triturados.
 - Plasticidad y equivalente de arena: se debe efectuar un ensayo por cada 1,000 metros cúbicos de material de base producido.

b.1) Control de calidad y tolerancias en los requisitos de construcción

- Compactación: los ensayos se deben efectuar cada 400 m² de base de cada una de las capas que se compacten. El control de compactación se debe hacer en la franja de mayor circulación del tránsito previsto y siguiendo un orden alternado de derecha, centro e izquierda del eje.
- Superficie: no se permiten irregularidades mayores de más o menos de 1.0 cm, cuando el espesor de la capa de superficie de rodadura es igual o menor de 5 cm. Si el espesor de esta capa es mayor, se permiten irregularidades hasta de más o menos de 2.5 cm.
- Deflexión: el valor máximo de deflexión aceptable para la capa de base de grava o piedra triturada es de 0.1" (2.5 mm) respecto a un punto dado a una distancia no mayor de 12' (3.68 m) en cualquier dirección, cuando la capa de superficie de rodadura es igual o menor de 5 cm; si ésta es mayor la deflexión máxima aceptable es de 0.135" (3.5 mm); a menos que sea establecido de otra de las disposiciones especiales.
- Espesor: se establece una tolerancia en el espesor de más o menos de 1.5 cm pero el promedio aritmético de los espesores determinados por cada kilómetro no debe diferir en más de 0.5 cm, del espesor estipulado en los planos.
- Aceptación: se debe efectuar hasta que ésta se encuentre debidamente imprimada, en el ancho total de base granular, indicado en las secciones típicas de pavimentación.

c) Control de los materiales para base granular

- Valor soporte: se debe efectuar un ensayo por cada 500 m³ producidos, hasta llegar a 3,000 m³ y seguidamente un ensayo cada 5,000 m³ colocados.
- Abrasión: se debe efectuar un ensayo cada 10,000 m³ de material en su estado original y por cada 20,000 m³ de material producido.
- Partículas planas o alargadas: se debe efectuar un ensayo cada 100 m³ de los primeros 1,000 m³ producidos y seguidamente cada 5,000 m³ colocados.
- Graduación: en cada banco se debe efectuar un ensayo por cada 50 m³ en los primeros 500 m³ producidos y seguidamente un ensayo cada 200 m³.

c.1) Control de calidad y tolerancias en los requisitos de construcción para base granular

- Compactación: se deben efectuar ensayos representativos por cada 400 m² de cada una de las capas que se compacten. El control de compactación se debe hacer en la franja de mayor circulación del tránsito previsto y siguiendo un orden alternado de derecha, centro e izquierda del eje.
- Superficie: no se permiten irregularidades en la superficie, mayores de más o menos de 1.0 cm, cuando el espesor de la capa de superficie de

rodadura es igual o menor de 5 cm. Si el espesor de esta capa es mayor, se permiten irregularidades hasta de más o menos de 2.5 cm.

- Deflexión: el valor máximo de deflexión aceptable para la capa de base granular es de 0.1" (2.5 mm) respecto a un punto dado a una distancia no mayor de 12' (3.68 m) en cualquier dirección, cuando la capa de superficie de rodadura es igual o menor de 5 cm; si ésta es mayor la deflexión máxima aceptable es de 0.135" (3.5 mm); a menos que sea establecido de otra de las disposiciones especiales.
- Espesor: se establece una tolerancia en el espesor total compactado de base granular, de más o menos 1.5 cm, pero el promedio aritmético de los espesores determinados por cada kilómetro no debe diferir en más de 0.5 cm del espesor estipulado en los planos.
- Aceptación: se debe efectuar para efectos de pago, hasta que ésta se encuentre debidamente imprimada en el ancho total de base granular, indicado en las secciones típicas de pavimentación.

4.1.3 De sub-base y base estabilizada

a.1) Control de calidad en las características de los materiales para sub-base estabilizada

- Valor soporte: se debe efectuar un ensayo por cada 300 m³ de los primeros 3,000 m³ de sub-base estabilizada, colocada seguidamente un ensayo por cada 5,000 m³, o cuando cambien las características de los materiales.

- Compresión: se debe tomar una muestra para ensayo por cada 5,000 m³ de sub-base estabilizada, colocada cuando cambien las características de los materiales.
 - Cal y cemento: presentar certificado de calidad y resultado de ensayos de laboratorio de los productos que utiliza, por cada 100,000 Kg.
 - Material bituminoso: se debe tomar una muestra AASHTO T-40 por cada 10,000 galones, para controlar si cumple con los requisitos especificados del tipo y grado correspondiente.
 - Agua: se debe tomar una muestra para ensayo cada vez que se cambie de fuente de aprovisionamiento.
 - Contenido de material estabilizador: se debe tomar una muestra para ensayo por cada 5,000 m³ de sub-base estabilizada ya colocada.
- a.1) Control de calidad y tolerancias en los requisitos de construcción para sub- base estabilizada.
- Compactación: se deben efectuar ensayos representativos por cada 400 m² de cada una de las capas que se compacten. Las densidades de campo no deben ser efectuadas a una distancia menor de 20 m en sentido longitudinal sobre la superficie compactada que se está controlando.
 - De superficie: no se aceptan irregularidades mayores de 2 cm en exceso de la cota de superficie ordenada para la sub-base estabilizada.

- De deflexión: se deben efectuar un ensayo de deflexión por cada 400 m² en la superficie de la capa de sub-base estabilizada, previamente a su aceptación. La deflexión máxima de sub-base estabilizada con cal o cemento debe ser mayor de 0.12" (3 mm) respecto a un punto dado a una distancia no mayor de 12' (3.68 m) en cualquier dirección, y no debe ser mayor de 0.2' (5 mm) en la sub-base estabilizada con material bituminoso, para la misma distancia, a menos que se establezca de otra manera en las disposiciones especiales.
- Aceptación: la aceptación de la capa de sub-base estabilizada se debe efectuar hasta que ésta se encuentre, en el ancho total indicado en las secciones típicas de pavimentación, debidamente cubierta con la capa inmediata superior de la estructura del pavimento. No se permite que la capa de sub-base estabilizada, quede sin cubrir, en una longitud mayor de 2 Km.

b) Control de calidad de los materiales para base estabilizada

- Compresión, mojado y secado: se deben efectuar ensayos por cada 300 m³ de los primeros 3,000 m³ de mezcla para base estabilizada, cada vez que se modifique la fórmula de dosificación; seguidamente un ensayo por cada 3,000 m³, para mezcla en planta; y por cada 1,500 m³ para mezcla en el camino.
- Cemento: el contratista debe presentar un certificado de calidad y resultado de ensayos de laboratorio del producto que utiliza, por cada 100,000 Kg o cuando se utilice cemento de otro tipo o marca.

- Material bituminoso: se debe tomar una muestra según AASHTO T-40 por cada 10,000 galones para controlar si llena los requisitos especificados del tipo y grado correspondiente.
- Agua: se debe tomar una muestra para ensayo, cada vez que se cambie de fuente de aprovisionamiento.

b.1) Control de calidad y tolerancias en los requisitos de construcción

- Compactación: se establece una tolerancia en menos del 2%, respecto al porcentaje de compactación especificado para la aceptación de capa estabilizada con cemento. Se deben efectuar ensayos representativos por cada 400 m² de cada una de las capas que se compacten; las densidades de campo no deben ser efectuadas a una distancia menor de 20 m en sentido longitudinal sobre la superficie compactada que se está controlando, a menos que se trate de áreas delimitadas para correcciones.
- Superficie: no se aceptan irregularidades de 2 cm de la cota de la superficie ordenada para la base estabilizada.
- Deflexión: la deflexión máxima de base estabilizada con cemento, no debe ser mayor de 0.08" (2 mm) respecto a un punto dado a una distancia no mayor de 12' (3.68 m) en cualquier dirección, a menos que sea establecido de otra forma en las disposiciones especiales.

- Tolerancia en la fórmula de dosificación: la mezcla suministrada debe llenar los requisitos de la fórmula de dosificación aprobada por el delegado residente, dentro de las tolerancias siguientes:

Tabla VI. Fórmula de dosificación

REQUISITOS DE LA FÓRMULA DE DOSIFICACIÓN	TOLERANCIA EN MÁS O EN MENOS
Retenido en tamiz No. 4 (4.75 mm)	7%
Retenido en tamiz No. 200 (0.075 mm)	5%
Pasa tamiz No. 200 (0.075)	3%
Cemento	0.5%
Agua	0.5%

- Tolerancia en la aplicación del material bituminoso: para efecto de pago, sólo se aceptan variaciones no mayores del 5% de la cantidad ordenada para cada tramo.
- Aceptación: la aceptación de la capa de base estabilizada con cemento debe efectuar, hasta que éste se encuentre debidamente cubierta de superficie de rodadura en el ancho total indicado en las secciones típicas de pavimentación.

4.2 Métodos de muestreo

El muestreo se refiere a la obtención de una muestra de suelo que sea representativa del lugar de extracción y en cantidad necesaria para efectuarle todos los ensayos requeridos de laboratorio. No puede determinarse como

norma a cada cuanto de distancia debe tomarse la muestra, pues esto supondría la existencia de material homogéneo en toda la longitud de la línea considerada. Se acostumbra tomar la muestra a cada 100 m cuando no hay variación en la naturaleza del material presente y fundamentalmente, sí debe tomarse en los puntos donde se manifieste cambios porque se necesita establecer los confines de los estratos.

Para un estudio de suelo se debe alcanzar la máxima representatividad del material que se va a ensayar en el laboratorio. Si la muestra no es representativa, los resultados obtenidos del suelo ensayado carecen de valor y son inciertos.

La mejor forma de lograr dicha representatividad consiste en tomar las muestras parciales de varios puntos a lo largo del lugar del proyecto, para después mezclarlas como una solo muestra. Además se toma una porción representativa del tamaño deseado mediante la operación denominada "cuarteo".

4.2.1 Cuarteo de muestras

Es una forma segura de obtener la representatividad de las muestras, pues de una muestra se obtiene la porción del tamaño deseado para cada ensayo. Puede realizarse mediante la acción manual en lona o sobre el piso; también con el aparato partididor de ranuras o "cuarteador". Este último proporciona una partición más rápida y exacta de la muestra. Pero no siempre se cuenta con uno, por lo que cuidadosamente debe emplearse el cuarteo manual que, como su nombre lo indica, consiste en mezclar la muestra y dividirla en cuatro partes, de las cuales se toman dos, para luego mezclarlas nuevamente y dividirse en

otras cuatro partes. El proceso se repite hasta alcanzar el tamaño de muestra necesario para realizar el ensayo.

4.2.2 Muestras alteradas e inalteradas

En términos generales, son dos los tipos de muestra que pueden obtenerse de un suelo:

- muestras alteradas
- muestras inalterada

Muestra alterada

Se dice que una muestra es alterada cuando no guarda las mismas condiciones que cuando se encontraba en el terreno de donde procede.

Una muestra se considera alterada cuando, al ser extraída, no guarda las condiciones que tenía cuando se encontraba en el terreno, es decir, que sus características y proporciones de vacíos, agua y suelo, varían debido al manipuleo.

Muestra inalterada

Por el contrario, una muestra es inalterada cuando después de ser extraída, guarda las mismas condiciones que cuando se encontraba en el terreno de donde se obtuvo.

Por medio de esa actividad se pretende:

- Obtener una información completa que facilite las muestras representativas de cada estrato del suelo y efectuar en el laboratorio los ensayos respectivos.
- Localización de suelos y estratos de manera que pueda la información ser interpretada por el laboratorista y el proceso de diseño se adecue a la realidad física del lugar.

4.2.2.1 Profundidad de las muestras

Para estudio de carreteras o calles, debe limitarse la obtención de muestras a una profundidad de 1.50 m; a partir del nivel de la sub-rasante, por lo general, es suficiente obtener las muestras hasta una profundidad de 1 m, pues a esa profundidad el esfuerzo vertical transmitido por una carga concentrada de 5,000 Kg aproximadamente igual a la máxima carga por rueda de un camión, sería únicamente de 0.24 kg/cm^2 . Para aeropista donde las cargas por rueda llegan a veces a 68,000 Kg (150,000 Lb) la obtención de muestras podría limitarse a una profundidad de 3 m a partir del nivel de la sub-rasante.

4.2.2.2 Procedimiento para tomar las muestras

Para tomar muestras alteradas o inalteradas existe un procedimiento distinto.

Las muestras alteradas de un sondeo a pozo abierto se toman los pasos siguientes:

1. Limpiar la superficie del terreno (parte seca y suelta) hasta llegar al terreno natural. Una superficie limpia de aproximadamente un metro cuadrado, puede ser suficiente para tomar una muestra de 100 Lb de suelo.
2. Tomar las muestras bajo el terreno limpio y depositarlo en recipientes o bolsas impermeables, los cuales deben ser claramente identificados para los ensayos de laboratorio. Es recomendable, para los ensayos que se proponen en el presente trabajo, tomar muestras alteradas de aproximadamente de 50 Kg (100 Lb).

Por otro lado, las muestras inalteradas se toman limpiando y alisando la superficie del terreno, y luego excavando una zanja alrededor del cubo de suelo que se desea extraer (aproximadamente de 0.30m x 0.30m x 0.30m). Se ahonda la excavación y se corta. Se aplica parafina al trozo y se envuelve en tela blanda para garantizar la impermeabilidad. Finalmente se identifica la muestra para ser llevada al laboratorio.

Para los ensayos realizados como parte del presente proyecto no es indispensable la obtención de muestras inalteradas, pues en laboratorio se determinan los parámetros de humedad y compactación necesarios para el diseño y construcción de pavimento.

4.2.2.3 Tamaño de las muestras

El tamaño de las muestras alteradas que se toma regularmente para los ensayos de laboratorio que se llevan a cabo en este trabajo es de 40 a 50 Kg (110 Lb) lo que se logra extrayendo material a profundidades que varían de 0.50 m a 1.00 m de terreno limpio o natural por lo menos de un metro cuadrado de superficie. La cantidad de material debe ser suficiente para realizar todas aquellas pruebas que se consideren necesarias y aún para repetir la incorrectas o las que proporcionen resultados dudosos.

4.2.2.4 Distancia entre muestras

Se recomienda obtener muestras de puntos situados a 100 m de distancia uno del otro y además es importante tomarlas en lados alternos del eje central del terreno. La inspección visual del suelo puede ayudar a determinar cuales muestras ameritan estudiarse en laboratorio, pues si se observan características muy similares entre dos puntos escogidos a la distancia mencionada, se puede optar a no ensayar una de las muestras.

Generalmente, si se trata de una calle, pueden sacarse muestras a lo largo de la línea central, a cada 50 m, aproximadamente, y ambos lados de la línea central, cada 100 a 200 m. Estas distancias pueden ser aumentadas de 200 a 500 m, respectivamente.

Si el terreno o la obra a ejecutarse presenta características poco comunes, el ingeniero podrá ordenar que saquen muestras a mayor profundidad y menor distancia que las anotadas.

4.3 Muestreo de la sub-rasante

Es aconsejable en primer lugar efectuar un recorrido directamente por el lugar y obtener información preliminar que proporcione una visión general del problema y plantear posibles soluciones.

Existen diversos métodos de reconocimiento del suelo. Debe emplearse el método que proporcione la información deseada con la mayor economía, cuando se trata de una zona en la que no hay mayor en absoluto antecedentes, es aconsejable disponer, desde el instante inicial, de un programa flexible de reconocimiento que pueda ampliarse o reducirse según sean los primeros resultados obtenidos. Luego de estar preparados para el inicio, se presenta el banco que resulta ventajoso en calidad y cercanía que los sugeridos en los planos.

El material de la obra debe ser de calidad aceptable y uniforme, estar exento de materiales inapropiados y no contener piedras cuyo tamaño no permita su adecuada compactación en capas. En todo caso, el material debe ser el mejor que esté disponible de máxima fricción interna, proveniente de excavaciones cercanas, áreas de préstamo o bancos de materiales.

El relleno debe ser construido en capas sucesivas horizontales y de tal espesor que permita la compactación especificada. Los espesores de las capas a ser compactadas, deben ser determinados por el Contratista, con la aprobación del Delegado Residente, de conformidad con la capacidad de la maquinaria o equipo que se vaya a utilizar, debiendo efectuar para tal efecto, ensayos para determinar el espesor máximo en cada caso, siempre y cuando se llenen los requisitos de compactación que se indican.

Cuando se empalmen capas de materiales diferentes, éstas deben agruparse adecuadamente en una longitud suficiente o mezclarse los materiales de tal manera que se eviten cambios bruscos en los materiales de las capas.

4.3.1 Procedencia de muestra

La muestra fue obtenida del banco ubicado en el kilómetro 46 del tramo carretero de San Vicente Pacaya hacia El Patrocinio. Realizándose extracciones alteradas. La cantidad requerida para efectuar dichos ensayos fue de 150 Lb y llevado al laboratorio de mecánica de suelos, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

El procedimiento descrito a continuación no debe tomarse como una norma ya que puede variar, según el tipo de proyecto a desarrollar y las circunstancias locales existentes:

- a) Limpiar el área de 1 m² aproximadamente, donde se ha de perforar el agujero. Es aconsejable buscar un área donde no haya mucha acumulación de desechos.
- b) Quitar los materiales superficiales existentes acumulados, piedras, raíces, pedazos de tejas y otros que pueden alterar la muestra, hasta unos 5 ó 10 cm de profundidad según el caso; el agujero debe ser de no menos de 0.50 m de radio si es circular o de 0.50 m de lado si es rectangular.

- c) Cuando el material de muestra es homogéneo se procede a darle una clasificación preliminar, mediante la Inspección Visual, lo cual se hace tomando en cuenta sus características físicas, color, plasticidad, tamaño de las partículas, etc.
- d) A 0.9 m de profundidad, tomar dentro del saco una muestra del suelo existente en una cantidad de 90 a 100 Lb aproximadamente.
- e) Identificar la muestra con toda la información posible, kilometraje, número de muestra, profundidad, tipo de material existente, clasificado por inspección visual, y cualquier información que pueda ser útil.
- f) Traslado de la muestra al laboratorio para su respectivo análisis y clasificación final.
- g) A una distancia de 100 m aproximadamente, proceder de nuevo siguiendo el orden descrito en los incisos a – f.

Suelo

Parte muy importante del presente proyecto de diseño de pavimentos lo constituye la determinación de las características del suelo sobre el cual se asentará dicho pavimento, es decir la evaluación de la subrasante.

Para poder realizar el estudio de suelos se efectuaron un total de seis perforaciones para tomar muestras de suelo aproximadamente un metro de profundidad en los lugares indicados en el esquema de la página siguiente. Esto permitió identificar un estrato de suelo, el cual es el siguiente:

Se ensayó en el laboratorio la muestra representativa del estrato de suelo que se logró identificar: Arena limosa color café oscuro con algunas partículas de grava.

4.4 Ensayos de campo

Para una correcta información precisa a los ensayos de laboratorio, es necesario identificar el suelo en el campo por simple inspección o examen al tacto.

Esta descripción previa del suelo llega a ser más eficiente en cuanto mayor sea la experiencia de la persona que la dicta, la cual debe dominar algunos ensayos de campo que manipule el tipo de suelo observado.

4.4.1 Tipos de suelo

Para su identificación, los suelos se pueden agrupar, por su tamaño de grano en cinco grupos: Grava, Arena, Limo, Arcilla y Materia Orgánica. Difícilmente en la naturaleza se encuentren por separado, siendo común encontrar combinaciones de los mismos. Por lo anterior, se hace necesario identificar la cantidad de cada uno de ellos en la muestra, para poder definir el tipo de combinación que se presente.

4.4.1.1 Grava

Se clasifica como grava a los suelos formados por partículas cuyos diámetros son mayores de $\frac{1}{4}$ " (6.35 mm). Las piezas mayores comúnmente se llaman piedras y cuando excede las 10" (25.4 cm) se llaman morillos.

4.4.1.2 Arena

Por su tamaño de grano, los suelos se han clasificado como arenas cuando poseen partículas de 2 mm a 0.05 mm de diámetro. Proceden de la denudación de las rocas y de su trituración artificial.

Las arenas se caracterizan porque al estar limpias no se contraen al secarse, no son plásticas y son mucho menos compresibles que las arcillas.

4.4.1.3 Limo

El limo es un suelo de grano fino con poca o ninguna plasticidad. El diámetro de partículas de este tipo de suelo varía entre los 0.05 mm a 0.005 mm.

Por su origen, el limo puede ser orgánico o inorgánico. Su color varía desde gris claro a gris oscuro. Su permeabilidad y compresibilidad suele ser baja.

4.4.1.4 Arcilla

Este tipo de suelo está constituido de partículas con diámetro menor a los 0.005 mm. Se caracteriza por su más alta plasticidad al ser mezclado con agua, es compresible y al aplicarle una carga en la superficie, se contrae lentamente.

4.4.1.5 Materia orgánica

La materia orgánica también constituye un suelo y está formada por partículas finas de restos vegetales o animales parcialmente descompuestos.

Para fines de muestreo y estudio de suelos se recomienda evitar la presencia de materia orgánica en la medida posible.

4.4.2 Identificación de suelos

En el campo se pueden utilizar métodos sencillos para hacer la identificación del suelo antes de llevarlo al laboratorio. Esto constituye una información indispensable para cada muestra.

En el caso de los suelos granulares, esta identificación se puede realizar fácilmente a través de un análisis visual del tamaño de las partículas, ya sean boleos, gravas o arenas.

En el caso de los suelos finos: limos o arcillas, obviamente la identificación visual ya no es posible, y es allí donde entonces el ingeniero puede usar cualquiera de las pruebas de identificación preliminar de este tipo de suelos, que se enumeran a continuación:

1. Dilatancia
2. Resistencia en seco
3. Tenacidad

Estos análisis empíricos pero de mucha utilidad para el ingeniero son rápidos y económicos, y se adaptan bastante bien en casos de proyectos de construcción pequeños o bien en caso de análisis geotécnicos preliminares.

Cuando se hacen estos procedimientos en el laboratorio, se trabaja una muestra con el material que pasa el tamiz No. 40, que corresponde a un

diámetro de 1/64" (0.45 mm) aproximadamente. En el campo, se obvia el tamizado y simplemente se remueven con la mano las partículas gruesas.

4.4.2.1. Dilatancia (reacción al sacudimiento)

Después de remover las partículas gruesas, prepárese una pasta de suelo húmedo de un volumen de una pulgada cúbica aproximadamente. Añádase más agua si es necesario para hacer el suelo mas blando, pero no pegajoso. Colóquese la pasta en la palma de la mano y sacúdase horizontalmente varias veces contra la otra mano. Una reacción positiva consiste en la aparición del agua sobre la superficie de la pasta, la cual adquiere brillo y se torna lustrosa. Cuando se exprime la muestra entre los dedos, el agua y el brillo desaparecen de la superficie, la pasta se entiesa y finalmente se raja o desmorona. La rapidez de la aparición del agua durante el sacudimiento y la de su desaparición durante la exprimida, ayuda a la identificación preliminar del carácter de los finos en un suelo.

Las arenas limpias muy finas exhiben una reacción rápida y distintiva mientras que una arcilla plástica no tiene reacción.

Los limos inorgánicos, tal como el polvo de roca, muestran una reacción moderadamente rápida.

4.4.2.2 Resistencia en seco

Después de remover las partículas grandes, moldéese una pasta de suelo de consistencia de masilla, añadiendo agua si es necesario. Séquese la pasta en el horno, al sol o al aire, y pruébese su resistencia quebrándola y

desmenuzándola entre los dedos. Esta resistencia del suelo en su estado seco es una medida del carácter y de la cantidad de la fracción arcillosa y/o coloidal contenida en ese mismo suelo. La resistencia de la muestra seca aumenta en proporción directa con la plasticidad del suelo.

Una resistencia en seco alta es característica de las arcillas. Un limo inorgánico típico posee baja resistencia en seco. Las arenas finas limosas tienen igualmente una resistencia baja, pero se pueden distinguir por el tacto cuando se desmenuza el espécimen seco; la arena fina se siente áspera, mientras que en un limo típico se siente suave como el polvo.

4.4.2.3 Tenacidad

Después de remover las partículas gruesas, se moldea un espécimen de suelo de $\frac{1}{2}$ " cúbica aproximadamente, a la consistencia de masilla. Si el suelo está muy seco agréguesele agua, si está pegajoso hágase una capa delgada para que pierda humedad por medio de la evaporación. Luego se rodilla sobre una superficie porosa de un vidrio o en la palma de la mano, hasta que quede un cilindro con un diámetro de $\frac{1}{8}$ ". Luego, este cilindro es amasado y rodillado varias veces. Durante esta manipulación el contenido de humedad es reducido gradualmente y el espécimen se entiesa, finalmente pierde su plasticidad y se desmorona cuando alcanza el límite plástico.

Después de que el cilindro se desmorona debe reducirse a un solo terrón y se presiona ligeramente hasta que se desmorona.

Entre más tenaz sea el cilindro cerca del límite plástico y más tieso sea el terrón cuando finalmente se desmorona, mayor es la fracción de arcilla presente

en el suelo. La debilidad del cilindro en el límite plástico y la pérdida rápida de coherencia del terrón debajo del límite plástico, indican la presencia de arcilla y limos inorgánicos de baja plasticidad, o la presencia de materiales tales como: arcilla de tipo caolínico y arcillas orgánicas. Las arcillas altamente orgánicas son débiles y esponjosas al tacto en el límite del plástico.

4.4.2.4 Otros ensayos

El ensayo de olor, que ayuda a la identificación de materiales con olores específicos; el ensayo al ácido, con el que se puede observar la reacción efervescente del carbonato cálcico al aplacarle unas gotas de ácido clorhídrico y, finalmente, el ensayo al brillo que indica la presencia de limo o arcilla de baja plasticidad cuando al frotar una muestra seca o ligeramente húmeda con la uña o una navaja, se presenta mate y, por otro lado, denota una arcilla muy plástica cuando la superficie frotada es brillante.

4.5 Características de los materiales disponibles

Tomando los resultados de los estudios llevados a cabo por la unidad supervisora del proyecto que nos ocupa podemos ver los datos de los diversos estacionamientos, que para el desarrollo del proyecto de diseño de pavimentos considerando necesario varios ensayos de laboratorio que determinen las características del suelo en forma precisa. Por lo anterior, es importante hacer una descripción de los ensayos que se practicaron en el presente trabajo, analizando sus objetivos, procedimientos y, sobre todo, sus resultados.

Los ensayos o pruebas que se llevaron a cabo en el desarrollo del diseño de pavimento del acceso de San Vicente Pacaya a El Patrocinio y que a la vez están normados de la siguiente forma:

- Compactación o Próctor modificado: Normado por la AASHTO T-180, AASHTO T-191 (ASTM D 1556).
- C.B.R. e inchamiento: AASHTO T-193, AASHTO M-145, material inapropiado.
- Granulometría: AASHTO T-27
- Límite líquido: AASHTO T-89
- Límite plástico: AASHTO T-90

4.5.1 Compactación Próctor modificado

Con el objeto de mejorar las propiedades, aumentar la resistencia y capacidad de carga, reducir la compresibilidad y disminuir la aptitud para absorber agua, es conveniente compactar el suelo que ha de servir de base a un proyecto como el presente.

Para lograr una compactación ideal es indispensable conocer una cantidad de agua que permita la excelente lubricación del suelo. Dicha cantidad de agua, denominada "humedad óptima", se puede calcular en el laboratorio por medio del ensayo de compactación. Con la humedad óptima se alcanza la mayor

densidad posible del suelo o "densidad máxima" para lograr la compactación deseada.

Para determinar la humedad óptima y la densidad máxima del suelo, se utiliza generalmente el método dinámico de Próctor, en el cual la energía de compactación se aplica por medio de golpes de pistón (martillo o mazo) según las normas mencionadas.

Compactando en suelos diferentes contenidos de humedad, se obtienen distintos valores que en un gráfico se representan así:

- las ordenadas representan diferentes valores de pesos volumétricos (densidades) expresados en lb/pe³ o kg/m³.
- las abscisas representan los porcentajes de humedad.

La gráfica obtenida, con cinco puntos por lo menos, se asemeja a una parábola abierta hacia abajo con su densidad máxima (ordenada) y su humedad óptima respectiva (abscisa).

4.5.2 Razón soporte califonia (C.B.R.)

EL valor soporte o capacidad soporte de un suelo es la propiedad que le permite resistir la penetración o el escurrimiento lateral cuando se le aplica una carga y depende de la resistencia al corte del suelo. Para medir este Valor Soporte es ampliamente utilizado el ensayo de California Bearing Ratio (C.B.R) o razón soporte califonia.

En cualquier proyecto de pavimentación es indispensable establecer la condición de resistencia del suelo que ha de ser sometido a las distintas cargas.

El C.B.R. puede definirse como una medida comparativa de la resistencia del suelo en condiciones controladas de humedad y densidad, puesto que se expresa como el porcentaje del esfuerzo requerido para hacer penetrar un pistón en el suelo estudiado, en relación con el esfuerzo requerido para hacer penetrar el mismo pistón hasta la misma profundidad de una muestra patrón bien graduada.

$$C.B.R. \approx \frac{\text{Resistencia a la penetración en suelo ensayado}}{\text{Resistencia a la penetración en material patrón}} (100)$$

Se toma el material patrón de compactación, la piedra triturada bien graduada, cuyo C.B.R. es el 100%.

Los valores estándar de resistencia para el material patrón de acuerdo a su penetración son:

Tabla VII. Resistencia a la penetración

PENETRACIÓN		RESISTENCIA	
Pulg.	mm	Lb/pulg ²	Kg/m ²
(*) 0.1	2.54	1,000	70
(*) 0.2	5.08	1,500	105
0.3	7.62	1,900	133
0.4	10.16	2,300	161
0.5	12.70	2,600	182

(*) Generalmente son los más utilizados.

Los valores del C.B.R. indican claramente el grado de capacidad soporte del suelo, es decir, si el material tienen una resistencia que lo haga apto para alguna de las fases de pavimentación, como se resume en el siguiente cuadro:

Tabla VIII. Material en porcentaje para C.B.R.

C.B.R.	SUELO APTO PARA:
0% a 10%	Subrasantes muy malas.
10% a 20%	Subrasantes malas.
20% a 30%	Subrasantes regulares a buenas.
30% a 60%	Sub-bases buenas.
60% a 80%	Bases de grava.
80% a 100%	Bases de piedra y grava triturada.

4.5.3 Límites de Atterberg

Los ensayos que determinan los límites de consistencia del suelo se utilizan para conocer las propiedades plásticas del mismo. Al incrementar el contenido de agua de un suelo, este puede pasar desde un contenido de agua de un suelo, este puede pasar desde un estado sólido, por varias etapas de consistencias definidas por Atterberg así: estado sólido, estado semisólido, estado plástico y estado líquido. Los cambios de estado se producen gradualmente y los límites fijados arbitrariamente se denominan: límite líquido (L.L.), y límite plástico (L.P.).

Límite líquido (L.L.)

Es el porcentaje de humedad o contenido de agua que determina la división entre el estado líquido y el estado plástico del suelo.

El método utilizado actualmente para la determinación del límite líquido es el creado por A. Casagrande, con el cual se puede calcular el contenido de agua de un suelo que posee una consistencia tal, que una muestra a la que se le ha practicado una ranura, al sujetarse al impacto de varios golpes fuertes, se cierra sin que el suelo resbale sobre su apoyo. El dispositivo conocido como copa de Casagrande produce un impacto mecánico estándar desde una altura fija y se complementa con una herramienta especial para realizar la ranura. Así, el límite líquido puede definirse como el contenido de agua que permite cerrar la ranura típica con 25 golpes en el aparato de Casagrande.

Con tres o más contenidos de agua se determina el número de golpes necesarios para cerrar la ranura hecha en la muestra de suelo, con únicamente el material que pase por la malla No. 40 empíricamente, se ha encontrado que se obtiene una línea recta si este se grafica en papel semi-logarítmico así: el contenido de agua en la escala aritmética vertical y el número de golpes en la escala logarítmica horizontal. El contenido de agua al cortar, ésta resta en la escala vertical que corresponda a 25 golpes, será el límite líquido.

Límite plástico (L.P.)

Es el porcentaje de humedad con el cual el suelo cambia del estado plástico al estado semi-sólido.

El método para determinar el límite plástico en una muestra de suelo consiste en hallar el contenido de agua, expresado en porcentaje de peso seco, con el cual se agrieta un cilindro de material de 3 mm. (1/8") de diámetro al rodarse con la palma de la mano sobre una superficie lisa.

De los ensayos de límites de consistencia se pueden obtener el índice de plasticidad (I.P.) que sirve principalmente para determinar separaciones marcadas entre los distintos tipos de suelo.

Índice de plasticidad (I.P.)

Es la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico, representa la variación de humedad que puede tener un suelo que se conserva en estado plástico.

$$IP = LL - LP$$

Tabla IX. Índice de plasticidad

INDICE DE PLASTICIDAD (IP):	PLASTICIDAD DEL SUELO:
IP = 0	no plástico
0 < IP < 7	baja plasticidad
7 < IP < 17	mediana plasticidad
IP > 17	alta plasticidad

4.5.4 Análisis granulométrico

El propósito del análisis granulométrico es determinar el tamaño de los granos que constituye un suelo y, al mismo tiempo, el porcentaje de los mismos en los distintos intervalos de tamaños.

Se hace este ensayo por medio de una serie de tamices, para granos de tamaño grande y mediano (diámetro mayor de 0.074 mm), que de acuerdo a las características del material fino de la muestra, el análisis por tamices puede realizarse con la muestra íntegra o con una fracción de la misma después de lavarla. Debe lavarse si los finos consisten esencialmente en arcillas.

Para dibujar la curva granulométrica se utiliza papel semi-logarítmico. En la escala aritmética vertical se anotan los porcentajes del material que pasó por las distintas mallas, en la escala logarítmica horizontal se anotan las aberturas de las mallas utilizadas, lo que equivale a los distintos diámetros de las partículas.

4.5.5 Peso unitario suelto (P.U.S.)

Para conocer el factor de abudamiento entre un banco de material suelto en los camiones es necesario determinar el peso volumétrico tanto en el banco de material como después de extraído. Si el peso volumétrico del material en el banco se relaciona con el peso volumen del material suelto, entonces el factor del abudamiento es:

$$F.A. = \frac{\gamma_b}{\gamma_c}$$

γ_b = peso volumétrico del material en el banco

γ_c = peso volumétrico del material suelto

$$F.A. = \frac{V_b}{V_c}$$

V_b = volumen en el banco

V_c = volumétrico del material suelto

$$F.A. = \frac{\gamma_c}{\gamma_t} = \frac{V_t}{V_c}$$

γ_c = peso volumétrico seco en el lugar consolidado (un terraplén, por ejemplo)

V_t = volumen del material en el lugar consolidado

V_c = volumen del material seco y suelto

Si en el lugar de la obra no se cuenta con una balanza para determinar los pesos volumétricos, el factor de abundamiento se puede obtener midiendo los volúmenes. Para ello se hace una excavación de 1.5 m x 1.5 m más o menos, de 0.5 m de profundidad. El material extraído se coloca en un camión de volteo y se determina el volumen ocupado. El factor de abundamiento es entonces de:

$$F.A. = \frac{\text{volumen del material suelto}}{\text{volumen del material del banco}}$$

El factor de reducciones de los camiones el material consolidado o compactado en el lugar se determina:

$$F.A. = \frac{PVMS}{PSLG} = \frac{VMLC}{VMSS}$$

PVMS = peso volumétrico del material suelto

PSLG = peso seco en el lugar consolidado

VMLC = volumen del material en el lugar consolidado

VMSS = volumen del material seco y suelto

En el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala se ensayó la muestra obtenida en el lugar del proyecto. Los resultados de dicho ensayo se representa a continuación.

Resumen de resultados de los ensayos del laboratorio de mecánica de suelos

Descripción: Arena limosa color café oscuro con algunas partículas de grava.

Compactación AASHTO T-180

Densidad máxima 99.8 Lb/pie³ 1,599 k/m³

Humedad óptima 19.5%

C.B.R. AASHTO T-193

90% = 57.6%

95% = 82.1%

Expansion 0%

Límites de Atterberg AASHTO T-89 y T-90

Límite líquido 49.9%

Índice de plasticidad 2%

Granulometría AASHTO T-27

% de grava 6.16

% de arena 66.49

% de finos 27.36

Clasificación:

S.C.U. SM

P.R.A. A-2-5

Peso unitario suelto (P.U.S.)

AASHTO T-19

P.U.S. = 1,188.0 kg/m³

5 DESCRIPCIONES ESTRUCTURALES DE LOS MATERIALES QUE COMPONEN LAS DIFERENTES CAPAS DEL PAVIMENTO

Es lógico considerar además del estudio del suelo de fundación del pavimento, el análisis y los ensayos necesarios para determinar la calidad y características deseables de los depósitos o bancos de materiales que pueden emplearse para sub-bases, bases y carpetas asfálticas.

5.1 Estado de la carretera

Antes de pavimentar una carretera, calle o aeropista, debe levantarse el perfil aproximado del suelo, a fin de conocer la clase, característica y capacidad de soporte del terreno que va a servir de fundación al pavimento a construirse.

5.1.1 Sub-rasante

Es la superficie que resulta del movimiento de tierras; pudiendo estar en corte o relleno y que una vez compactada tiene las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos de diseño.

En general debe cumplir con especificaciones de incompresibilidad, resistencia a la expansión y retracción por afectos de humedad, debe ser lo suficientemente rígida para evitar una deformación excesiva por efectos de cargas imprevistas o accidentales (sobre cargas de tránsito) y tener previstos

desniveles necesarios para desalojar el agua de lluvia fuera del área donde se encuentre pavimentado. El espesor del pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la sub-rasante.

Se hizo una operación que consistió en homogenizar, mezclar, uniformizar, y efectuando cortes y rellenos, no mayores de 20 cm de espesor; con el objeto de regularizar, mejorando mediante estas operaciones las condiciones de la sub-rasante, como cimiento de la estructura del pavimento.

Materiales inapropiados para sub-rasante

- Suelos clasificados como A-8 según AASHTO M-145
- Las rocas aisladas, mayores de 10 cm, que se encuentran incorporadas en los 30 cm superiores de la capa de suelo de sub-rasante.

Materiales apropiados para sub-rasante

- Suelos de preferencia granulares con menos de 3% de hinchamiento en ensayo AASHTO T-193.

La sub-rasante se puede considerar:

- ♦ Muy mala calidad: contiene demasiada materia orgánica o material suelto sin cohesión. Se debe sustituir por materiales de mejor calidad o estabilizarla con cemento, cal, materiales bituminosos. etc., en un espesor que dependerá de las cargas de diseño y de las propiedades de los materiales a utilizar en las capas restantes.

- ♦ Mala calidad: la conforma un suelo fino limoso o arcilloso, será necesario colocar una capa de sub-base granular de material selecto o de material estabilizado antes de la colocación de la capa de base.
- ♦ Buena calidad: de forma un suelo bien granulado con un valor soporte alto y un buen drenaje, podrá omitirse la capa de sub-base.
- ♦ Excelente calidad: con un valor soporte muy bueno, tanto así que la carpeta de rodadura se coloca, directamente, sobre la sub-rasante, con su cama de asiento.

De acuerdo con los resultados del estudio de suelos se determino que el suelo sobre el cual se asentará el pavimento será predominantemente de tipo arcilloso, por consiguiente el tipo plástico y sujeto alteraciones de volumen.

5.1.2 Sub-base

Capa que va colocada sobre la sub-rasante y debajo de la base. No es necesaria, siempre y cuando, las condiciones de la sub-rasante no lo exijan.

La sub-base es de material arena limosa con un CBR de 65% compactada al 95% según el método AASHTO T-180 y construida de acuerdo a las especificaciones para sub-base de materiales seleccionados. La sub-base se colocó en el pavimento flexible con un espesor de 30 cm.

Es la capa de la estructura del pavimento destinada a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas de tránsito, de tal manera que el suelo de subrasante las pueda soportar. Además, sirve de capa de drenaje al pavimento.

Para la construcción de la sub-base debe seleccionarse un material con mayor capacidad soporte que la sub-rasante compactada, que tenga las siguientes características:

- C.B.R. no menor que 30%
- Índice plástico no mayor de 6, se puede aceptar hasta 10
- límite líquido menor de 40%
- material tipo A-1, A-2, o A-3, según clasificación P.R.A

Para cumplir su función principal, que es la de servir de capa de drenaje, la sub-base debe ser de material granular y preferiblemente tener porcentajes de material fino que pasen por el tamiz No. 200 menores del 35% (deseable menores del 10%).

Algunas de sus funciones son:

- ♦ Aumentar el valor soporte y proporcionar una resistencia más uniforme a la capa de rodadura.
- ♦ Transmitir y distribuir las cargas de la base.

- ♦ Controlar los cambios de volumen, elasticidad y plasticidad.

5.1.3 Base

Tiene como finalidad absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y además repartir los esfuerzos a la sub-base y a la sub-rasante.

Las funciones esenciales de la base son:

- ♦ Tener suficientemente resistencia para distribuir las cargas de la capa de rodadura.
- ♦ Servir de material de transición entre la sub-base y la capa de rodadura.
- ♦ Resistir a los cambios de temperatura, humedad y desintegración por abrasión producidos por el tránsito.

La base debe tener una resistencia a la deformación mayor que la del cemento, por lo que se pueden utilizar materiales como: piedra o grava triturada, mezclas estabilizadas del suelo (con cemento, cal o material bituminoso) o escoria volcánica.

5.1.4 Carpeta de rodadura

Es una capa de arena gruesa que se coloca sobre la capa de base antes de colocar el pavimento.

Esta capa de la estructura del pavimento tiene la función de proteger la base permeabilizando la superficie, con el objeto de evitar posibles infiltraciones de agua que destruyan las capas inferiores. También evita el desgaste de la base provocado por el tránsito.

Por otro lado, la capa de rodadura también contribuye a aumentar la capacidad soporte del pavimento en función de su espesor.

Entre los distintos tipos de capas de rodadura, se pueden mencionar los siguientes:

- carpeta de rodadura de concreto (pavimento rígido),
- carpeta de concreto asfáltico en caliente,
- carpeta de mezclas asfálticas en frío,
- macadams,
- adoquines de concreto.

Las funciones de esta capa son:

- ♦ Proporcionar un acomodamiento para el pavimento sobre la capa de base, cubriendo perfectamente las pequeñas irregularidades que ésta pudiera tener.
- ♦ Ofrece una sustentación y un apoyo uniforme en toda la superficie del pavimento.

El propósito de esta capa o carpeta de rodadura es proveer una superficie que cumpla con las siguientes funciones:

- ◆ Proteger las capas inferiores de los efectos del sol, las lluvias y el frío.
- ◆ Ofrecer una superficie de rodadura lisa y uniforme.
- ◆ Resistir, con desgaste mínimo, los esfuerzos producidos por las llantas de los vehículos.

5.2 Trabajos previos al diseño del pavimento

Es conveniente y necesario hacer un análisis del contenido del proyecto, complementar y combinar los datos que se conocen a través de los planos con una inspección ocular de ubicación de la obra, evaluando sus condiciones y analizando que elementos locales y regionales pueden ser utilizables y cuales podrían ocasionar dificultades. Una conveniente evaluación de las instalaciones existentes que pueden evitar complicaciones y atrasos que derivan y redundan en los costos de la obra y en su buena ejecución.

En general, se deben considerar aspectos tales como:

- acceso a la región,
- traslado de postes de TELGUA o de la EEGSA que pueden afectar el desarrollo de la obra,
- otras instalaciones que pudieran ser reparadas por estar ya deterioradas.

La condición actual de las calles en el sector, se considera aceptable en verano, no así en época lluviosa, ya que la erosión provoca un deterioro considerable que dificulta en gran manera en tránsito de vehículos por el lugar.

Se diseñó un pavimento para un tránsito de vehículos, el cual se asumió de 51 vehículos pesados diarios en ambos sentidos y de 26 vehículos pesados diarios en un sentido. La carga máxima fue de 20,000 libras y el eje tandem de 36,000 libras, con lo cual se obtuvo un peso neto promedio de camiones pesados de 28,000 libras. Siguiendo dicho método se obtuvo un espesor total de la estructura del pavimento de 18 pulgadas, el cual al efectuar las sustituciones correspondientes de material de subrasante, sub-base y carpeta de rodadura, efectuando las equivalencias correspondientes, queda de la siguiente manera:

7 cm de capa de rodadura,
30 cm de sub-base,
10 cm de su-rasante,
para un espesor total de 47 cm.

Las variables que intervienen en el diseño de un pavimento flexible son numerosas y tienen interacción, por lo cual un proyecto adecuado debe analizar el problema desde un punto de vista general. Entre las diferentes variables pueden mencionarse:

- Estructurales: incluyen características relativas a cada una de las capas que constituyen la carretera, como espesores, resistencia y deformabilidad en las condiciones esperadas de servicio.

- De carga: se refieren a los efectos producidos por el tránsito mezclado al circular por la carretera. En este caso con importantes datos relacionados con tránsito medio diario anual, tasa de crecimiento anual, cargas por eje sencillo o múltiple histograma de distribución del tránsito en la sección transversal de camino, y vida del proyecto del pavimento antes que la carretera requiera una reconstrucción, en cuyo caso debe definirse de antemano el criterio de la falla del pavimento.
- De clima y condiciones regionales: las características geológicas de los materiales que constituyen la carretera dependen de la temperatura, régimen de precipitación, precipitación media anual, nivel freático, geología y topografía de la región.
- Variables de conservación: un buen mantenimiento garantiza que las variaciones en las características constructivas de los materiales sean mínimas, no obstante, el costo puede ser excesivo. La ausencia de conservación implica cambios fuertes y normalmente un deterioro acelerado del camino. La solución adecuada debe escogerse entre ambos extremos.
- Comportamiento: un pavimento adecuado es el que llega a la falla funcional después de haber resistido el tránsito de proyecto a la calificación más alta posible y al menor costo relativo.
- Criterios de escisión: incluye numerosos factores que van desde la disponibilidad de fondos, costos, confiabilidad y economía de la obra, seguridad y calidad de operación, hasta tipo de conservación deseable.

5.2.1 Sección típica del pavimento

Es la representación gráfica de un corte transversal que muestra en proyección vertical las pendientes, espesores, dimensiones y composición de las estructuras del pavimento.

5.2.2 Tratamientos asfálticos superficiales

Es una capa de revestimiento de poco espesor, generalmente menor de 2.5 cm formada por riegos sucesivos y alternados de material bituminoso y agregados pétreos, destinados principalmente, a recibir directamente la acción del tránsito proporcionado al pavimento las condiciones necesarias de impermeabilidad, resistencia al desgaste y suavidad para el rodaje, aunque para el diseño del pavimento no se considera que aporte ninguna contribución a la distribución de la carga.

Se debe regar uniformemente una membrana sobre la superficie. El agregado de recubrimiento se esparcirá uniformemente en menos de un minuto a partir de la aplicación del asfalto, después de colocar el agregado se comenzará a compactar para que produzca una superficie bien cerrada y suave. Tan pronto como el asfalto haya fraguado o endurecido, el aplanado deberá darse por terminado para evitar que la adherencia entre el agregado y la superficie, se rompa.

5.2.2.1 Tipos de tratamiento superficial

Existen varios tipos de tratamientos, siendo los principales que se usaron en el proyecto de pavimentación:

Riegos o capas de imprimación

El riego de imprimación es la aplicación de un material bituminoso líquido, por medio de riego a presión, sobre la superficie de la sub-base, o base y hombros de una carretera, para protegerla impermeabilizarla, unir entre sí las partículas minerales sueltas y endurecer la superficie, favoreciendo la adherencia entre la superficie imprimada y la cama inmediata superior.

Después de que se colocó la capa de imprimación los vehículos dejaron de transitar sobre ella 24 horas. Antes de aplicar el riego de imprimación se removió de la sub-base terminada todo material suelto y extraño por medio de un barrido ligero.

Sello de arena

Es una aplicación de material asfáltico recubierto con agregado fino. Se usó para mejorar la resistencia al deslizamiento del pavimento resbaladizo, así como para evitar la entrada de aire y agua en el pavimento.

Capa de sello

Es un tratamiento superficial delgado, se utilizó para mejorar la textura superficial e impermeabilizar el pavimento, no se recubrió con ningún agregado.

5.2.2.2 Usos de los tratamientos superficiales

Se usa para a) Conseguir una superficie de bajo costo que sirva en todo tiempo. b) Impermeabilizar. c) unir la base a la capa que queda encima de ella.

d) Proporcionar una superficie antirresbalante. e) Dar nueva vida a superficies secas y envejecidas. f) Proporcionar una cubierta temporal para una nueva base. g) Reforzar el pavimento existente. h) Controlar el polvo. i) Guiar el tráfico. j) Mejorar la visibilidad nocturna.

5.2.3 Control de la temperatura de riego de los asfaltos

El asfalto es un material termoplástico que se vuelve más líquido (disminuyendo su viscosidad) con el aumento de la temperatura. Por ello la temperatura de riego debe ser seleccionada muy cuidadosamente, pues no es la misma para los diferentes tipos y grados, o para asfaltos del mismo grado, pero de diferente procedencia.

Tabla X. Especificaciones de temperaturas asfálticas

TIPO Y GRADO	ESPECIFICACIONES	TEMP. DE APLICACIÓN	
		GRADOS °F	GRADOS °C
Cemento asfáltico			
Penetración 120-150, AC-10	AASHTO M20, M226	285-350	140-177
Penetración 200-300, AC-5	AASHTO M20, M226	260-325	127-163
Asfalto líquido			
RC-250	AASHTO M81	145-220	63-104
RC-800	AASHTO M81	180-355	82-124
Emulsiones asfálticas			
RS-1, CRS-1	AASHTO M140 M208	75-130	24-54
RS-2, CRS-2	AASHTO M140 M208	110-160	43-71

En esta tabla indica el rango de temperaturas necesarias para conseguir una viscosidad adecuada del asfalto en las aplicaciones de riego. Sin embargo los rangos de temperatura en general están por encima del punto de inflamación mínimo de los asfaltos líquidos. De echo algunos de esos asfaltos líquidos inflamarán por debajo de las temperaturas indicadas.

Hay que tomar precauciones de seguridad en todo momento cuando se manejan estos asfaltos. Algunas precauciones son:

1. No permitir llamas ni chispas de ninguna clase cercanos a estos materiales, excepto en las calderas de calentamiento, mezcladores, distribuidores, y otros equipos especialmente diseñados para manipularlos y aplicarlos.
2. No debe utilizarse ninguna llama para inspeccionar o examinar los tambores, camiones tanques u otros depósitos en los cuales esos materiales han sido almacenados.
3. Todos los vehículos que transportan esos materiales deben tener respiraderos adecuados.
4. Únicamente se le permitirá supervisar el manejo de esos materiales al personal experimentado.
5. Deben satisfacerse todos los requisitos legales de seguridad.

6 DISEÑO DEL PAVIMENTO

Se le denomina así, a la estructura multicapa que se coloca sobre la sub-rasante de una carretera, integrada principalmente por la sub-base, la base y la carpeta de rodadura; y que provee un servicio al usuario con la seguridad, confort y durabilidad.

6.1 Objetivo de pavimento

- a) Soporte adecuado de las cargas por el tránsito: naturalmente, un camino ha de ser capaz de soportar las cargas que el tráfico ocasiona, sin que se produzca desplazamientos en la superficie, base o sub-base. Corrientemente se llama a esto estabilidad, otras veces resistencia mecánica, refiriéndose no sólo a la resistencia al peso directo de la rueda de tantos kilogramos por centímetros cuadrados, sino también a la capacidad de impedir la presencia de roturas internas y movimientos de partículas ocasionadas por la acción de amasadura del tráfico.

- b) Protección de la terracería contra el agua: el agua es uno de los elementos que más contribuye a la destrucción de una carretera, un exceso de agua produce lubricación entre las partículas. Es necesario tener un control de las aguas superficiales, como las que se filtran en el sub-suelo.

- c) Desgaste de los materiales por rodamiento: el desgaste de la superficie de rodamiento producido por el paso de vehículos origina desgaste por abrasión hasta la formación de nubes de polvo, el arrancado, y pérdidas de elementos de mayor tamaño.
- d) Contextura superficial adecuada: se hace indispensable que la capa de rodadura sea la suficiente lisa, para proporcionar seguridad y comodidad al usuario, pero debe de tener alguna rugosidad para no ser peligrosa.
- e) Flexibilidad para adaptarse a las fallas de la sub-base: rara vez permite el tiempo ni el dinero que se disponen, una preparación total de sub-base y terraplenes, antes de construir la capa de rodadura. Es, por tanto, conveniente que esta capa de rodadura sea capaz de adaptarse a pequeños hundimientos, sin que sean necesarias costosas reparaciones.
- f) Resistencia a la meteorización: el sol, la lluvia, el viento, las heladas, el calor y el frío actúan continuamente sobre los materiales de la superficie. Algunos materiales o combinaciones de ellos, resisten estas fuerzas destructoras mejor que otros, prolongando así la vida de la superficie.

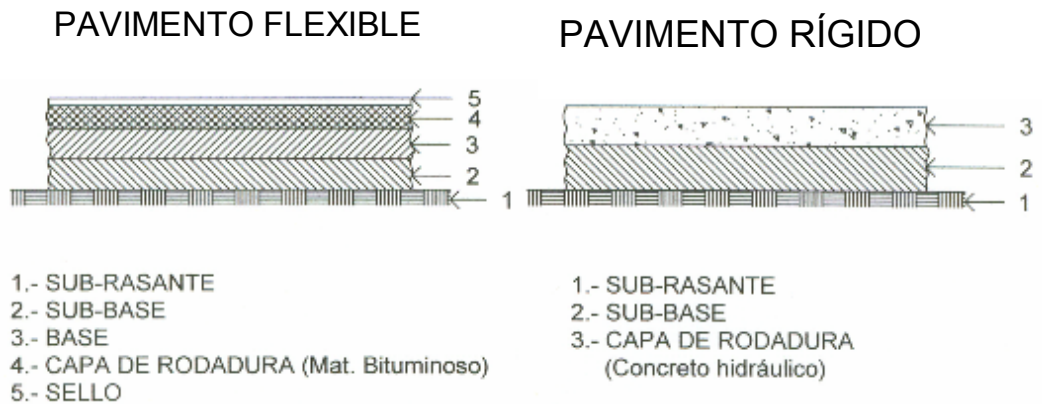
6.2 Tipos de pavimento

Según la forma en que los componentes del pavimento transmiten o distribuyen las cargas provenientes de la capa de rodadura sobre la sub-rasante, se puede hacer la clasificación siguiente:

Pavimento flexible

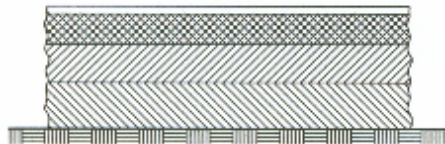
Pavimento rígido

Figura 7. Estructura de un pavimento



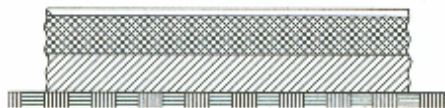
PARA SUB-RASANTE DE:

1.- CALIDAD BAJA:



SELLO
CAPA DE RODADURA
BASE
SUB-BASE
SUB-RASANTE

2.- CALIDAD BUENA:



SELLO
CAPA DE RODADURA
BASE
SUB-RASANTE

3.- CALIDAD EXCELENTE:



SELLO
CAPA DE RODADURA
SUB-RASANTE

6.2.1 Pavimento flexible

En este tipo de pavimentos se incluyen los asfaltos. La carpeta produce una distribución de cargas mínimas, por el contacto de partícula a partícula, de todo el espesor del pavimento.

Existen varios tipos de asfalto que no se describen detenidamente en este trabajo:

Tipo A.C. (cemento asfáltico)

Tipo R.C. (asfalto diluido de curado rápido)

Tipo M.C. (asfalto diluido de curado medio)

Y con lo que respecta a pavimento rígido y pavimento semi-rígido

6.2.2 Pavimento semi-flexible

Tomando en cuenta las consideraciones de la clasificación anterior, se puede decir que los pavimentos de adoquín son semi-flexibles ya que, aunque cada adoquín es un bloque de concreto rígido, constituye una unidad independiente en cuanto a la transmisión de cargas. Sin embargo, para motivos de diseño, el tipo de pavimentos flexibles se adapta más al caso del pavimento con adoquines de concreto, tomando en cuenta que al recibir el adoquín una carga concentrada, ésta se distribuye en el espesor del bloque y es transmitida sobre el área de la base cubierta por él, permitiendo una distribución de carga por contacto de partícula a partícula, tal es en caso del pavimento flexible.

6.2.3 Pavimento rígido

En los pavimentos rígidos la mayor parte de la capacidad estructural es proporcionada por una losa de concreto, que constituye la capa de rodamiento y que utiliza la acción de viga para distribuir la carga sobre una superficie de suelo.

Este tipo de pavimento ofrece grandes ventajas como: su capacidad para distribuir adecuadamente los esfuerzos a la sub-rasante y la terracería; su gran durabilidad y bajo costo de conservación y su facilidad de control de calidad por medio de muestras de concreto fresco o endurecido. Además, el cemento utilizado en su construcción es producido localmente, lo que evita gastos de importación de productos asfálticos.

Por otro lado, el pavimento rígido tiene la desventaja de no ser de uso generalizado en Guatemala, debido a la fuerte inversión que significa la adquisición del equipo.

6.3 Movimiento de tierras

El movimiento de tierras; es la excavación remoción y disposición de los materiales, que según el diseño de la rasante, será necesario realizar.

Todo material obtenido de un corte y que se va a utilizar en un relleno, tiene que ser transportado a una distancia determinada que, de acuerdo al costo de acarreo y al criterio racional, debe ser adoptada. Se pueden adoptar los límites de distancia de acarreo o transporte así:

6.3.1 Distancia de acarreo libre

Proporciona la máxima economía y se logra cuando la máquina para excavación (cuchilla para el presente caso), transporta el material desde el corte hasta el relleno sin elevar demasiado el costo de operación. Esta distancia puede variar, según sea el tipo de maquinaria, de 100 a 600 m. El costo de acarreo libre está incluido en el costo de excavación.

6.3.2 Distancia sobre-acarreo

Es la distancia que excede los límites de acarreo libre adoptados. Suele ser antieconómico puesto que su costo se paga a los contratistas en un renglón especial, por lo que deben buscarse otras soluciones que incluyan el préstamo y el desperdicio.

6.3.2.1 Préstamo

Es el material que se corta fuera de los taludes normales de corte de la carretera. Se utiliza cuando no alcanza el material para completar los rellenos o para rellenar baches y erosiones.

6.3.2.2 Desperdicio

Es el material cortado, sin utilizar en ningún, relleno por exceder el volumen necesario o porque el material no es adecuado o está húmedo.

El cálculo de las hojas de movimiento de tierras, se estimó el volumen siguiendo el procedimiento que a continuación se explica:

- Se proyectó la sub-rasante sobre el dibujo del perfil del terreno en hojas de papel milimetrado.
- Se determinó en cada estación, los espesores de cortes y relleno.
- Se dibujaron las secciones transversales de localización.
- Se dibujó la plantilla del corte o relleno con los taludes escogidos según el tipo de material sobre la sección correspondiente, quedando dibujadas las secciones transversales del camino.
- Se calcularon las áreas de las secciones transversales.
- Con los valores anteriores, se procedió a dibujar la curva de masas.
- Se trazó la curva de balanceo.

Con la información obtenida del diseño de la sub-rasante, se sobrepone la sección típica del camino a una sección transversal del camino en una estación determinada, colocando el eje del camino sobre la cota del sub-rasante en ese punto.

Posteriormente se analiza con respecto al nivel del terreno natural para determinar si la sección se encuentra en corte o relleno y se multiplica por la

distancia comprendida entre una y otra sección transversal. Los datos se tabulan como se aprecia en la tabla siguiente.

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, clasificando aparte el corte y el relleno necesario.

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

CORTE:

ALTURA	H - V
0 - 3	1 - 1
3 - 7	1 - 2
> 7	1 - 3

RELLENO:

ALTURA	H - V
0 - 3	2 - 1
> 3	3 - 2

Para medir el área en forma gráfica, se puede realizar a través de 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:

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

Figura 8. Área de una sección transversal

Error!

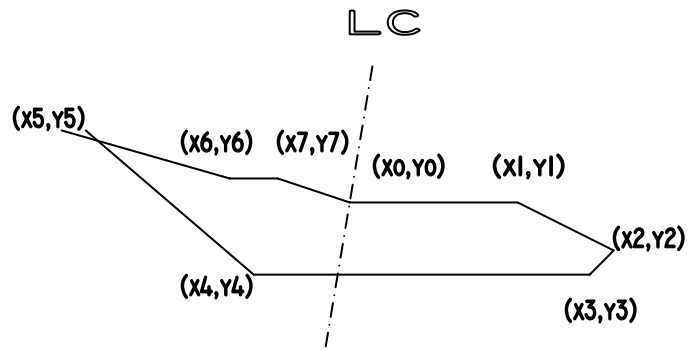


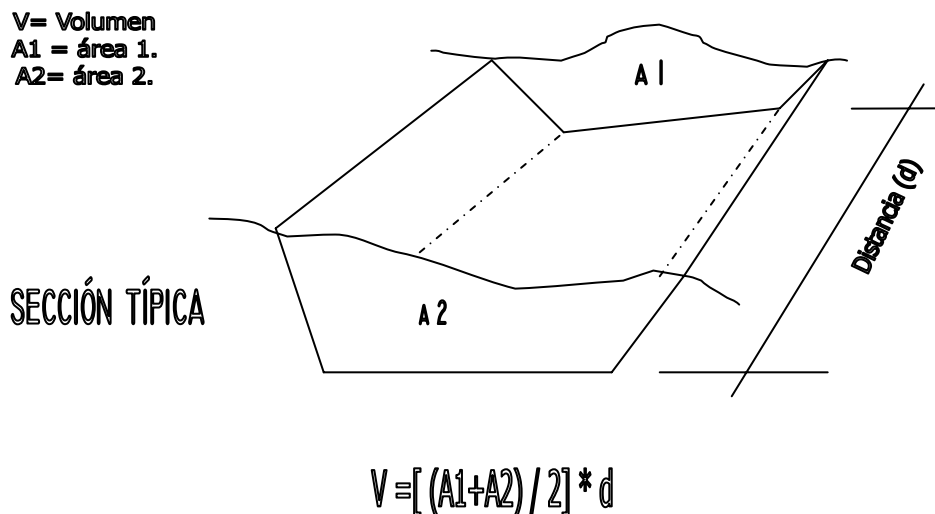
Tabla XI. Tabla de determinantes

X		Y
x0		y0
x1		y1
x2	*	y2
x3	*	y3
x4	*	y4
x5	*	y5
x6	*	y6
x7	*	y7
x0	*	y0
$a = \sum (x * y)$		$b = \sum (y * x)$

Cada una de las áreas calculadas anteriormente se constituye en un lado de un prisma de terreno que debe rellenarse o cortarse. Asumiendo 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, obteniendo así los volúmenes de corte y relleno en ese tramo.

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

Figura 9. Sección típica de un volumen de área



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

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

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

Donde :

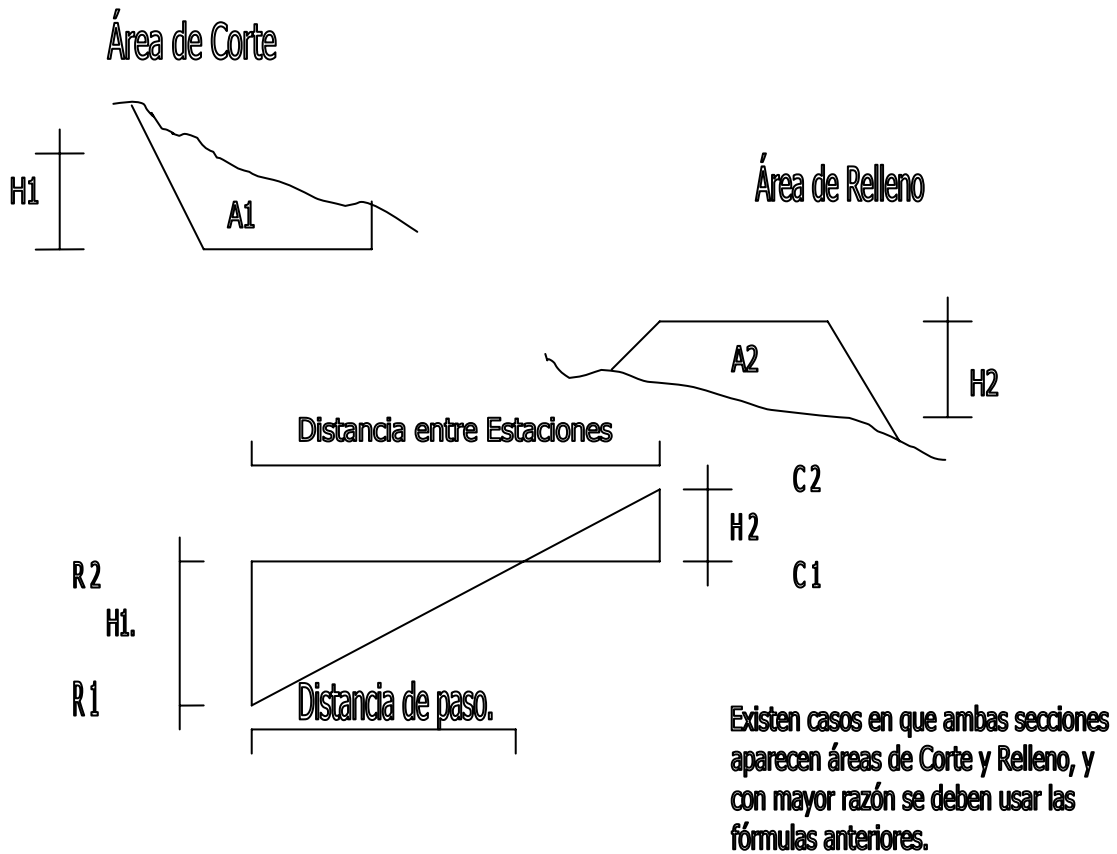
C1 = Área de corte en la primera sección

C2 = Área de corte en la segunda sección

R1 = Área de relleno en la primera sección

R2 = Área de relleno en la segunda sección

Figura 10. Tipos de áreas



6.4 Cunetas

Las cunetas son canales abiertos que sirven para interceptar el agua superficial que proviene de la plataforma y de los taludes cuando existe corte.

Las cunetas pueden ir colocadas al centro de la calzada o lateralmente a ella, dependiendo de la clase de carretera.

Pueden ser de sección transversal, triangular, rectangular, trapezoidal, etc.

Las cunetas cumplen un papel muy importante en lo que se refiere a la protección de carreteras y la inversión en su construcción fue un mínimo del costo total del proyecto.

6.4.1 Diseño de cunetas

Dentro del diseño de pavimentación desarrollado en este capítulo, se proyecta la evacuación de las aguas de lluvia. Los sistemas destinados a esta evaluación es rara vez tan extensos como los sistemas de drenajes, pues las aguas de lluvia pueden descargarse en el canal de drenaje más próximo que sea adecuado para ello.

Se han establecido estaciones pluviométricas en algunos lugares del interior de la República para medir la cantidad de lluvia, el escurrimiento y la magnitud y frecuencia de las crecientes máximas. Sin embargo, se posee poca información para proyectar estructuras pequeñas, tal es el caso del presente proyecto.

Para un caudal, una pendiente y un coeficiente de rugosidad dados, algunas formas de secciones son mejores que otras. En general cuando se construye

un canal, la excavación, y posiblemente la alineación se deben amortizar. Basándose en la fórmula de Manning se demuestra que cuando el área de la sección recta es un mínimo el perímetro mojado también es un mínimo por lo tanto, la excavación y la alineación tienden a sus valores mínimos para iguales dimensiones del canal. Para un tipo de sección, se llama sección hidráulica óptima la que tiene el menor perímetro mojado, o su equivalente, la menor área.

Si en cualquier sección transversal de una corriente, el gasto es constante, se dice que la corriente es estacionaria, y si el caudal cambia con el tiempo, se dice que la corriente no es estacionaria. En general, para mantener una corriente estacionaria en un tramo de un canal, es necesario que la cantidad de agua que entre a dicho tramo o salga de él se mantenga constante.

La corriente estacionaria en un canal abierto puede ser a su vez uniforme o no uniforme. Si en secciones trasversales sucesivas e iguales de un tramo, las velocidades medias son las mismas, la corriente es uniforme. Esto sólo es posible en un canal de sección transversal constante.

Si un tramo de un canal tiene secciones transversales distintas, dentro de dicho tramo la corriente tiene que ser no uniforme. La corriente no uniforme se presenta en todos los canales cuando haya corriente acelerada o remanso.

Si la corriente es estacionaria a todo lo largo de un tramo de un canal, habrá también continuidad de gasto, o como se denomina comúnmente, continuidad de corriente. Las velocidades medias en todas las secciones transversales que tengan áreas iguales serán entonces iguales, y si fueran desiguales, las velocidades serán inversamente proporcionales a las áreas de las secciones respectivas. Así, si a_1v_1 y a_2v_2 son los productos respectivos del área y la

velocidad media en dos cualesquiera de dichas secciones de un canal abierto en que haya continuidad de corriente o gasto.

$$a_1v_1 = a_2v_2$$

Existen dos tipos de corriente no uniforme: corriente de variación rápida y corriente de variación gradual.

Para el diseño de cunetas en carreteras no se puede establecer una norma a seguir en forma general, pues cada caso merece atención especial. Como se dijo anteriormente, la función de la cuneta es conducir o interceptar el agua para proteger la carretera, pero a su vez no debe representar un peligro para los usuarios de la vía. Es decir, que si un conductor se ve forzado a salir de la carretera deberá estar contemplado que la cuneta no sea la causa de que pueda sucederle algo que hasta podría ser mortal.

No se ha escrito libros que nos enseñen exactamente como diseñar una cuneta, porque esto sería imposible. En el diseño interviene en gran porcentaje el criterio del diseñador, debido a los diferentes casos que se pueden presentar.

En este proyecto se exponen varias alternativas para los casos que se nos presentan en el campo, haciendo la salvedad que el criterio del diseñador en el lugar de la construcción es imperativo.

Si el agua de escurrimiento o de infiltración alcanza la carretera, y ésta no está provista de los elementos necesarios para conducirla o desviarla, puede

ocasionar la inundación de la calzada, el debilitamiento de la estructura de la carretera y la erosión o en derrumbe de los taludes.

Por lo tanto, una evacuación correcta de las aguas superficiales, es indispensable para evitar que el agua, por un prolongado estacionamiento sobre la calzada, puede infiltrarse en grandes cantidades, y sea sobre la propia calzada o en el terreno subyacente.

Resumiendo podemos decir que la función de los drenajes de una carretera, es proveer las facilidades necesarias para el paso de aguas de un lado a otro de la vía, ya sean éstas superficiales o subterráneas, y para la remoción de las aguas que caen directamente encima de la plataforma otras áreas que desagüen a ellas.

Para el diseño de drenajes interviene la hidrología, la hidráulica como rama de la ciencia, ayudadas por la topografía, la geología de la zona, razones estructurales, etc.

Para el diseño de drenajes, debemos de estimar el volumen de agua que deberá ser drenada. Este volumen de agua recibe el nombre de descarga de diseño, y su determinación debe hacerse con la mayor precisión posible, para hacer un diseño económico.

Se han utilizado numerosos métodos para el cálculo de la descarga de diseño. Todos ellos están basados en uno de los siguientes criterios:

- Registro de corrientes individuales y observación de estructuras existentes.

- Uso de fórmulas empíricas o semi-empíricas, para determinar la máxima descarga.
- Uso de fórmulas empíricas o semi-empíricas, para determinar directamente el área de desagüe requerida.

Los métodos basados en observaciones directas requieren levantamientos cuidadosos del área contribuyente y de las características de la corriente.

El uso de fórmulas, ya sea que den la descarga de diseño, o directamente la abertura, puede resultar atractivo por su simplicidad.

Por su fácil aplicación, y su uso tan extendido se estudiarán la fórmula de Talbot y la fórmula Racional.

En 1897, Talbot, profesor de la Universidad de Illinois, publicó su bien conocida fórmula, para determinar directamente el área para una alcantarilla. En éste proyecto se adaptará para la obtención del área de cunetas para carreteras.

Para la derivación de su fórmula, Talbot hizo uso de la Burki-Ziegler, la cual da la descarga "q", en pies cúbicos por segundos, por acre drenado, así:
en donde:

$$q = CI^4 \sqrt{\frac{S}{A}}$$

A = área de drenaje, en acres.

S = pendiente promedio del terreno en pies por 1,000 pies.

I = precipitación promedio, en pulgadas por hora, durante la mayor lluvia.

C = coeficiente que depende de la impermeabilidad del terreno.

La derivación de la fórmula de Talbot fue hecha de la siguiente forma: puesto que según Burki-Ziegler la descarga varía inversamente con la cuarta potencia del área drenada, la descarga total variará como A:

$$1/A \text{ o también como } A^{3/4}$$

Asumiendo que la velocidad del agua a través de la alcantarilla es la misma que aguas arriba en el canal, la abertura de la alcantarilla variará de la misma manera. Ésta hipótesis es verdadera cuando la pendiente de la alcantarilla sea la misma que aguas arriba en el canal y cuando la disminución del coeficiente de fricción en la alcantarilla, en relación con el del canal, sea contrarrestada por la resistencia en la entrada de la alcantarilla.

Se puede escribir entonces:

$$a = C^4 \sqrt{A^3}$$

Siendo:

a = área de desagüe, en pies cuadrados.

A = área de drenaje, en acres.

C = coeficiente adimensional.

En unidades métricas la fórmula se escribe así:

$$a = 0.183C^4\sqrt{A^3}$$

en donde:

a = área de desagüe, en metros cuadrados.

A = área de drenaje, en hectáreas.

C = coeficiente adimensional.

El coeficiente C depende de la naturaleza del terreno drenado. Para diversas condiciones se recomiendan los valores siguientes:

Tabla XII. Condiciones del terreno para el coeficiente C

CONDICIONES DEL TERRENO	C
Terrenos rocosos con pendientes abruptas	1.00
Terrenos quebrados con pendientes moderadas	0.66
Valles irregulares, muy anchos en comparación con su largo	0.50
Terrenos agrícolas ondulados, siendo el largo del valle tres o cuatro veces el ancho	0.33
Zonas planas	0.20

Para la obtención del área contribuyente se puede hacer uso de fotografías aéreas, mapas topográficas, etc.

La fórmula racional fue desarrollada originalmente para estudiar el escurrimiento en áreas urbanas. Esta fórmula expresa que la descarga es igual a un porcentaje de la precipitación multiplicado por el área de la cuenca. La durabilidad mínima de la lluvia seleccionada deberá ser el tiempo necesario en minutos para que una gota de agua llegue desde el punto más alejado de la cuenca. Ese tiempo se llama tiempo de concentración. La fórmula racional se describe de la siguiente forma:

$$Q = \frac{CiA}{360}$$

En donde:

Q = caudal de esorrentía, en metros cúbicos por segundos (m³/s).

C = coeficiente de esorrentía (adimensional).

i = intensidad de la precipitación, correspondiente al tiempo de concentración, en milímetros por hora (mm/h).

A = área de la cuenca en hectáreas (ha).

Existe 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 analizar que los aguaceros más fuertes suceden en tiempos cortos. La segunda forma es usando la fórmula:

$$I = a/(t + b)$$

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 pequeñas, para 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.

Para la intensidad de lluvia de la región en estudio, se consulto en el INSIVUMEH. La intensidad estará dada por la siguiente fórmula:

$$I = \frac{a}{(b+t)^n} = \frac{33,770}{(40+16)^{1.292}} = 186.15 \text{ mm/h.}$$

Donde:

I = Intensidad de lluvia en mm/h.

a y b = Varían en cada región, datos proporcionados por el INSIVUMEH.

$$a = 33,770 \quad b = 40 \quad n = 1.292$$

t = Tiempo de concentración en minutos.

$$t = \frac{3 * L^{1.15}}{154 * H^{0.38}} = \frac{3 * 818^{1.15}}{154 * 14^{0.38}} = 16 \text{ min.}$$

El área del proyecto que se diseñó es no urbanizado, por consiguiente se usa un coeficiente de escorrentía de 0.33.

Tabla XIII. Valores de C recomendables para la fórmula racional

Tipo de superficie	C
Superficie impermeable de techos	0.75 a 0.95
Pavimentos asfálticos	0.80 a 0.95
Pavimentos de hormigón	0.70 a 0.90
Pavimentos de piedra o ladrillo	0.35 a 0.70
Suelos impermeables **	0.40 a 0.65
Suelos impermeables con césped **	0.30 a 0.55
Suelos ligeramente permeables **	0.15 a 0.40
Suelos ligeramente permeables con césped **	0.10 a 0.30
Suelos moderadamente permeables **	0.05 a 0.20
Suelos moderadamente permeables con césped **	0.00 a 0.10

** Para pendientes de 1 a 2%.

En resumen podemos decir que tanto el uso de la fórmula de Talbot y la racional, son aplicables al diseño de cunetas.

6.4.2 Método de construcción

Como primer paso se tiene la alineación de la cuneta, de conformidad con el diseño. Seguidamente se procederá a colocar las cotas, referenciadas en estacas a cada 5, 10, ó 20 m, a lo largo de la cuneta. Para delinear la cuneta se usa un hilo de nylon atado a las estacas.

Se procede a efectuar la excavación hasta alcanzar la profundidad de la sub-rasante, determinada por el diseño, teniendo en cuenta que quede el suelo bien compacto. Además el acabado de las paredes y del fondo de la excavación debe quedar fino y firme.

Al concluirse la excavación se colocan las piedras, en hileras rectas en íntimo contacto, con sus caras planas hacia arriba y sus dimensiones más largas en un ángulo recto con la línea central de la cuneta, en la sub-rasante. Es decir, que el cimientado de las piedras es el material de sub-rasante. Las juntas deberán alternarse y no tener intersticios entre ellas mayores de 2 cm de ancho.

Las piedras deberán apisonarse hasta que la superficie quede firme y terminada de acuerdo con la pendiente, alineación y sección transversal.

En la construcción de cunetas empedradas simples, el relleno seco deberá colocarse dentro de los espacios entre las piedras al mismo tiempo que están siendo colocadas y apisonadas en su lugar. Finalmente se extiende una capa delgada y uniforme del relleno sobre la superficie de cuneta.

Utilizando la fórmula de Talbot, se diseñó la cuneta para el tramo carretero, representada de la Figura II, del Capítulo I.

El área obtenida del mapa $A = 43,940\text{m}^2$. Dividiendo entre 10,000 tenemos:

$$A = 4.394 \text{ hectáreas} \quad Q = \frac{CiA}{360} \quad Q = \frac{0.33 * 186.15 * 4.394}{360} = 0.75 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para terrenos agrícolas ondulados, de la Tabla XII, se tiene que $C = 0.33$ sustituyendo en la fórmula de Talbot

$$a_1 = 0.185C^4\sqrt{A^3}$$

$$a_1 = 0.185 \times 0.33^4 \sqrt{(4.394)^3} \quad a_1 = 0.18m^2$$

El área de media sección de carretera para ese tramo es:

$$A = 2.86 \times 600 \quad A = 1,716m^2$$

Dividiendo entre 10,000 tenemos:

$$A = 0.1716m^2$$

De la Tabla X, obtenemos que $C = 0.85$

Sustituyendo con Talbot

$$a_2 = 0.183 \times 0.85^4 \sqrt{(0.1716)^3} \quad a_2 = 0.04m^2$$

Integrando el área de desagüe, será:

$$a = a_1 + a_2$$

$$a = 0.18 + 0.04 \quad a = 0.22m^2$$

Esto equivale a una cuneta rectangular de:

$$b = 0.55 \text{ m} \quad h = 0.40 \text{ m}$$

Utilizando una ecuación trapezoidal óptima:

$$A = h^2 \sqrt{3}$$

$$h = \sqrt{\frac{A}{\sqrt{3}}}$$

$$h = \sqrt{\frac{0.22}{\sqrt{3}}}$$

$$h = 0.35m$$

$$b = \frac{2}{3} h \sqrt{3}$$

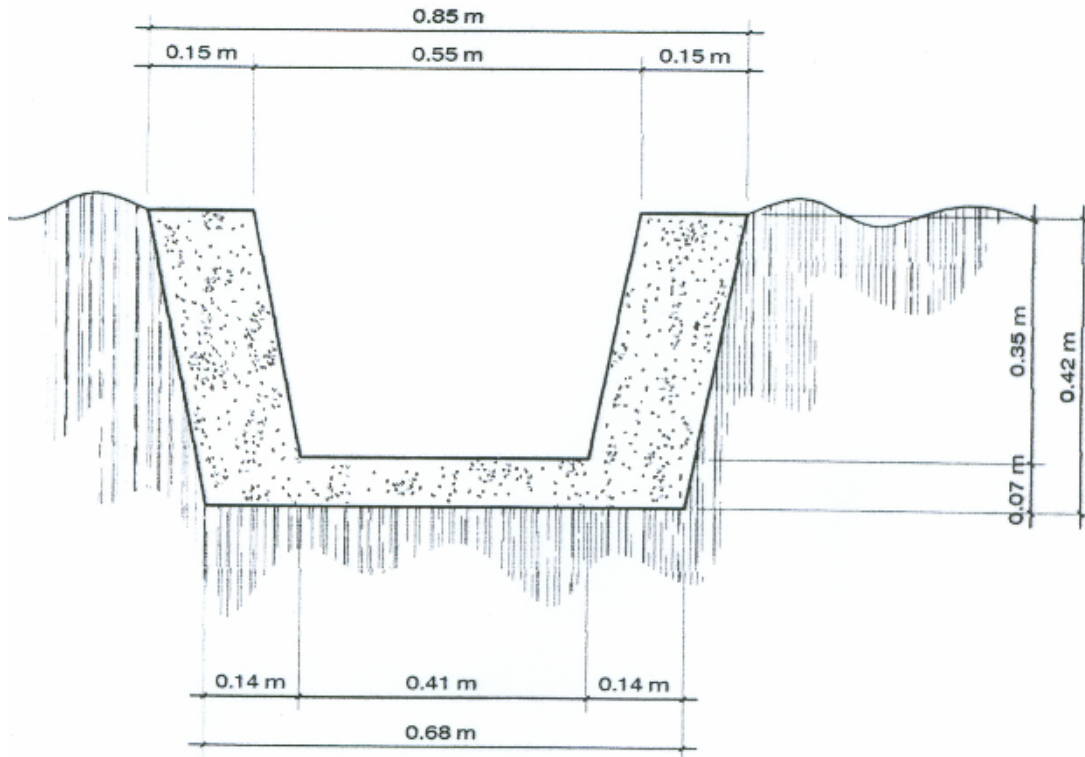
$$b = \frac{2}{3} \times 0.35 \times \sqrt{3}$$

$$b = 0.41m$$

$$p = 2h\sqrt{3}$$

$$p = 2 \times 0.35 \times \sqrt{3} \quad p = 1.21m$$

Figura 11. Sección transversal de la cuneta



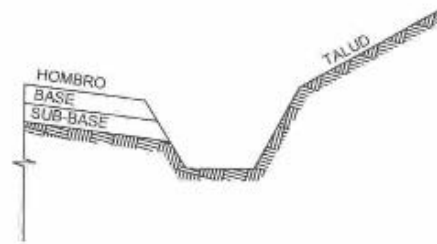
La cuneta en diseño para efectos de ubicación de la carretera.

6.4.3 Tipos de cunetas

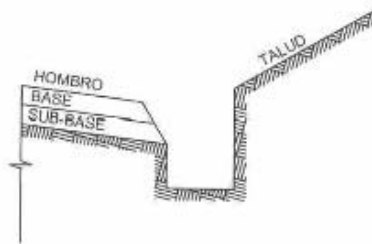
Las cunetas se pueden clasificar de acuerdo con su origen. Las secciones de las cunetas artificiales, son usualmente de formas geométricas regulares, entre las cuales podemos mencionar: de forma trapezoidal (es más común para cunetas con terraplenes con tierra sin revestir), rectangulares (es utilizada solamente para pequeñas cunetas y trabajos de laboratorios), semicirculares (para colectores y alcantarillas de tamaño pequeño y mediano) y triangulares (son casos especiales del trapecoide)

Figura 12. Sección transversal típica de cunetas

Trapezoidal



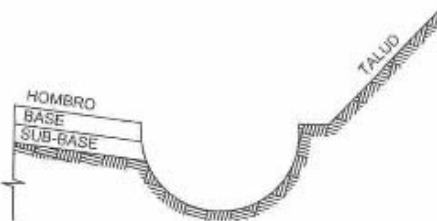
Cuadrada



Triangular



Semicircular



CONCLUSIONES

1. Es necesario efectuar, todos los estudios necesarios para un mejor diseño, teniendo como base, el Libro Azul de Caminos. (Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes)
2. Se diseñó el pavimento flexible, y se planificó para el tramo carretero "San Vicente Pacaya a El Patrocinio", Escuintla, teniendo un costo de Q823,561.36 por 0.600 km pavimentado de los 3.6 Km. Siendo su evaluación promedio de Q377.41ML, el cual, es aceptable por estar dentro del mercado de los precios de la región.
3. De acuerdo a la evaluación económica proyectada, para la obra desarrollado se determina que, es viable para su ejecución en el municipio de San Vicente Pacaya, logrando así, conformar una de las vías de desarrollo para las comunidades.
4. Para una mejor elección, del pavimento adecuado a determinada región es necesario conocer la importancia del proyecto, topografía, clima y composición de los suelos.

RECOMENDACIONES

1. El área a pavimentar, pese a estar constituida de buen material de cimentación, se encuentra en condiciones de inestabilidad potencial, debido a la existencia de zanjas provocadas por la erosión y a la marcada pendiente de la misma. Por lo anterior, se recomienda el empleo de un pavimento flexible, el cual será capaz de amoldarse a pequeños asentamientos en la base sin deterioro de la capa de recubrimiento y será fácil de reparar en caso de asentamientos excesivos.
2. Los vecinos deben buscar el financiamiento adecuado para la construcción de la vía, pues debido al costo de la misma y de sus posibilidades económicas, es poco probable que puedan financiarla por sus propios medios.
3. Se recomienda tomar en cuenta la construcción de cunetas, contracunetas y fosas de laminación, pues, sin ellas la vía sufriría daños por las lluvias, afectándola al punto de hacerla poco funcional.
4. Los vecinos de las comunidades deben interesarse por darle al pavimento necesario un mantenimiento rutinario, la limpieza de los drenajes evitará que el agua de lluvia se estanque infiltrándose por las juntas y fisuras hacia las capas subyacentes del pavimento y provoque deflexiones y esfuerzos de tensión, pues, se ha observado que los daños más comunes se deben a falta de mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar Fuentes, Byron de Jesús. Planificación y diseño del tramo carretero comprendido desde el entronque del caserío La Cruz Regional, Cuilco, Huehuetenango, Vía aldea Pabitzaj hasta el inicio de la aldea Yamoj, Concepción Tutuapa, San Marcos. Tesis Ingeniero Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería 2001. 113 pág.
2. Anckerman Álvarez Enrique. **Manual de laboratorios de suelos en construcciones de carreteras.** Tesis Ingeniero Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería 1965.
3. Cano Flores, William Alejandro. Levantamiento de polígono de prácticas de campo de laboratorio de topografía I, y II. Tesis Ingeniero Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería 2001. 121 pág.
4. Dirección General de Caminos. Ministerio de Comunicaciones, infraestructura y viviendas. **Especificaciones Generales para la construcción de Carreteras y Puentes.** Noviembre 2002.
5. Flores Arango, Eddy Rolando. Análisis comparativo para la construcción de pavimento flexibles, rígidos y semi-rígidos. Tesis Ingeniero Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería 2002. 126 pág.

6. Paz Stubbs, Ana Luisa. Pavimentos, tipos y usos. Tesis Ingeniero Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería 2000. 187 pág.

APÉNDICE

- Lista de materiales
- Presupuesto
- Planos

Tabla XIV. Lista de materiales con la mano de obra

EQUIPO:

DESCRIPCION	CANTIDAD	RENDIMIENTO	COSTO/HORA	COSTO TOTAL ML
Mezcladora	1	0.004	Q320.00	Q1.28
Cisterna 2000 gal.	1	0.005	Q310.00	Q1.55
Camión de volteo de 7m3	1	0.07	Q120.00	Q8.40
			TOTAL	Q11.23

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD	RENDIMIENTO M^2/H	COSTO/HORA	COSTO TOTAL ML
Caporal	1	0.02	Q17.05	Q0.34
Albañil	2	0.02	Q14.20	Q0.57
Peón	3	0.04	Q8.52	Q1.02
Ayudante	5	0.04	Q8.52	Q1.70
			SUB-TOTAL	Q3.64
			HERRAMIENTAS 5%	Q0.18
			TOTAL	Q3.82

MATERIALES:

DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL ML
Cemento	0.16	sacos	Q35.00	Q5.60
Arena	0.008	M^3	Q75.00	Q0.60
Piedrín	0.016	M^3	Q120.00	Q1.92
			TOTAL	Q8.12
			COSTO TOTAL DIRECTO	Q23.17
			COSTO INDIRECTO	35% Q8.11
			TOTAL	Q31.28
			IVA	12% Q3.75
			TOTAL POR ML	Q35.03
			TOTAL POR M^2	Q7.01

Continuación de la Tabla XIV

EQUIPO:

DESCRIPCION	CANTIDAD	RENDIMIENTO	COSTO/HORA	COSTO TOTAL ML
Compresor de aire 125 PSI	1	0.02	Q100.00	Q2.00
Caldera portátil	1	0.02	Q140.00	Q2.80
			TOTAL	Q4.80

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD	RENDIMIENTO M ³ /H	COSTO/HORA	COSTO TOTAL ML
Caporal	1	0.01	Q17.05	Q0.17
Aplicador de sello	2	0.05	Q17.04	Q1.70
Ayudante	3	0.02	Q8.52	Q0.51
Peón	5	0.02	Q8.52	Q0.85
			SUB-TOTAL	Q3.24
			HERRAMIENTAS 5%	Q0.16
			TOTAL	Q3.40

MATERIALES:

DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL ML
Asfalto				
Elastomérico	1	libra	Q4.00	Q4.00
			TOTAL	Q8.12
			COSTO TOTAL DIRECTO	Q12.20
			COSTO INDIRECTO 35%	Q4.27
			TOTAL	Q16.47
			IVA 12%	Q1.98
			TOTAL POR ML	Q18.45
			TOTAL POR M ³	Q9.22

Continuación de la Tabla XIV

PAVIMENTO	COSTO UNITARIO	UNIDAD	COSTO POR M^2
Flexible	Q35.03	ML	Q7.01
Rígido	Q53.47	ML	Q165.23
Semirígido	Q35.03	ML	Q7.01

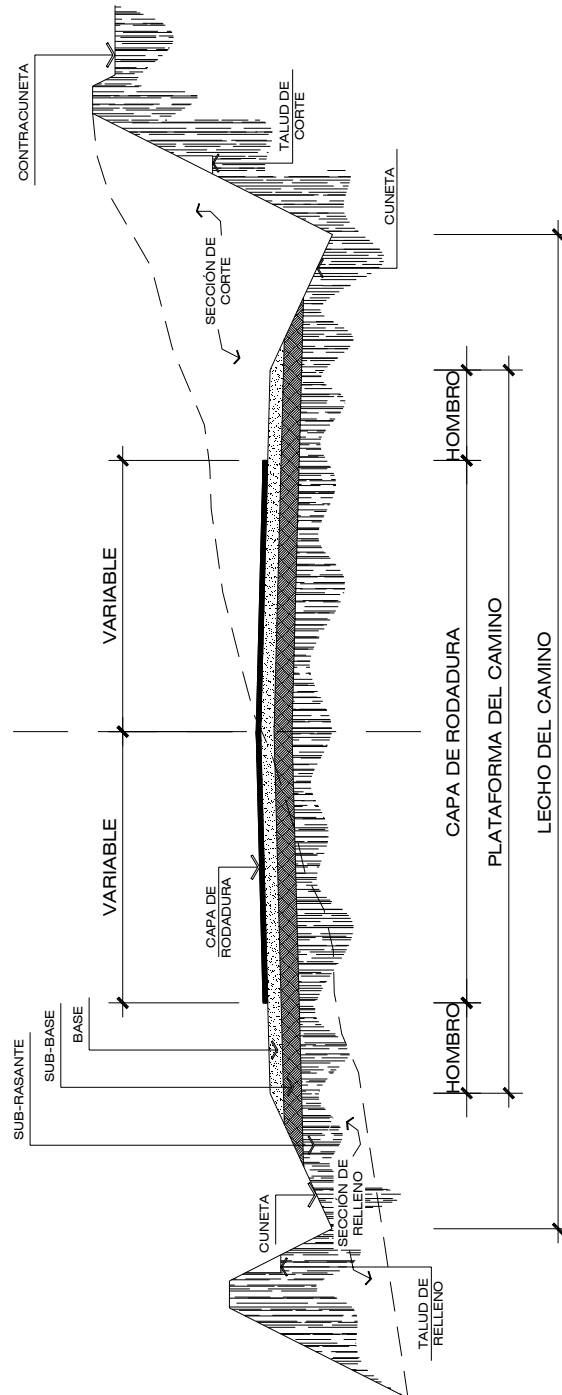
DESCRIPCION	COSTO UNITARIO	UNIDAD	COSTO POR M^2
Preparacion de subrasante	Q11.62	m^2	Q11.62
Sub-base granular t=0.20m	Q211.64	m^3	Q42.33
Base granular t=0.15	Q221.92	m^3	Q33.29
Riego de imrimación	Q18.36	m^2	Q18.36
Riego de liga	Q12.24	m^2	Q12.24
Concreto asfáltico t=0.05m	Q845.63	m^3	Q59.19
Bordillo	Q60.31	ml	Q10.05
TOTAL			Q187.08

Tabla XV. Presupuestos

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P/U	TOTAL (Q.)
1	Excavación (ENCD)	M.3	1436.40	37.00	53146.80
2	Acarreo	M.3 km	5554.84	7.45	41383.56
3	Reacondicionamiento de subrasante	km	0.60	78500.00	47100.00
4	Capa de base	M.3	1152.00	134.00	154368.00
5	Riego de liga e imprimación	M.2	3960.00	29.00	114840.00
6	Carpeta asfáltica	M.2	3960.00	66.00	261360.00
7	Excavación de cuneta	M.L	1165.00	18.00	20970.00
8	Construcción de cuneta	M.L	1165.00	108.00	125820.00

TOTAL (Q.)	818988.36
-------------------	------------------

Figura 13. Sección típica de la carretera



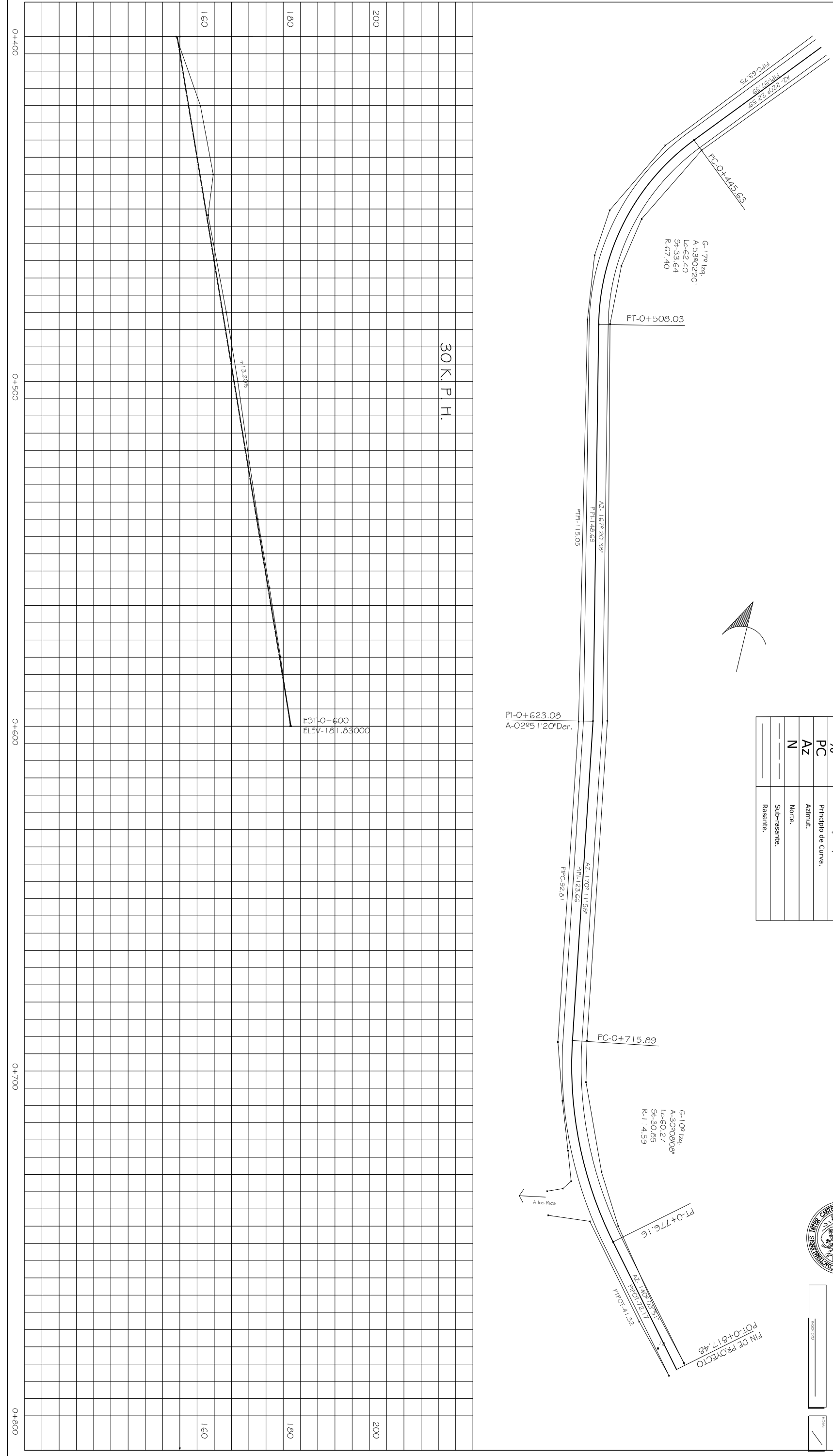
PROYECTO: PAVIMENTACION DE CUESTA EL AGUACATE,
SALIDA A "EL PATROCINIO Y LOS RIOS"

MUNICIPALIDAD DE: **SAN VICENTE PACAYA**
CONTINENTE: **PLANTA - PERFIL + RASANTE**



CALCULO:	Dios Rodriguez	REVISO:	Dios Rodriguez
ESCALA:	H=1:500 V=1:400	FECHA:	MARZO DEL 2002
TITULO:		FECHA:	

NOMENCLATURA	
%	Porcentaje de pendiente
PC	Principio de Curva.
AZ	Azmut.
N	Norte.
---	Sub-rasante.
---	Rasante.



PROYECTO: PAVIMENTACION DE CUESTA EL AGUACATE,
SALIDA A "EL PATROCINIO Y LOS RIOS"

MUNICIPALIDAD DE: **SAN VICENTE PACAYA**
CONTINENTE: **PLANTA - PERFIL + RASANTE**



CALCULO:	Dios Rodriguez	REVISO:	Dios Rodriguez
ESCALA:	H=1:500 V=1:400	FECHA:	MARZO DEL 2002
TITULO:		OTRO:	

NOMENCLATURA	
%	Porcentaje de pendiente
PC	Principio de Curva.
AZ	Azimut.
N	Norte.
---	Sub-rasante.
---	Rasante.

