



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

**DISEÑO DE CARRETERA Y PAVIMENTO DEL TRAMO VIAL COMPRENDIDO ENTRE EL
CASERIO RUSTRIÁN Y LA BIFURCACIÓN CON LA CARRETERA DEPARTAMENTAL No.1,
MUNICIPIO DE VILLA CANALES, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

Marvin Raul Fuentes Alvarado
Asesorado por el Ing. Juan Merck Cos

Guatemala, julio del 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE CARRETERA Y PAVIMENTO DEL TRAMO VIAL COMPRENDIDO
ENTRE EL CASERIO RUSTRIÁN Y LA BIFURCACIÓN CON LA CARRETERA
DEPARTAMENTAL No.1, MUNICIPIO DE VILLA CANALES, DEPARTAMENTO DE
GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARVIN RAUL FUENTES ALVARADO
ASESORADO POR EL ING. JUAN MERCK COS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JULIO DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
EXAMINADOR	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordoñez Morales
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Veliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE CARRETERA Y PAVIMENTO DEL TRAMO VIAL COMPRENDIDO ENTRE EL CASERIO RUSTRIÁN Y LA BIFURCACIÓN CON LA CARRETERA DEPARTAMENTAL No.1, MUNICIPIO DE VILLA CANALES, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 5 de agosto de 2009.

Marvin Raul Fuentes Alvarado



Guatemala 24 de marzo de 2011.
Ref.EPS.DOC.456.03.11.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.


Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Marvin Raúl Fuentes Alvarado** de la Carrera de Ingeniería Civil, con carné No. **200011540**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“DISEÑO DE CARRETERA Y PAVIMENTO DEL TRAMO VIAL COMPRENDIDO ENTRE EL CASERÍO RUSTRIÁN Y LA BIFURCACIÓN CON LA CARRETERA DEPARTAMENTAL No. 1, MUNICIPIO DE VILLA CANALES, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA”**.

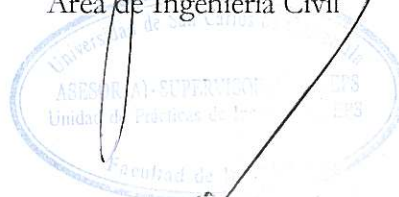
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Ing. Juan Merck Cos
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Civil



c.c. Archivo
JMC/ra



Guatemala, 24 de marzo de 2011.

Ref.EPS.D.220.03.11

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Montenegro Franco.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"DISEÑO DE CARRETERA Y PAVIMENTO DEL TRAMO VIAL COMPRENDIDO ENTRE EL CASERÍO RUSTRIÁN Y LA BIFURCACIÓN CON LA CARRETERA DEPARTAMENTAL No. 1, MUNICIPIO DE VILLA CANALES, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA"** que fue desarrollado por el estudiante universitario **Marvin Raúl Fuentes Alvarado**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Juan Merck Cos.

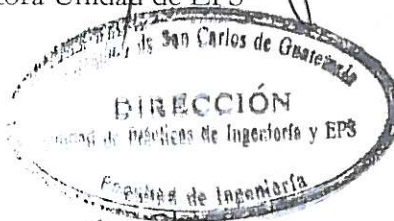
Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor -Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zecena de Serrano
Directora Unidad de EPS

NISZ/ra





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
5 de julio de 2011

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **DISEÑO DE CARRETERA Y PAVIMENTO DEL TRAMO VIAL COMPRENDIDO ENTRE EL CASERÍO RUSTRIÁN Y LA BIFURCACIÓN CON LA CARRETERA DEPARTAMENTAL No. 1, MUNICIPIO DE VILLA CANALES, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA,** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Marvin Raúl Fuentes Alvarado, quien contó con la asesoría del Ing. Juan Merck Cos.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Jorge Alejandro Arévalo Valdéz
Coordinador del Área de Topografía y Transportes



FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO
DE
TRANSPORTES
USAC

/bbdeb.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Juan Merck Cos y de la Coordinadora de E.P.S. Inga. Norma Ileana Sarmientos Zeceña, al trabajo de graduación del estudiante Marvin Raúl Fuentes Alvarado, titulado DISEÑO DE CARRETERA Y PAVIMENTO DEL TRAMO VIAL COMPRENDIDO ENTRE EL CASERÍO RUSTRIÁN Y LA BIFURCACIÓN CON LA CARRETERA DEPARTAMENTAL No. 1, MUNICIPIO DE VILLA CANALES, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DIRECTOR
FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, julio de 2011

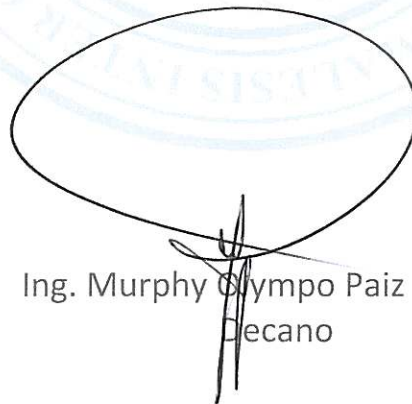
/bbdeb.



DTG. 265.2011

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE CARRETERA Y PAVIMENTO DEL TRAMO VIAL, COMPRENDIDO ENTRE EL CASERIO RUSTRIÁN Y LA BIFURCACIÓN CON LA CARRETERA DEPARTAMENTAL No. 1, MUNICIPIO DE VILLA CANALES, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Marvin Raúl Fuentes Alvarado**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Glympto Paiz Recinos
Decano



Guatemala, 22 de julio de 2011

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por todas sus bendiciones, amor y guiar mi camino en la verdad y sabiduría.
- Padres** Raúl Genaro Fuentes Orozco, Flor Elvira Alvarado de Fuentes, por su paciencia, consejos, apoyo moral y económico que me permitieron alcanzar esta meta.
- Hermana** Wendy Carolina Fuentes Alvarado, que este triunfo sea compartido por tu compañía.
- Abuelos** Saturnino Demetrio Fuentes Aguilar, Eustaquia Francisca Orozco Miranda (q.e.p.d.), Filemon Herman Alvarado Gómez (q.e.p.d.), Cirila Alejandra Ortega Bamaca, por sus oraciones y consejos, que este éxito en mi vida sea como perlas que adornen sus coronas.
- Familia en general** Los que de una u otra forma contribuyeron a esta causa.
- Novia** Por el apoyo brindado en el último semestre de mi carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la oportunidad de culminar mis estudios.
Padres	Por darme el ejemplo y ayudarme en toda mi carrera.
Mis amigos y compañeros de estudio	Por los muy buenos momentos compartidos.
Ing. Juan Merck Cos	Por su valiosa asesoría en mi tesis.
Inga. Dilma Mejicanos	por su apoyo en mi tesis.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. INVESTIGACIÓN	1
1.1. Monografía del caserío Rustrián	1
1.1.1. Ubicación	1
1.1.2. Extensión territorial	1
1.1.3. Límites y colindancias	1
1.1.4. Vivienda	1
1.1.5. Población e idioma	2
1.1.6. Clima	2
1.1.7. Suelo y topografía	2
1.1.8. Vías de acceso	2
1.2. Investigación diagnóstica sobre necesidades de servicios básicos e infraestructura del caserío Rustrián	2 2
1.2.1. Descripción de las necesidades	2
1.2.2. Análisis y priorización de las necesidades	3

2.	DISEÑO DE CARRETERA Y PAVIMENTO DEL TRAMO VIAL COMPRENDIDO ENTRE EL CASERIO RUSTRIÁN Y LA BIFURCACIÓN CON LA CARRETERA DEPARTAMENTAL No.1, MUNICIPIO DE VILLA CANALES DEPARTAMENTO DE GUATEMALA	5
2.1.	Descripción del proyecto	5
2.2.	Preliminar de campo	5
2.2.1.	Reconocimiento	5
2.2.2.	Levantamiento topográfico	6
2.3.	Cálculo topográfico preliminar	6
2.3.1.	Revisión de libretas topográficas	6
2.3.2.	Planimetría	6
2.3.3.	Altimetría	7
2.3.4.	Secciones transversales	7
2.4.	Dibujo preliminar	7
2.4.1.	Planimétrico	7
2.4.2.	Altimétrico	8
2.5.	Diseño de localización	8
2.5.1.	Corrimiento de línea	10
2.5.2.	Cálculo de elementos de curva horizontal	12
2.5.3.	Determinación de curva vertical	19
2.6.	Movimiento de tierras	23
2.7.	Determinación de la calidad del suelo	23
2.7.1.	Pruebas de laboratorio	23
2.7.1.1.	Límites de Atterberg	24
2.7.1.2.	Análisis granulométrico	25
2.7.1.3.	Proctor	28
2.7.1.4.	Ensayo de la relación soporte california (CBR)	30

2.7.2.	Criterios para definir la carpeta de rodadura	32
2.8.	Diseño de la carpeta de rodadura	33
2.8.1.	Factores a considerar en el diseño del pavimento	34
2.8.1.1.	El tránsito	34
2.8.1.2.	La subrasante	34
2.8.1.3.	El clima	36
2.8.2.	Materiales a utilizar en cada capa	37
2.8.2.1.	Sub-base	37
2.8.2.2.	Bases	41
2.8.2.3.	Riego de capa o imprimación	47
2.8.2.4.	Carpeta de rodadura para un pavimento rígido	48
2.8.3.	Diseño del pavimento	54
2.8.3.1.	Diseño del pavimento flexible	55
2.8.3.1.1.	Diseño del pavimento flexible utilizando espesores recomendados por el departamento Americano de Investigaciones Científicas sobre carreteras (Highway Research Board)	56
2.8.3.1.2.	Diseño del pavimento flexible utilizando el método de Mills	60
2.8.3.2.	Diseño del pavimento rígido	67
2.8.3.2.1.	Diseño del pavimento rígido Utilizando el método de la PCA	67
2.9.	Drenajes	76
2.9.1.	Drenaje longitudinal	77

2.9.2.	Drenaje transversal	79
2.10.	Elaboración de planos del proyecto	80
2.11.	Presupuesto	80
2.11.1.	Integración de presupuesto	81
CONCLUSIONES		85
RECOMENDACIONES		87
BIBLIOGRAFÍA		89
APÉNDICE		91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Corrimiento de línea	11
2.	Elementos que componen una curva horizontal	12
3.	Grado de curvatura	13
4.	Tipos de curvas verticales	19
5.	Curva granulométrica	27
6.	Gráfica de densidad seca-humedad	29
7.	Gráfica de CBR-porcentaje de compactación	32
8.	Espesor indicado por el CBR	64
9.	Espesor indicado por el índice de grupo (IG)	65
10.	Modulo de reacción de la subrasante	72

TABLAS

I.	Características geométricas	9
II.	Especificaciones para curvas circulares	14
III.	Elementos geométricos de curva horizontal	18
IV.	Valores de K para curvas cóncavas y convexas	22
V.	Resultado de los ensayos de límites de Atterberg	25
VI.	Clasificación de suelos AASHTO	26
VII.	Resultado del ensayo de análisis granulométrico	27
VIII.	Resultado del ensayo de proctor modificado	29
IX.	Valores de carga unitaria para calcular el CBR	31

X.	Resultados del ensayo de razón soporte california	31
XI.	Clasificación cualitativa de los suelos por medio de su CBR	35
XII.	Graduaciones, bases de grava o piedra triturada	42
XIII.	Graduaciones, bases de grava y suelo	44
XIV.	Graduaciones, bases de arena y arcilla	45
XV.	Graduaciones, bases de suelo-cemento	46
XVI.	Graduación de los agregados	50
XVII.	Porcentaje por peso que pasa por tamices de abertura	51
XVIII.	Clases de concreto	52
XIX.	Proporcionamiento del concreto con base en la relación agua/cemento máxima y del contenido de cemento mínimo	53
XX.	Diseño de espesores	59
XXI.	Tránsito total durante 24 horas	61
XXII.	Clasificación de tránsito	62
XXIII.	Bases estabilizadas o mezcla de agregados	63
XXIV.	Categoría de cargas por eje	68
XXV.	Valores de k para diseño sobre bases granulares (de PCA)	73
XXVI.	Tipos de suelos de subrasante y valores aproximados de k	74
XXVII.	TPDC permisible, carga por eje categoría 1	75
XXVIII.	Costo total de la carretera utilizando pavimento rígido	82
XXIX.	Costo total de la carretera utilizando pavimento flexible	83

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
AASHTO	Asociación Americana de Autopistas Estatales y Transportes Oficiales
ASTM	Asociación Americana de ensayos en materiales
PCA	Asociación del Cemento Pórtland
Q	Caudal a drenar en tuberías expresada en m ³ /s
cm	Centímetro
C	Coefficiente de escorrentía superficial
n	Coefficiente de rugosidad
K	Constante que depende de la velocidad de diseño
Φ	Diámetro

▲	Diferencia algebraica de pendientes
D.G.C.	Dirección General de Caminos
Est.	Estación
°	Grado angular
G	Grado de curvatura
IGSS	Instituto Guatemalteco de Seguridad Social
I	Intensidad de lluvia
kg/cm²	Kilogramo por centímetro cuadrado
kg/m³	Kilogramo por metro cúbico
KPH	Kilómetro por hora
km	Kilómetro
lb/p³	Libra por pie cúbico
lb/pulg²	Libra por pulgada cuadrada
Psi	Libra sobre pulgada cuadrada
LC	Longitud de curva

LS	Longitud espiralada
M.O.	Mano de obra
Máx	Máxima
MPa	Mega pascales
m	Metro
m²	Metros al cuadrado
m³/s	Metros cúbicos por segundo
m/s	Metros por segundo
mm	Milímetro
mm/h	Milímetros por hora
Mín	Mínima
MR	Módulo de ruptura del concreto
Núm.	Número
S%	Pendiente en porcentaje
%	Por ciento

P.U.	Precio unitario
PC	Principio de curva horizontal
PCV	Principio de curva vertical
PTV	Principio de tangente vertical
PT	Principio de tangentes horizontales
“	Pulgadas
PIV	Punto de intersección de subtangentes verticales
PI	Punto de intersección
Q	Quetzales
R	Radio de giro
A/C	Relación agua y cemento
f'c	Resistencia del concreto
f'c	Resistencia mínima a la compresión
ST	Subtangente

Tg_{mín}	Tangente mínima
TPDC	Tráfico promedio diario de camiones
TPD	Tráfico promedio diario
U	Unidad

GLOSARIO

Altimetría	Parte de la topografía que enseña a hacer mediciones de alturas.
Asfalto emulsionado	Es una emulsión de cemento asfáltico y agua, conteniendo una pequeña cantidad de agentes emulsivos.
Bombeo	Pendiente transversal descendente de la corona o sub corona, a partir de su eje y hacia ambos lados, en tangente horizontal.
Bordillo	Elemento que se construye sobre los acotamientos, junto a los hombros de los terraplenes, para evitar que el agua erosione el talud del terraplén.
Calzada	Parte de la corona destinada al tránsito de vehículos.
Carril	Superficie de rodamiento, que tiene el ancho suficiente para permitir la circulación de una hilera de vehículos.
Casagrande	Es el aparato por medio del cual se realiza el ensayo de límites de Atterberg.

Cemento asfáltico	Es una combinación de asfalto refinado y aceite fluidificante, de consistencia apropiada para trabajos de pavimentación.
Compactación del suelo	Procedimiento que consiste en aplicar energía al suelo suelto para consolidarlo y eliminar espacios vacíos, aumentando así su densidad y, en consecuencia, su capacidad para soporte de cargas.
Contracuneta	Canal que se ubica arriba de la línea de ceros de los cortes, para interceptar los escurrimientos superficiales del terreno natural.
Coordenadas	Dirección de cada una de las líneas o planos de referencia que sirven para determinar la posición de un punto.
Corona	Superficie terminada de una carretera, comprendida entre sus hombros.
Cuneta	Canal que se ubica en los cortes en uno o en ambos lados de la corona, contiguo a la línea de hombros, para drenar el agua que escurre por la corona y el talud.
Curva circular simple	Es un arco de curva circular de radio constante que une a dos tangentes.

Curva vertical	Arco de parábola de eje vertical que une dos tangentes del alineamiento vertical.
Densidad	Relación del peso de la sustancia a su volumen, expresada normalmente en kg/m ³ o lb/ft ³ .
Derecho de vía	Superficie de terreno cuyas dimensiones determina la Dirección General de Caminos, que se requiere para la construcción, conservación, reconstrucción, ampliación, protección en general, para el uso adecuado de una vía de comunicación.
Especificaciones	Normas que rigen el diseño geométrico de las carreteras.
Estabilizar	Afirmar el suelo para impedir su movimiento.
Fórmula de Manning	Fórmula para determinar la velocidad de un flujo en un canal abierto; esta fórmula se relaciona con la rugosidad del material con que está construido el canal, la pendiente y el radio hidráulico de la sección.
Grado de curvatura	Ángulo subtendido por un arco de circunferencia de veinte metros de longitud.
Humedad óptima	Es la cantidad de agua necesaria para revestir y lubricar cada partícula de suelo y conseguir la densidad máxima del suelo mediante compactación para efectos de densificación.

Pendiente	Relación entre el desnivel y la distancia horizontal que hay entre dos puntos.
Planimetría	Parte de la topografía que enseña a hacer mediciones horizontales de una superficie.
Plasticidad	Capacidad del suelo a ser moldeado sin sufrir cuarteo superficial.
Permeabilidad	Grado de filtración de agua del suelo por efecto de gravedad.
Rasante	Proyección del desarrollo del eje de la corona de una carretera sobre un plano vertical.
Sección típica	Es la representación gráfica transversal y acotada, que muestra las partes componentes de una carretera.
Sección transversal	Corte vertical normal al alineamiento horizontal de la carretera.
Subrasante	Capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.
Talud	Inclinación de la superficie de los cortes o de los terraplenes.

Tamiz	Malla tupida, que se utiliza para separar las partes finas de las gruesas de una masa pulverulenta.
Tangente horizontal	Tramo recto del alineamiento horizontal de una carretera.
Tangente vertical	Tramo recto del alineamiento vertical de una carretera.
Terraplén	Macizo de tierra que sirve para rellenar un terreno accidentado.
Tránsito	Circulación de personas, vehículos y animales por las vías públicas.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación contiene el resultado del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), llevado a cabo en el caserío Rustrián, municipio de Villa Canales, departamento de Guatemala.

Está conformado por la fase de investigación y la fase de servicio técnico profesional. En la fase de investigación se realizó el diagnóstico de las necesidades de infraestructura, del caserío Rustrián, tomándose la decisión del mejoramiento de la carretera existente, la cual traerá más desarrollo al caserío e incrementará notablemente la calidad de vida de sus habitantes. El servicio técnico profesional contiene el desarrollo de la propuesta para la carretera con mejoras en el diseño geométrico y en la fase técnica profesional, se realizó la propuesta para la carretera con mejoras en el diseño geométrico existente y diseño de la carpeta de rodadura.

Para proporcionar una solución técnica se realizaron las siguientes actividades: visitas preliminares, levantamiento topográfico, cálculo topográfico, diseño geométrico, diseño de pavimento rígido y flexible, integración de presupuesto y dibujo de planos. El resultado fue el diseño geométrico de una carretera con sección típica "E", y el diseño de la carpeta de rodadura de pavimento rígido.

OBJETIVOS

General

Diseñar la carretera y pavimentación del tramo vial comprendido entre el caserío Rustrián y la bifurcación con la carretera departamental No. 1, Municipio de Villa Canales, departamento de Guatemala.

Específicos

- a. Desarrollar una investigación monográfica y un diagnóstico de las necesidades de servicios básicos e infraestructura del caserío Rustrián, del municipio de Villa Canales, del departamento de Guatemala.
- b. Rediseñar la geometría de la carretera existente para que cumpla las normas y especificaciones sobre carreteras de Guatemala, brindando así un mejor servicio y seguridad a usuarios.
- c. Proponer una opción técnica y/o financiera que mejor se adapte a las condiciones del caserío, para la implementación de los proyectos en mención.

INTRODUCCIÓN

Actualmente en Guatemala se presentan una serie de limitaciones en los servicios básicos e infraestructura, necesarios para el buen desarrollo humano, principalmente en el área rural, donde los pobladores cuentan en ciertas ocasiones con servicios básicos muy pobres y en otros carecen de ellos; tal es el caso del caserío Rustrián del municipio de Villa Canales, departamento de Guatemala, que presenta necesidades que deben atenderse en el menor tiempo posible, una de ellas es la vía de comunicación, que requiere atención inmediata por los beneficios que acarreará.

Todo lo anterior desempeña un rol importante para que los habitantes tengan una mejor calidad de vida, y que las comunidades se desarrollen con eficiencia en el área económica y social.

Por lo que en este trabajo de graduación, se presenta el desarrollo del diseño de la carretera y pavimentación del tramo vial, comprendido entre el caserío Rustrián y la bifurcación con la carretera departamental No.1.

1. INVESTIGACIÓN

1.1 Monografía del caserío Rustrián

Rustrián es un caserío del municipio de Villa Canales del departamento de Guatemala.

1.1.1 Ubicación

Se ubica a 12 kilómetros de la cabecera municipal de Villa Canales, pasando por la aldea Chichimecas.

1.1.2 Extensión territorial

La extensión territorial del caserío Rustrián es aproximadamente de 24 kilómetros cuadrados.

1.1.3 Límites y colindancias

Al Norte colindan con finca Las Mercedes, al Oeste con Los Alamos, al Sur con aldea Chichimecas y al Este con finca Semococh.

1.1.4 Vivienda

El caserío cuenta actualmente con unas 50 casas aproximadamente, de las cuales la mayoría están construidas de lámina y madera, otro pequeño porcentaje es de block visto.

1.1.5 Población e idioma

La población, en su mayoría, está compuesta por gente ladina y el idioma es el español.

1.1.6 Clima

Tiene un clima templado con una temperatura de 20 grados centígrados promedio anual.

1.1.7 Suelo y topografía

Está rodeada por montañas y cerros, lo cual la hacen de un terreno variado con áreas planas y montañosas. La economía se compone principalmente en cultivos de café y banano.

1.1.8 Vías de acceso

Se cuenta con una carretera en mal estado, la cual en tiempo de lluvia dificulta aún más el traslado a otros destinos.

1.2 Investigación diagnóstica sobre las necesidades de servicios básicos e infraestructura del caserío Rustrián

1.2.1 Descripción de las necesidades

En el caserío Rustrián, se observó que hay deficiencia en los siguientes servicios:

- a. Agua potable: cuenta con abastecimiento de la red que distribuye en aldea Chichimecas, este servicio sólo abastece a una parte de la población.
- b. Educación: se cuenta con una escuela que solamente atiende alumnos del ciclo primario.
- c. Salud: no hay centro de salud.
- d. Vial: el camino que utilizan los pobladores está en mal estado.

1.2.2 Análisis y priorización de las necesidades

Analizando la situación de caserío Rustrián, se observó que los servicios básicos son deficientes, pero si se actúa y se priorizan en una forma adecuada, se puede llegar al mejoramiento de las demás. En el caso del caserío Rustrián la principal fue la carretera, ya que con la construcción de ésta, la economía crecerá y se mejorará la calidad de vida de los habitantes.

2. DISEÑO DE CARRETERA Y PAVIMENTO DEL TRAMO VIAL COMPRENDIDO ENTRE EL CASERÍO RUSTRIÁN Y LA BIFURCACIÓN CON LA CARRETERA DEPARTAMENTAL No.1, MUNICIPIO DE VILLA CANALES, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA

2.1 Descripción del proyecto

El proyecto consistirá en diseñar una carretera tipo “E”, con una longitud de 3 220,7 metros, en región montañosa, con un ancho de calzada de 5,50 m, velocidad de diseño de 30 KPH, un radio mínimo de 30 m y una pendiente máxima de 10%.

2.2 Preliminar de campo

2.2.1 Reconocimiento

Antes de comenzar a diseñar una carretera, se hace un reconocimiento del lugar; si en el lugar no hay algún camino existente, se hace una selección de ruta, que consiste en ver el lugar aproximado donde pasará la línea central de la carretera, y ver los accidentes geográficos, topografía, ríos y poblados cercanos a ella; en un mapa a escala 1: 50 000 se observan todos estos accidentes geográficos.

En este proyecto no se aplicó selección de ruta, debido a que existe una carretera que los habitantes del caserío Rustrián utilizan para transportarse, se

pudo observar que dicha carretera cuenta con pendientes muy pronunciadas, y curvas con radios mínimos, con un ancho aproximado de 4,5 metros.

2.2.2 Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico se realizó sobre la línea preliminar seleccionada. El levantamiento consistió en una poligonal abierta, formada por ángulos y tangentes, donde se estableció el punto de partida: se ubica al comienzo de la carretera, donde se establece el rumbo o azimut de salida, en este caso se hizo vista Sur, ya que el Norte no se pudo marcar en un punto fijo, como lo es una pared, árbol, etc. La cota de salida se definió como la 0+000 ya que no se tuvo ningún banco de marca. Las coordenadas totales se obtuvieron, por medio del cálculo de la libreta, con el método de Pensilvania.

2.3 Cálculo topográfico preliminar

2.3.1 Revisión de libretas de campo

Se debe hacer una revisión a conciencia para que posteriormente no existan errores y que la información sea coherente. En este caso, la información de la libreta debe ser transferida a la computadora, en una hoja de cálculo (Excel), un editor de texto y finalmente trasladar la información al programa *AutoDesk Land* para hacer el dibujo.

2.3.2 Planimetría

Para la planimetría se tomaron referencias tanto para el eje central como a ambos lados del camino, en una franja de ancho variable hasta los linderos

delimitados por los vecinos. La información se obtuvo a cada 20 metros, y tener así una mejor representación del terreno y la ruta.

2.3.3 Altimetría

Se tomó datos de cada estación por medio del teodolito y estadal. Luego se proceso la información por medio de la nivelación trigonométrica, ya que con estos se dibujan las curvas de nivel y los perfiles de diseño.

2.3.4 Secciones transversales

Por medio de las secciones transversales se podrá determinar la topografía de la faja de terreno por donde pasa la carretera, para lograr un diseño apropiado.

Se deberá sacar secciones en estaciones intermedias donde exista alguna referencia importante, que sirva en gabinete; también se deberá realizar secciones de los fondos, zanjas, orillas de ríos y tuberías si existieran. En este caso se anoto la orilla de un rio existente en la estación 2+500.

2.4 Dibujo de preliminar

2.4.1 Planimétrico

Es la representación gráfica en planta de la carretera. Se dibuja en un plano cartesiano por medio de las coordenadas totales de las estaciones. Ya que el levantamiento topográfico se realizó con teodolito, las coordenadas totales fueron calculadas en una hoja de cálculo (excel).

Para dibujar la planta de la carretera, se importaron los datos de la topografía, que incluían coordenadas totales al programa *Auto Desk Land*.

2.4.2 Altimétrico

Las cotas se obtuvieron por medio de la hoja de cálculo de Excel. Se colocaron los niveles de cada estación, a lo largo de la línea central de la carretera existente en el dibujo de planta, ya que con estos se dibujaron las curvas de nivel y los perfiles de diseño.

2.5 Diseño de localización

Consiste en diseñar la línea final de localización, la cual será definitiva. Se deben tomar en cuenta todas las normas y especificaciones técnicas que rigen las características geométricas de las carreteras de nuestro país. El diseño se estableció en la ruta establecida por los vecinos.

Primero, se debe determinar el tipo de carretera para el proyecto. Esta información la brinda el TPDA (tránsito promedio diario anual), tomando en cuenta el tránsito y la velocidad a la cual se desea que viaje el vehículo como también dependiendo de otros factores como lo es la topografía del terreno, clima, etc.

Para este proyecto se tomó una carretera tipo “E”, ya que el tránsito promedio anual es de 90 vehículos diarios, aproximadamente. La topografía del terreno es en algunos tramos plana y en otras montañosas, por lo que la velocidad de diseño será de 30 KPH, en la tabla I, se describen las características geométricas, que deben tener las diferentes clasificaciones de carreteras, según el tránsito promedio diario y el tipo de región.

Tabla I. Características geométricas
Valores recomendados para las características de la carretera en estado final

T.P.D. DE	CARRETERA	VELOCIDAD DE DISEÑO	ANCHO DE CALZADA (m)	ANCHO DE TERRACERÍA		DERECHO DE VÍA	RADIO MÍNIMO	PENDIENTE MÁXIMA (m)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA		DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PASO	
				CORTE (m)	RELLENO (m)				MÍNIMA (m.)	RECOMEN-DADA (m)	MÍNIMA (m)	RECOMEN-DADA (m)
3 000 A 5 000	TIPO "A"		2x7,20	25	24	50						
	REGIONES											
	LLANAS	100					375	3	160	200	700	750
	ONDULADAS	80					225	4	110	150	520	550
	MONTAÑOSAS	60					110	5	70	100	350	400
1 500 A 3 000	TIPO "B"		7,20	13	12	25						
	REGIONES											
	LLANAS	80					225	6	110	150	520	550
	ONDULADAS	60					110	7	70	100	350	400
	MONTAÑOSAS	40					47	8	40	50	180	200
900 A 1 500	TIPO "C"		6,50	12	11	25						
	REGIONES											
	LLANAS	80					225	6	110	150	520	550
	ONDULADAS	60					110	7	70	100	350	400
	MONTAÑOSAS	40					47	8	40	50	180	200
500 A 900	TIPO "D"		6,00	11	10	25						
	REGIONES											
	LLANAS	80					225	6	110	150	520	550
	ONDULADAS	60					110	7	70	100	350	400
	MONTAÑOSAS	40					47	8	40	50	180	200
100 A 500	TIPO "E"		5,50	9,50	8,50	25						
	REGIONES											
	LLANAS	50					75	8	55	70	260	300
	ONDULADAS	40					47	9	40	50	180	200
	MONTAÑOSAS	30					30	10	30	35	110	150
10 A 100	TIPO "F"		5,50	9,50	8,50	15						
	REGIONES											
	LLANAS	40					47	10	40	50	180	200
	ONDULADAS	30					30	12	30	35	110	150
	MONTAÑOSAS	20					18	14	20	25	50	100

Notas:

- 1 T.P.D. = Promedio de Tráfico Diario
- 2 La sección típica para carreteras Tipo "A", incluyen isla central de 1.50 mts. de ancho
- 3 La calidad de la capa de recubrimiento de la calzada podrá ser para carreteras Tipo "A": hormigón, concreto asfáltico (frío o caliente) o tratamiento superficial múltiple; para Tipo "B" y "C": concreto asfáltico (frío o caliente) o tratamiento superficial doble; para Tipo "D" tratamiento superficial doble; para tipo "E" tratamiento superficial doble y para Tipo "F" recubrimiento de material selecto. Los recubrimientos para las carreteras, desde el tipo "A" al "E", dependerán de las características mecánicas del suelo y de las propiedades de los materiales de construcción de la zona.

Fuente: Dirección General de Caminos. Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes. p.12

2.5.1 Corrimiento de línea

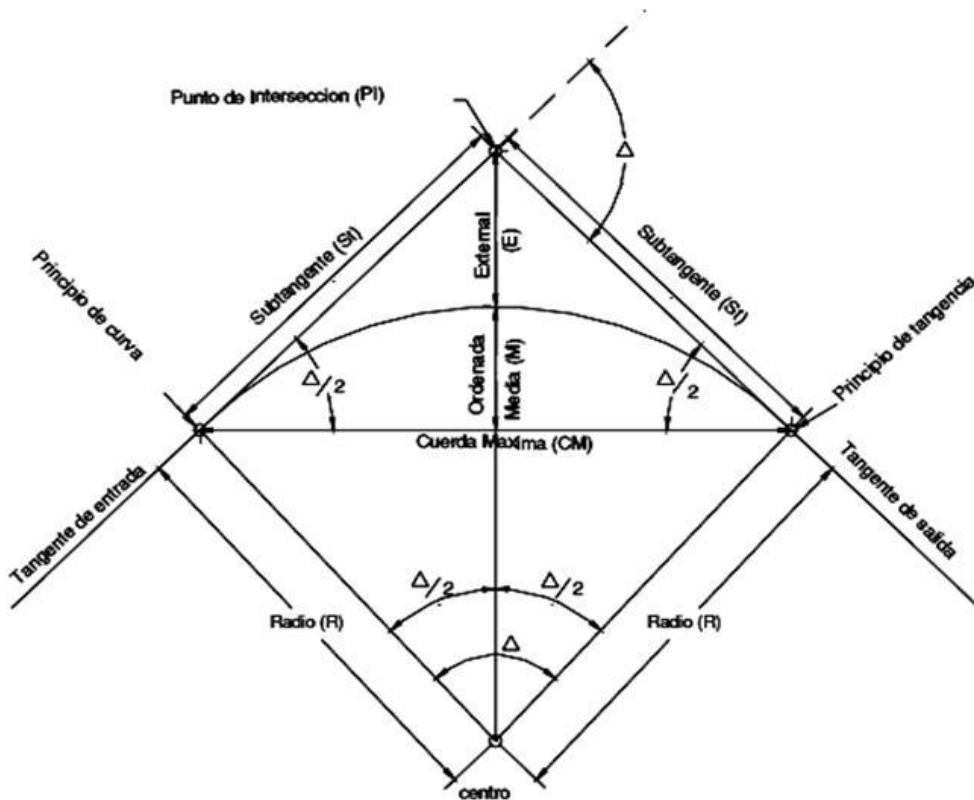
Los corrimientos de líneas se hacen cuando por razones especiales el caminamiento de la preliminar no llena los requisitos del proyecto, tales como: especificaciones, pasos obligados, barrancos y pendientes muy pronunciadas, con la opción de seleccionar la ruta.

En este caso, se efectuó un corrimiento de línea en la estación 1+348, para mejorar el diseño geométrico de la carretera, se utilizó el programa *Auto Desk Land* para realizar el corrimiento de línea, dibujando la línea de localización sobre la topografía del camino existente. Las coordenadas totales de la línea de localización fueron calculadas por medio de este programa.

2.5.2 Cálculo de elementos de curva horizontal

Las curvas horizontales, forman parte del alineamiento horizontal de una carretera, son arcos de círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas, para unir dos tangentes consecutivas, pueden ser simples (sólo una curva circular) o compuestas (formadas por dos o más curvas circulares simples, del mismo sentido o no y diferente radio). Están compuestas por los siguientes elementos. Figura 2.

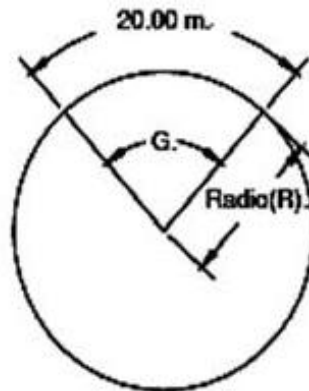
Figura 2. Elementos que componen una curva horizontal



Fuente: Dirección General de Caminos. Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes. p.18

Las fórmulas utilizadas para calcular los distintos componentes de una curva horizontal, están definidas por el grado de una curva (G), que es el ángulo subtendido por un arco de 20 metros. Figura 3.

Figura 3. Grado de curvatura



Fuente: Dirección General de Caminos. Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes. p.22

La relación entre el radio de la curvatura circular y el grado de curvatura es la siguiente.

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

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

$$R = \frac{1\,459\,156}{G} \quad \text{ó} \quad G = \frac{1\,459\,156}{R}$$

También es necesario tener las distancias entre los puntos de intersección (PI) de localización y el azimuth. De acuerdo a Δ (diferencia entre el azimuth 1 y azimuth 2 que convergen en un PI) y la velocidad de diseño, se escogerá el grado de curvatura (G), para cada curva, utilizando las tablas de especificaciones de la Dirección General de Caminos:

Tabla II. Especificaciones para curvas circulares

	RADIO	20 K.P.H.				30 K.P.H.				40 K.P.H.			
		DB = 10				DB = 11				DB = 12			
		e%	LS	Δ	SA	e%	LS	Δ	SA	e%	LS	Δ	SA
1	1145,92	0,20	11	0,60	0,00	0,50	17	0,80	0,00	0,80	22	1,10	0,00
2	572,96	0,40	11	1,10	0,00	0,90	17	1,70	0,00	1,60	22	2,20	0,00
3	381,97	0,60	11	1,70	0,00	1,30	17	2,50	0,00	2,30	22	3,30	0,60
4	286,48	0,80	11	2,20	0,00	1,70	17	3,30	0,60	3,00	22	4,40	0,60
5	229,18	1,00	11	2,80	0,00	2,10	17	4,20	0,60	3,70	22	5,60	0,60
6	190,99	1,20	11	3,30	0,60	2,50	17	5,00	0,60	4,40	22	6,70	0,60
7	163,70	1,30	11	3,90	0,60	2,90	17	5,80	0,60	5,00	22	7,80	0,60
8	143,24	1,50	11	4,40	0,60	3,30	17	6,70	0,60	5,50	22	8,90	0,60
9	127,32	1,70	11	5,00	0,60	3,70	17	7,50	0,60	6,10	24	10,60	0,65
10	114,59	1,90	11	5,60	0,60	4,00	17	8,30	0,61	6,60	25	12,70	0,70
11	104,17	2,10	11	6,10	0,60	4,40	17	9,20	0,65	7,00	27	15,00	0,75
12	95,49	2,20	11	6,70	0,60	4,70	17	10,10	0,70	7,50	29	17,40	0,80
13	88,15	2,40	11	7,20	0,64	5,00	18	11,70	0,74	7,90	31	19,80	0,85
14	81,85	2,60	11	7,80	0,68	5,40	19	13,40	0,79	8,20	32	22,40	0,90
15	76,39	2,70	11	8,30	0,72	5,70	20	15,10	0,83	8,60	33	24,90	0,95
16	71,62	2,90	11	8,90	0,76	6,00	21	17,00	0,87	8,90	34	27,50	0,99
17	67,41	3,10	11	9,40	0,80	6,20	22	18,90	0,92	9,10	35	30,10	1,04
18	63,66	3,20	11	10,00	0,84	6,50	23	20,90	0,96	9,40	36	32,60	1,09
19	60,31	3,40	11	10,60	0,88	6,80	24	22,90	1,00	9,50	37	35,20	1,13
20	57,30	3,60	12	11,70	0,92	7,00	25	25,00	1,05	9,70	38	37,60	1,18
21	54,57	3,70	12	12,80	0,95	7,30	26	27,20	1,09	9,80	38	40,00	1,23
22	52,09	3,90	13	14,00	0,99	7,50	27	29,40	1,13	9,90	38	42,30	1,27
23	49,82	4,00	13	15,20	1,03	7,70	28	31,70	1,17	10,00	39	44,50	1,32
24	47,75	4,20	14	16,40	1,07	7,90	28	33,90	1,22	10,00	39	46,50	1,36
25	45,84	4,30	14	17,70	1,11	8,10	29	36,20	1,26				
26	44,07	4,50	15	19,10	1,15	8,30	30	38,60	1,30				
27	42,44	4,60	15	20,40	1,19	8,50	30	40,90	1,34				
28	40,93	4,80	16	21,90	1,23	8,70	31	43,30	1,38				
29	39,51	4,90	16	23,30	1,27	8,80	31	45,70	1,42				
30	38,20	5,10	17	24,80	1,30	9,00	32	48,00	1,47				
31	36,97	5,20	17	26,30	1,34	9,10	33	50,40	1,51				
32	35,81	5,30	17	27,90	1,38	9,30	33	52,80	1,55				
33	34,72	5,50	18	29,50	1,40	9,40	33	55,10	1,59				
34	33,70	5,60	18	31,10	1,46	9,50	34	57,40	1,63				
35	32,74	5,70	19	32,80	1,50	9,60	34	59,70	1,67				
36	31,83	5,90	19	34,50	1,53	9,70	34	62,00	1,71				
37	30,97	6,00	20	36,20	1,57	9,80	35	64,20	1,75				
38	30,16	6,10	20	38,00	1,61	9,80	35	66,40	1,79				
39	29,38	6,20	20	39,70	1,65	9,90	35	68,50	1,83				

Fuente: Dirección General de Caminos. Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes. p.24

La tabla II, contiene los radios que deben tener las curvas horizontales, según el grado de curvatura escogido, además de otros elementos que son: peralte, sobre ancho y longitud de espiral.

Se debe tomar en cuenta que la carretera será Tipo “E”, por lo que en teoría, el radio mínimo deberá ser de 30 m, pero habrá dificultad en algunas curvas para utilizar este radio, como en la curva 20, en la estación 2+860, ya que los puntos obligados no lo permitirán. A continuación se describe el cálculo de cada una de las componentes de las curvas circulares:

- a. **Longitud de curva (LC):** es la longitud del arco comprendida entre el principio de curva (PC) y el principio de tangencia (PT). Ver figura 2 (Elementos que componen una curva horizontal) se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{LC}{2\pi r} = \frac{\Delta}{360}$$

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

$$LC = \frac{2\pi \Delta * \frac{1\ 145,915\ 6}{G}}{360}$$

$$LC = \frac{20\Delta}{G}$$

- b. **Subtangente (St):** es la distancia entre el principio de curva (PC) y el punto de intersección (PI), ya que la curva es simétrica, la distancia entre el punto de intersección (PI) y el principio de tangencia (PT) es igual.

$$\operatorname{Tg}\left(\frac{\Delta}{2}\right) = \frac{St}{R}$$

$$St = R * \operatorname{Tg}\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

- c. **Cuerda máxima (Cm):** es la distancia en línea recta desde el principio de curva (PC) al principio de tangencia (PT).

$$\operatorname{Sen}\left(\frac{\Delta}{2}\right) = \frac{Cm}{2r}$$

$$Cm = 2 * R * \operatorname{Sen}\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

- d. **External (E):** es la distancia desde el PI al punto medio de la curva.

$$\operatorname{Cos}\left(\frac{\Delta}{2}\right) = \frac{R}{R + E}$$

$$R * \operatorname{Cos}\left(\frac{\Delta}{2}\right) + E * \operatorname{Cos}\left(\frac{\Delta}{2}\right) = R$$

$$E * \operatorname{Cos}\left(\frac{\Delta}{2}\right) = R - R * \operatorname{Cos}\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$E = \frac{R - R * \text{Cos}\left(\frac{\Delta}{2}\right)}{\text{Cos}\left(\frac{\Delta}{2}\right)}$$

$$E = R * \left(\text{Sec}\left(\frac{\Delta}{2}\right) - 1\right)$$

- e. **Ordenada media (Om):** es la distancia dentro del punto medio de la curva y el punto medio de la cuerda máxima.

$$\text{Cos}\left(\frac{\Delta}{2}\right) = \frac{R - Om}{R}$$

$$R * \text{Cos}\left(\frac{\Delta}{2}\right) = R - Om$$

$$Om = R - R * \text{Cos}\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$Om = R \left(1 - \text{Cos}\left(\frac{\Delta}{2}\right)\right)$$

Ejemplos de diseño.

Datos:

Estacionamiento: 0+21,143

Delta: 18°49'41"

Cálculo de elementos de la curva

$$R = 1\,145,915 \cdot \frac{6}{15,28} = 75$$

$$Lc = (20) \cdot \frac{(18^\circ 49' 41'')}{15,28} = 24,65$$

$$St = (75) \cdot (\text{tg}(18^\circ 49' 41''/2)) = 12,44$$

$$Cm = (2) \cdot (75) \cdot (\text{sen}(18^\circ 49' 41''/2)) = 24,53$$

$$Om = (75) \cdot (1 - \text{Cos}(18^\circ 49' 41''/2)) = 1,01$$

$$E = 1,01 / \text{Cos}(18^\circ 49' 41''/2) = 1,023$$

$$PC = (0+33,583)-(0+12,44) = 0+21,143$$

$$PT = (0+21,143)+(0+24,65) = 0+45,79$$

En la tabla III se encuentra el resumen de los elementos geométricos de las curvas horizontales de este proyecto.

Tabla III. Elementos geométricos de curva horizontal

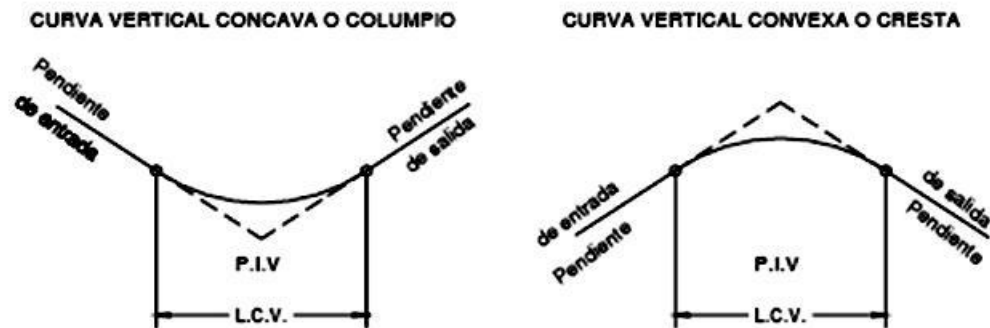
ESTACION	▲	R	L.C	St	Cm	Om	E	PC	PT
0+21,14	18°49'41"	75	24,64	12,43	24,53	1,01	1,02	0+21,14	0+45,78
0+106,96	14°54'04"	76	19,76	9,93	19,70	0,64	0,64	0+106,96	0+126,72
0+164,21	36°35'49"	45	28,74	14,88	28,25	2,27	2,39	0+164,21	0+192,95
0+337,24	70°50'17"	30	37,09	21,33	34,77	5,55	6,81	0+337,24	0+374,33
0+534,47	22°34'54"	60	23,64	11,97	23,49	1,16	1,18	0+534,47	0+558,11
0+672,02	117°40'04"	36.5	74,95	60,34	62,46	17,61	34,02	0+672,02	0+746,97
0+881,23	121°05'49"	30	63,41	53,12	52,24	15,24	31,01	0+881,23	0+944,63
1+007,34	10°46'23"	65	12,22	6,12	12,20	0,28	0,28	1+007,34	1+019,56
1+068,83	72°02'44"	30	37,72	21,81	35,28	5,73	7,09	1+068,83	1+106,55
1+153,39	31°41'09"	30	16,59	8,51	16,38	1,13	1,18	1+153,39	1+169,98
1+178,95	105°16'22"	30	55,12	39,29	47,68	11,79	19,43	1+178,95	1+234,07
1+286,04	119°45'55"	30	62,71	51,71	51,90	14,94	29,78	1+286,04	1+348,74
1+501,38	23°14'30"	65	26,36	13,36	26,18	1,33	1,36	1+501,38	1+527,74
1+909,75	66°04'57"	75	86,51	48,78	81,78	12,12	14,46	1+909,75	1+996,25
2+357,26	24°54'08"	57	24,77	12,58	24,57	1,34	1,37	2+357,26	2+382,03
2+483,31	12°00'19"	94	19,69	9,88	19,66	0,51	0,51	2+483,31	2+503,00
2+574,62	20°05'07"	61	21,38	10,88	21,27	0,93	0,94	2+574,62	2+596,00
2+754,76	21°48'33"	63	23,98	12,13	23,83	1,13	1,15	2+754,76	2+778,74
2+790,75	77°48'12"	35	47,52	28,24	43,95	7,76	9,97	2+790,75	2+838,47
2+861,03	79°48'44"	27	37,61	22,58	34,64	6,28	8,19	2+861,03	2+898,64
3+002,89	25°35'28"	63	28,13	14,30	27,90	1,56	1,60	3+002,89	2+031,02

Fuente: elaboración propia trabajo de campo 2011.

2.5.3 Determinación de curva vertical

Las curvas verticales sirven de enlace entre dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, con el fin de efectuar un paso gradual de la tangente de entrada a la tangente de salida, proporcionando una operación segura y confortable en el manejo del vehículo. Las curvas verticales pueden ser cóncavas o convexas, como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Tipos de curvas verticales



Fuente: Dirección General de Caminos. Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes. p.31

La finalidad de una curva vertical, es proporcionar suavidad al cambio de pendiente. Estas curvas pueden ser circulares o parabólicas, aunque la más usada en nuestro país es la parabólica simple, debido a la facilidad de cálculo y a la gran adaptación a las condiciones de terreno.

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

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

La longitud de las curvas verticales debe garantizar: el drenaje, tener una buena apariencia, y proporcionar comodidad de usuario. Al momento de diseñar, se debe considerar las longitudes mínimas permisibles en curvas, con el objeto de evitar su traslape, y dejar la mejor visibilidad posible a los conductores. Existen cuatro criterios para determinar la longitud de curvas:

- a. **Criterio de apariencia:** se aplica a curvas verticales con visibilidad completa, o sea al de curvas cóncavas, para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito de pendiente.

$$A = P_s - P_e$$

Donde:

P_s = Pendiente de salida

P_e = Pendiente de entrada

$$K = LCV/A \geq 30$$

- b. **Criterio de comodidad:** se aplica a curvas verticales cóncavas, en donde la fuerza centrípeta que aparece en el vehículo, al cambiar de dirección, se suma al peso propio del vehículo.

$$K = LCV/A \geq V^2/395$$

- c. **Criterio de drenaje:** se aplica a curvas verticales convexas o cóncavas, cuando están alojadas en corte. La pendiente en cualquier punto de la curva debe ser tal que el agua pueda escurrir fácilmente.

$$K = LCV/A \leq 43$$

- d. **Visibilidad de parada:** se aplica a curvas convexas o cóncavas. La longitud de curva permitirá que a lo largo de ella la distancia de visibilidad sea mayor o igual que la de parada.

$$L = K \times A$$

Donde:

L = Longitud mínima de la curva vertical

K = Constante que depende de la velocidad de diseño

A = Diferencia algebraica de pendientes

La tabla IV, muestra los diferentes valores de **K** para la visibilidad de parada según la Dirección General de Caminos:

Tabla IV. Valores de K para curvas cóncavas y convexas

Velocidad de diseño (KPH)	Valores de K según tipo de curva	
	Cóncava	Convexa
10	1	0
20	2	1
30	4	2
40	6	4
50	9	7
60	12	12
70	17	19
80	23	29
90	29	43

Fuente: Dirección General de Caminos. Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes. p.36

Ejemplo de diseño:

Datos

Estacionamiento: 0+235,3

Tipo de curva: convexa

Diferencia algebraica de pendientes: 20,37

Valor K: 2,45

$L = (2,45) (20,37)$

L=49,90 metros

De acuerdo a la Dirección General de Caminos, la longitud mínima de la curva vertical, según la tabla sería:

$L = (2) (20,37)$

L= 40.74 metros

Para este proyecto se cumplieron con las longitudes mínimas en las curvas verticales.

2.6 Movimiento de tierras

Es una actividad importante en la construcción de una carretera, debido a su incidencia en el costo de la misma. Por lo tanto, el movimiento de tierras a realizarse, deberá ser lo más económico, dentro de los requerimientos que el tipo de carretera fije.

Cuando se ha trazado y nivelado la línea definitiva en el campo, se inicia el estudio de movimientos de tierras, con el proyecto de la subrasante definitiva; en este caso la subrasante se creó a partir del diseño geométrico final, donde en el corte y relleno final, se establecerá como subrasante.

2.7 Determinación de la calidad del suelo

El suelo es el soporte último de todas las obras de infraestructura, por lo que se comporta como una estructura más, con características físicas propias (densidad, porosidad, ángulo de fricción interna, etc.), que le otorgan ciertas propiedades resistentes: compresión, corte, etc. Por esto, es necesario estudiar su comportamiento como carretera.

2.7.1 Pruebas de laboratorio

Las pruebas que se practican a los suelos, en el laboratorio, tienen como finalidad descubrir la mejor manera de manejarlos, para obtener los mejores resultados y definir cuán buenos pueden ser; también, se utilizan para determinar la proporción granulométrica de los suelos y la compactación.

Las pruebas de laboratorio se clasifican de la siguiente manera.

- a. Análisis granulométrico
- b. Proctor
- c. Límites de Atterberg: límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad
- d. Determinación de la capacidad portante, mediante el índice de CBR

Para este proyecto se realizaron los ensayos de granulometría, límites de Atterberg, proctor modificado y CBR, para poder clasificar el suelo y determinar sus propiedades físicas y mecánicas. A continuación se presenta una breve descripción de cada ensayo y los resultados obtenidos:

2.7.1.1 Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg determinan el comportamiento y las propiedades de los suelos de granos finos, cuando estos entran en contacto con el agua. Cada uno se define por la variación de humedad que produce una consistencia determinada en el suelo, siendo éstos: límite líquido, plástico, de contracción, de pegajosidad y de cohesión.

Es importante determinar el límite líquido y plástico, ya que el suelo en esos dos estados, presenta una alta deformabilidad y una drástica reducción de su capacidad soporte. Además, por medio de ellos y del análisis granulométrico se puede clasificar el suelo, y determinar sus propiedades mecánicas. Estos dos límites están definidos de la siguiente manera.

- a. **Límite líquido:** es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico; a este nivel de contenido de

humedad, el suelo está en el vértice de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso. Está expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra utilizada para el ensayo.

- b. **Límite plástico:** es el contenido de humedad por debajo del cual se puede considerar el suelo como un material no plástico, estado semi sólido. Está expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra utilizada para el ensayo.

El índice de plasticidad I.P., indica el grado de plasticidad que presenta el suelo, es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. Los resultados de los ensayos se muestran en la tabla V.

Tabla V. Resultado de los ensayos de límites de Atterberg

<i>ENSAYO</i> No.	<i>MUESTRA</i> No.	<i>L.L.</i> (%)	<i>I.P.</i> (%)	<i>C.S.U. *</i>	<i>DESCRIPCIÓN DEL SUELO</i>
1	1	0	0	SM	Arena limoso con partículas de aluvi3n, color caf3 oscuro

Norma: AASHTO T-89 Y T-90

(*) C.S.U. = Clasificaci3n Sistema Unificado

Fuente: elaboraci3n propia trabajo de campo 2011

2.7.1.2 An3lisis granulom3trico

Determina las proporciones de los distintos tama1os de grano existentes en el suelo. Con este ensayo, se establece una clasificaci3n gen3rica de suelos atendiendo a su granulometr3a.

Existen varias formas y escalas para clasificar los suelos, entre ellas est3n: Sistema Unificado de Clasificaci3n de Suelos (SUCS), que por su car3cter vers3til y sencillo se emplea para todo tipo de obras de ingenier3a;

sistema de clasificación de la AASHTO, uno de los más usados en carreteras. En la AASHTO se clasifica el suelo en siete grupos básicos. Tabla VI.

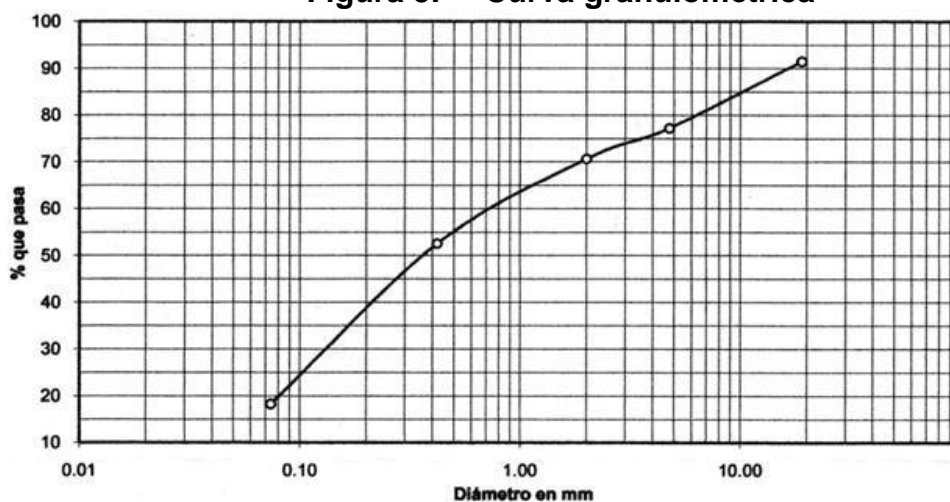
Tabla VI. Clasificación de suelos AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425 μ m)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75 μ m)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...		...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

Fuente: Luis Bañón Blázquez y José F. Beviá García. Manual de Carreteras 2. p.25

A continuación se presenta la curva granulométrica, figura 5 en donde se visualiza el porcentaje que pasa en cada tamiz. En la Tabla VII se encuentran los resultados del ensayo de análisis granulométrico.

Figura 5. Curva granulométrica



Fuente: elaboración propia trabajo de campo 2011.

Tabla VII. Resultado del ensayo de análisis granulométrico

Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.			
Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11			
Análisis con Tamices:			% de Grava: 22,75 % de Arena: 58,96 % de Finos: 18,29
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa	
2"	50,80	100,00	
3/4"	19,00	91,53	
4	4,76	77,25	
10	2,00	70,68	
40	0,42	52,55	
200	0,07	18,29	
Descripción del suelo:			Arena limoso con partículas de aluvión, color café oscuro
Clasificación: S.C.U.: SM			P.R.A.: A-2-6

Fuente: elaboración propia trabajo de campo 2011.

De acuerdo a estos resultados, el suelo posee un 22,75% de gravas, 5,96% de arena y 18,29% de finos. Con estos valores y los del ensayo anterior,

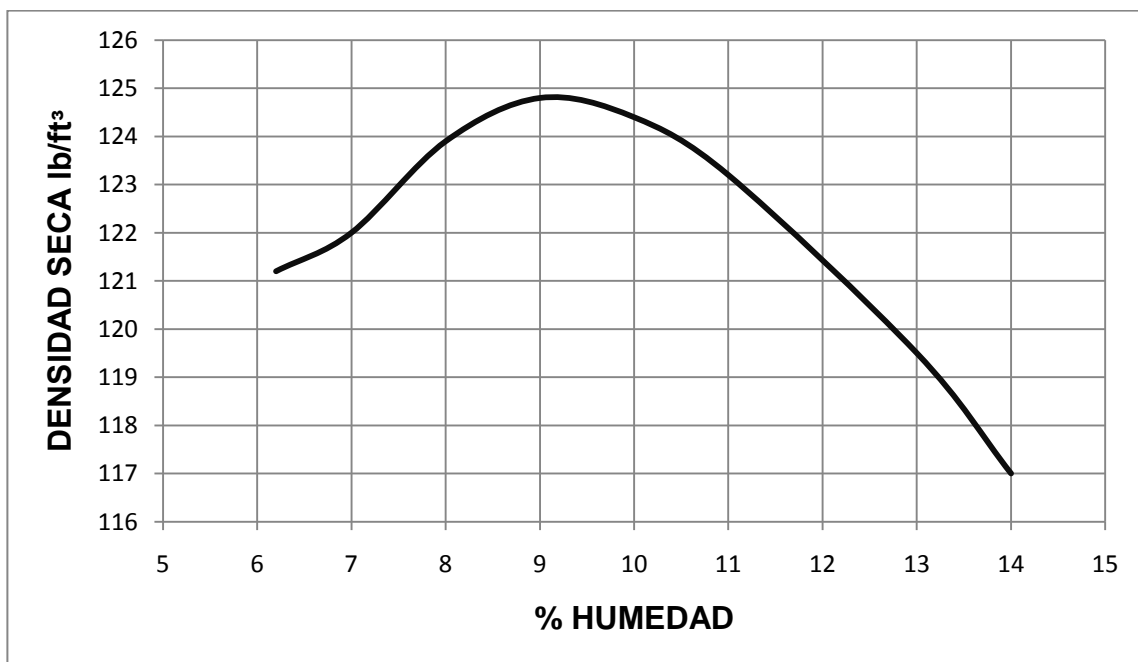
se clasifica el suelo como SM, según el sistema de clasificación SUCS, y A-2-6, según el sistema de clasificación AASHTO, describiéndola como una arena limoso con partículas de aluvión, color café oscuro.

2.7.1.3 Proctor

Permite conocer las características de compactación del suelo, que son humedad óptima y densidad máxima, con el fin de conseguir la mayor estabilidad mecánica posible en la construcción, para que las tensiones se transmitan uniforme y progresivamente y no se produzcan asentamientos excesivos o incluso el colapso del suelo, que sirve como cimiento del pavimento. Estos ensayos se dividen en proctor estándar y proctor modificado, la diferencia entre estos dos ensayos es la energía de compactación utilizada en cada uno de ellos, el modificado es 5 veces mayor que el estándar. Para el proyecto se utilizó el ensayo de proctor modificado.

Después de realizar los cálculos para los diferentes puntos ensayados, se plotean en una gráfica los resultados del peso unitario seco o densidad seca, en el eje de las abscisas, y el porcentaje de humedad, en el eje de las ordenadas, obteniendo así la densidad seca máxima y el porcentaje de humedad óptimo. Ver figura 6 y tabla VIII

Figura 6 Densidad seca-humedad



Fuente: elaboración propia trabajo de campo 2011.

Tabla VIII. Resultados del ensayo proctor modificado

ENSAYO DE COMPACTACIÓN.				
Proctor modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-180				
Descripción del suelo:	Arena Limoso con partículas de aluvión, color café oscuro.			
Densidad seca máxima:	2001	kg/m³	124,9	lb/ft³
Humedad óptima Hop.:	9,2	%		

Fuente: elaboración propia trabajo de campo 2011.

Estos resultados indican que con una humedad de 9,2%, el suelo llega a su densidad seca máxima, que es de 2 001 kg/m³, al ser compactado.

2.7.1.4 Ensayo de la relación soporte California (CBR)

Fue creado como una forma de clasificación de la capacidad de un suelo, para ser utilizado como subrasante o material de base en la construcción de carreteras. Mide la resistencia al corte de un suelo, bajo condiciones de humedad y densidad controladas.

El índice de CBR es la relación de la carga unitaria (en lb/pulg²) necesaria, para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración (con área = 19,4 cm²), dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas, con respecto a la carga unitaria patrón requerida, para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado. El CBR es un porcentaje de la carga unitaria patrón y se expresa de la siguiente manera.

$$\text{CBR} = (\text{Carga unitaria del ensayo} / \text{Carga unitaria patrón}) * 100$$

El número de CBR, se basa usualmente en la relación de carga para una penetración de 2,5 mm, pero si el valor de CBR a una penetración de 5 mm es mayor, se repite el ensayo y si al repetirse produce nuevamente un valor de CBR mayor, se debe aceptar este último valor como el valor final del ensayo. Los valores de carga unitaria que deben utilizarse se muestran en la tabla IX.

Tabla IX. Valores de carga unitaria para calcular el CBR

PENETRACIÓN		CARGA UNITARIA PATRÓN	
Mm	in	MPa	psi
2,5	0,1	6,9	1 000
5	0,2	10,3	1 500
7,5	0,3	13,0	1 900
10	0,4	16,0	2 300
12,7	0,5	18,0	2 600

Fuente: Joseph E. Bowles. Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil. p.190

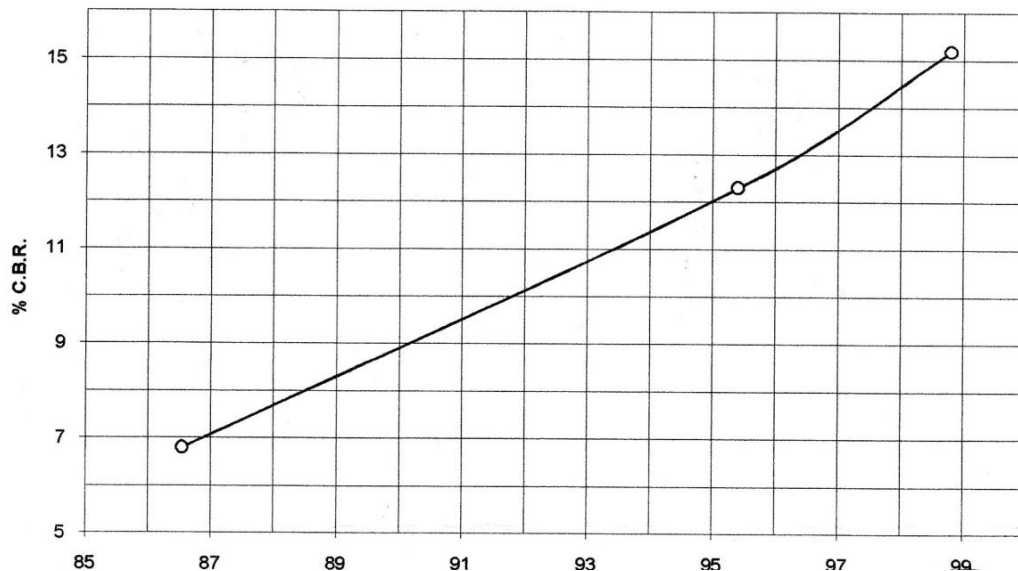
A continuación, en la tabla X y la figura 7, se muestran los resultados obtenidos en el ensayo:

Tabla X. Resultados del ensayo de razón soporte California

Ensayo de razón soporte California (C.B.R.)				Norma: A.A.S.H.T.O. T-193			
PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACIÓN		C (%)	EXPANSIÓN (%)	C.B.R. (%)	
		H (%)	γ_d (Lb/ft ³)				
1	10	9,20	108,2	86,54	2	6,8	
2	30	9,20	119,3	95,40	1	12,3	
3	65	9,20	123,6	98,80	0	15,2	

Fuente: elaboración propia trabajo de campo 2011.

Figura 7. Gráfica de %CBR – porcentaje de compactación



Fuente: elaboración propia trabajo de campo 2011.

Según los resultados, el suelo posee un índice de CBR, al 98% de compactación, que se encuentra entre 12 y 15. Este valor es utilizado para determinar las propiedades mecánicas del suelo, se emplea su capacidad soporte, obtenida mediante el índice de CBR.

2.7.2 Criterios para definir la carpeta de rodadura

Las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la subrasante son fundamentales, ya que por medio de ellas y otros factores, como el tránsito, el clima y los materiales disponibles en el lugar, y con la ayuda de diferentes métodos de diseño, se determinarán las capas a utilizar con sus espesores del pavimento.

Según los resultados de los ensayos de suelos, se determinó que el suelo es una arena limosa con partículas de aluvión, color café oscuro, con una

clasificación SM, un limo con cero plasticidad, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, A-2-6; material arena limoso con partículas de aluvión, según la clasificación del método AASHTO.

Su densidad seca máxima es de $2001 \text{ kg/m}^3 = 124,9 \text{ lb/ft}^3$ con una humedad óptima de 9,2%. Además, tiene un límite líquido (L.L.) = 0%, índice de plasticidad (I.P.) = 0%, el índice de C.B.R. al 98% de compactación se encuentra entre 12 y 15. Para evaluar la competencia mecánica del suelo, se emplea su capacidad soporte, obtenida mediante el índice de CBR. Con los resultados obtenidos se clasifica a la subrasante como regular.

2.8 Diseño de la carpeta de rodadura

El pavimento es un conjunto de capas superpuestas horizontalmente, formadas por diversos materiales sueltos o tratados con una sustancia aglomerante, cuya misión es transmitir adecuadamente las cargas generadas por el tránsito, de tal forma que las capas inferiores no se deformen de manera inadmisibles, al menos durante el período de diseño adoptado y bajo cualquier condición meteorológica. Además de sus características de resistencia, el pavimento debe poseer propiedades que garanticen la seguridad y comodidad de los usuarios de forma duradera.

Los aspectos que determinan las características estructurales, a corto y largo plazo, de un pavimento, son los materiales y espesores de las capas que lo componen.

Los métodos para el dimensionamiento pueden ser analíticos o empíricos, y se usan para diseñar pavimentos rígidos y flexibles, su fin es proyectar una estructura multicapa económicamente satisfactoria, que sea capaz de servir

como soporte a la rodadura de los vehículos, durante un tiempo mínimo adecuado y previsto (período de diseño del proyecto), sin que los materiales que lo constituyen, ni las capas de suelo subyacentes, se deformen en forma excesiva.

2.8.1 Factores a considerar en el diseño del pavimento

En el diseño del pavimento, como en todo problema de diseño estructural, se emplean hipótesis básicas sobre materiales, condiciones externas, solicitaciones o evoluciones y deterioro de la estructura, que varían según el método empleado y el tipo de pavimento.

Los factores, que son comunes a todos los métodos de diseño, ya sean empíricos o analíticos, son:

2.8.1.1 El tránsito

Es importante conocer el tránsito promedio diario anual que circula por la carretera existente, tomando en cuenta el porcentaje de tránsito pesado, de esta manera se conocerá la carga aproximada que debe resistir el pavimento y la acumulación de sus efectos, durante el período de diseño. El tránsito promedio diario actual del camino existente es aproximadamente de 90 vehículos, con un tránsito pesado menor al 10%.

2.8.1.2 La subrasante

Es el conjunto de cortes y terraplenes de una terracería ya preparada, libre de material orgánico, fango y rocas que sobresalen de la superficie del terreno, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad tal, que no le afecte la carga de diseño y que corresponda al

tránsito previsto. Deberá estar conformada, de preferencia, por suelos granulares con menos de 3% de hinchamiento, de acuerdo con el ensayo AASHTO T 193 (CBR).

En este caso, el CBR de la muestra de suelo tomada del camino existente, se encuentra entre 12 y 15, por lo que se puede utilizar como una subrasante y hasta como subbase regular (Ver tabla XI).

Tabla XI. Clasificación cualitativa de los suelos por medio de su CBR

No. CBR	CLASIFICACIÓN GENERAL	USOS	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN	
			UNIFICADO	AASHTO
0 - 3	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3 - 7	Pobre a regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7 - 20	Regular	Subbase	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20 - 50	Bueno	Base, Subbase	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A1a, A2-4, A3

Fuente: Joseph E. Bowles. Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil. p.225

Las principales funciones de la capa subrasante son:

- a. Recibir y resistir las cargas del tránsito que le son transmitidas por el pavimento, transmitir las y distribuir las de modo adecuado, al cuerpo del terraplén (esta función es estructural y común a todas las capas de las secciones transversales de la vía).
- b. Evitar que los materiales finos plásticos que formen el cuerpo del terraplén contaminen el pavimento.
- c. El tamaño de las partículas debe estar entre las finas correspondientes al cuerpo del terraplén y las granulares del pavimento.

- d. Evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes se reflejen en la superficie de rodamiento.
- e. Uniformar los espesores de pavimento, en especial cuando los materiales de las terracerías requieren un espesor grande.

De la capacidad soporte del terreno de fundación depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento; si es pésimo, con un alto contenido de material orgánico, debe desecharse y sustituirse por otro de mejor calidad; si es malo, y está formado por suelo fino, limoso o arcilloso, susceptible de saturación, deberá colocarse una subbase granular de material seleccionado, antes de colocar la base y capa de rodamiento.

Cuando el terreno de fundación sea regular o bueno, y esté formado por suelo bien graduado, que no ofrezca peligro a la saturación, o por un material de granulometría gruesa, posiblemente no requiera la capa de subbase. En este caso, el material es un suelo arenoso con limos y partículas de aluvión, por lo que será necesaria la capa de subbase para el pavimento flexible. Esta subrasante cumple con los requerimientos y no será necesaria estabilizarla.

2.8.1.3 El clima

El clima se toma en cuenta en aspectos constructivos, esto no influye en el diseño de la carretera o el pavimento.

2.8.2 Materiales a utilizar en cada capa

La buena selección de materiales en todas las capas que conforman el pavimento dará como resultado una elección, tanto técnica como económicamente, adecuada.

A continuación se detallan los materiales que se utilizan en las capas que forman el pavimento rígido y flexible, y las funciones de cada una de ellas.

2.8.2.1 Sub-base

Está constituida por una capa de material selecto o estabilizado, de espesor determinado, de acuerdo al diseño de la carretera y colocada directamente sobre la subrasante, (terracería previamente preparada). En casos especiales hay terracerías que se pueden usar como sub-bases.

Las principales funciones de la sub-base son:

- a. Transmitir y distribuir las cargas provenientes de la base.
- b. Servir de material de transmisión sobre la terracería y la base, así como de elemento aislador entre ellas; esta condición evitará contaminación de la base cuando la terracería contenga materiales muy plásticos. También es importante evitar que las mismas sub-bases sean contaminadas con esta misma clase de material, pues la humedad provoca en ellas cambios volumétricos, disminuyendo su resistencia al cambiar las características.
- c. Romper la capilaridad de la terracería y drenar el agua proveniente de la base hacia las cunetas. Es importante que la sub-base y la base, en su

sección transversal, sean interceptadas por las cunetas para que drenen fácilmente el agua.

- d. El trabajo de la sub-base consiste en la obtención, explotación, acarreo, tendido, humedecimiento, mezcla, conformación, y compactación del material sub-base. El control del laboratorio y operaciones, son necesarios para construir en una o varias capas una sub-base del espesor compactado requerido sobre la subrasante, previamente preparada y reacondicionada; todo de acuerdo con lo indicado en los planos, ajustándose razonablemente a los alineamientos horizontal, vertical y secciones típicas de pavimentación, dentro de las tolerancias estipuladas.

A. Materiales de sub-base

Consiste en materiales tipo granular, con las siguientes propiedades mínimas:

- Un valor soporte (CBR) del 30% sobre muestra saturada y compactada al 100% del proctor modificado.
- Un índice plástico (I.P.) no mayor de 9.
- Un límite líquido (L.L) no mayor de 40.
- Los materiales de sub-base deben ser de fácil compactación para alcanzar la densidad máxima determinada. En caso de que contengan gravas o rocas, éstas no deben de ser mayores de 2/3 del espesor de la sub-base y cuando su compactación resulte difícil, por falta de finos, pueden seguirse dos opciones: se les agregan finos, o si esta operación sale cara en valor

y/o trabajo, deben buscarse otros bancos de material que reúna las especificaciones.

Cuando existan opciones para el uso de varios bancos, dentro de los límites razonables de acarreo y/o calidad, se escogerá el que disponga de menor porcentaje de material que pase el tamiz No.200, que de mayor valor soporte (CBR) y menor índice plástico (IP).

Se debe tener muy en cuenta que un gran número de fallas en los pavimentos son debido a sub-bases que no llenan especificaciones, que han sido mal compactadas o se han contaminado por no haber contado con el adecuado drenaje, como también por falla de control de la subrasante.

B. Espesor de la sub-base

La sub-base puede tener un espesor variable compactado por tramos, esto depende de las condiciones y características de la subrasante existente, pero en ningún caso dicho espesor debe ser menor de 10 centímetros ni mayor de 70 centímetros.

C. Colocación y tendido

El material puede ser colocado por medio de volteo, en pilas, formando camellones o con máquina especial esparcidora.

El material de sub-base debe ser tendido en capas no mayores de 30 centímetros, ni menores de 10 centímetros; el material debe ser colocado en 2 o más capas no menores de 10 centímetros, no permitiéndose la colocación de la capa siguiente antes de comprobar la compactación de la capa inmediata

anterior. La distancia máxima a que puede ser colocado el material de sub-base, medida desde el extremo anterior cubierto con la base, no debe de ser mayor de 4 kilómetros.

D. Compactación

La determinación de la densidad máxima debe efectuarse por cada 2 000 metros cúbicos de material o cuando haya evidencia de que las características del material han cambiado o se inicie la utilización de un nuevo banco.

E. Ensayos de sub-base

- **Valor soporte:** se debe de efectuar un ensayo por cada 500 metros cúbicos, producidos al iniciar la explotación de cada banco, hasta llegar a 3 000 metros cúbicos colocados.
- **Granulometría:** se debe de efectuar un ensayo de granulometría por cada 500 metros cúbicos en los primeros 3 000 cúbicos producidos al iniciar la explotación de cada banco, seguidamente, se debe de efectuar un ensayo cada 3 000 metros cúbicos colocados de material.
- **Índice de plasticidad o equivalente de arena:** se debe de efectuar un ensayo por cada 3,000 metros cúbicos de material de sub-base colocado.
- **Porcentaje de tolerancia y compactación:** debe ser menor del 3% respecto al porcentaje de compactación especificado. Se debe efectuar un ensayo representativo por cada 400 metros cuadrados de cada una de las capas que se compactan.

- **Control de deflexión:** se debe controlar por medio de la viga Benkelman (método MS-17 de 1969, Instituto del Asfalto), el valor máximo de deflexión aceptable para la superficie de la capa de sub-base, no debe ser mayor de 2 pulgadas (50 milímetros), respecto a un punto dado a una distancia no mayor de 12 pies (3,68 metros) en cualquier dirección; esta prueba se debe efectuar por cada 400 metros cuadrados.

2.8.2.2 Bases

Están constituidas por una capa de material seleccionado de granulometría y espesor determinado, que ira sobre la sub-base.

Hay una gran variedad de bases que varían de acuerdo al tipo de pavimento y a criterio del ingeniero diseñador. Sus principales funciones y características son las siguientes.

- a. Transmitir y distribuir las cargas provenientes de las carpetas asfálticas.
- b. Servir de material de transición entre la sub-base y la carpeta asfáltica.
- c. Drenar el agua que se filtre a través de las carpetas y hombros hacia las cunetas.
- d. Ser resistentes a los cambios de temperatura, humedad y desintegración por abrasión producida por el tránsito.
- e. Tener mayor capacidad de soporte que las sub-bases.

Por la importancia que tiene la base en los pavimentos, se presentan algunas bases típicas:

a. Bases de grava o piedra triturada

Como su nombre lo indica, son bases de materiales provenientes de la explotación de minas de roca o de pedreras naturales. Piedras y gravas deben tener las siguientes características.

Tabla XII. Graduaciones de bases de grava o piedra triturada

Tamices No.	Porcentajes por paso que pasan tamices de malla cuadradas					
	Material clase "A" Graduación Gruesa		Material clase "B" Graduación Intermedia		Material clase "C" Graduación Fina	
	Grado A-1	Grado A-2	Grado B-1	Grado B-2	Grado C-1	Grado C-2
1 ½"	100		100		100	
1"		100		100	70-100	100
¾"					60-90	70-100
3/8"					45-75	50-80
No.4	20-40	25-45	25-55	30-60	30-60	35-65
No.10				20-50	20-50	25-50
No. 40					10-30	15-30
No. 200	0-10	0-10	0-12	0-12	5-15	5-15

Fuente: Joseph E. Bowles. Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil. p.238

En la tabla XII, se considera que los materiales hasta el tamiz No.4 son agregados gruesos, y los que pasan el tamiz No.4 son agregados finos; los que pasan el tamiz No.200 forman el relleno mineral. El material de relleno deberá estar libre de sustancias deletéreas o talcosas, poseyendo propiedades ligantes, tales que permitan una buena compactación y contribuyan a formar una capa de base bien ligada y densa.

Los agregados gruesos deberán tener un porcentaje de desgaste (abrasión) no menor del 50% a 500 revoluciones, según el método de Los Angeles; por otra parte un mínimo del 50% de las piedras deberán tener más del 20% de piedras delgadas o alargadas (se considera que tienen esta característica cuando su longitud es 5 veces mayor que el espesor promedio).

Los finos, juntamente con el agregado mineral, deberán tener un límite líquido menor de 25, un índice plástico menor de 9 y el porcentaje que pase el tamiz No.200 deberá ser igual o menor al que pasa el tamiz No.40.

En el caso que sea necesario agregar material de relleno, para ajustarse a los requisitos de graduación o para tener una cohesión satisfactoria del material, deberá mezclarse uniformemente todo el material de la base. Además de los requisitos anteriores, la base determinada debe tener un valor soporte (CBR) no menor del 80% sobre una muestra saturada y ser compactada al 100% del próctor modificado o cualquier otra compactación que el delegado residente indique.

b. Base de grava y suelo

Los materiales encontrados en este tipo de bases pueden encontrarse en estado natural o provenir de la mezcla de gravas con suelos, debiendo poseer las características que se indican en la tabla XIII.

Tabla XIII. Graduaciones, bases de grava y suelo

Tamices No.	Porcentaje en paso del material que pasa en tamices de malla cuadrada			
	TIPO A	TIPO B	TIPO C	TIPO D
2"			100	
1 1/2"			70-100	
1"	100	100	55-85	
3/4"		70-100	50-80	100
3/8"		50-80	40-70	
No.4		35-65	30-60	70-100
No.10	65-100	25-50	20-50	35-80
No.20	55-90			
No.40	35-70	15-30	10-30	25-50
No.200	8-25	5-15	5-15	8-25

Fuente: Luis Bañón Blázquez y José F. Beviá, Manual de Carreteras 2. p.53

c. Bases de arena-arcilla

Estas bases son mezclas que, debidamente proporcionadas, tienen considerable resistencia a la desintegración cuando han sido compactadas con la humedad óptima a su máxima densidad. En estas condiciones llegan a tener alto valor soporte, arriba del 80% de CBR. Para que mantengan estas características es necesario imprimirles inmediatamente después de construidas, colocándole posteriormente la carpeta de rodadura. Son consideradas muy buenas bases mientras mantengan sus características de máxima densidad y humedad óptima, pero muy deficientes al perder humedad más allá de límites razonables, pues se desintegran rápidamente y pierden de manera sensible su valor soporte.

Las bases deberán estar debidamente protegidas con buenos drenajes, subdrenajes y una carpeta de rodadura, resultan y su construcción es económica. En la tabla XIV se muestran los tipos de graduaciones.

Tabla XIV. Graduaciones, bases de arena-arcilla

Tamices No.	Porcentaje en peso del material que pase en tamices de malla cuadrada		
	TIPO A	TIPO B	TIPO C
10	100	100	100
40	40-80	40-80	40-80
80	25-65	35-40	20-40
	Porcentaje en peso		
Limo	7-20	8-15	9-18
Arcilla	3-20	9-20	12-22

Fuente: Luis Bañón Blázquez y José F. Beviá, Manual de Carreteras 2. p.58.

Otras características importantes que deben tener los materiales de las bases ya integradas son:

- Las arenas deben de ser duras, angulosas y preferentemente silíceas.
- Las arcillas deben ser de calidad uniforme y estar libres de terrones, materias vegetales y sustancias deletéreas.

d. Bases de suelo-cemento

Las mezclas de determinados suelos con cemento portland forman las bases de suelo-cemento. Igualmente que las bases de arena-arcilla, cuando han sido compactadas con la humedad óptima a su máxima densidad. Las

bases de suelo-cemento son altamente resistentes a la desintegración, llegando a tener un valor soporte (CBR) arriba del 80%; pero para mantener dicho valor, tienen que ser imprimadas antes que pierdan su humedad, posteriormente se les puede colocar la carpeta de rodadura.

Las bases de suelo-cemento no deben usarse como superficie de rodadura, porque no son capaces de resistir la acción directa del tránsito, aunque su textura superficial así lo aparente. En la tabla XV se indican graduaciones.

Tabla XV. Graduaciones, bases de suelo-cemento

Tamices No.	Porciento de paso del material que pase en tamices de malla cuadrada
3"	100
No.4	50-100
No.40	15-100
No.200	0-50
Límite líquido no mayor de	40
Límite líquido no mayor de	9

Fuente: Raúl Valle Rodas. Carreteras calles y aeropistas. p.142

A continuación se describen otras características y propiedades que las bases de suelo-cemento deben tener:

- Los suelos son susceptibles de usarse como elementos integrantes de esta clase de bases, siempre que pueda pulverizarse económicamente y no contengan más del 2% de materia orgánica; se pueden usar suelos procedentes de los cortes en las carreteras, de los bancos de préstamo y de la propia subrasante o de una mezcla de todos ellos.

- En cuanto a la cantidad de cemento, esta deberá ser determinada, después de efectuar las pruebas de laboratorio, para cada clase de suelo.
- La cantidad de agua en la mezcla será la necesaria para lograr la compactación óptima.
- Es recomendable que las bases de suelo-cemento, tengan un valor soporte CBR de más del 80%, un límite líquido (L.L.) menor del 40% y un índice plástico menor de 6.

2.8.2.3 Riego de capa o imprimación

Riego de imprimación, es la aplicación de material bituminoso líquido a la base que ha sido compactada con humedad óptima a su máxima densidad.

El material bituminoso penetra en la superficie y, por lo general, lo absorbe por completo.

El riego de imprimación sirve de diversos propósitos definidos. En primer lugar, sirve para mejorar la adhesión o liga entre la base y la superficie de rodamiento, esta es probablemente su función más importante. En segundo lugar, consolida la superficie sobre la cual se aplica el nuevo tratamiento, lo cual ayuda a mantener la integridad de la capa adyacente durante la aplicación o la construcción de algún tipo de superficie de rodamiento. En tercer lugar, puede funcionar hasta cierto punto como barrera para evitar que la humedad se eleve por capilaridad hasta la carpeta.

2.8.2.4 Carpeta de rodadura para un pavimento rígido

La carpeta de rodadura es proporcionada por losas de concreto hidráulico, las cuales distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores, por medio de toda la superficie de la losa que recibe las cargas directamente y de las adyacentes que trabajan en conjunto.

El pavimento rígido no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural. Aunque en teoría las losas de concreto hidráulico pueden colocarse en forma directa sobre la subrasante, es necesario construir una capa de subbase o base para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento al pasar los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla de la losa.

La sección transversal de un pavimento rígido está constituida por la losa de concreto hidráulico y la subbase, que se construyen sobre la capa subrasante. La construcción de ésta estará de acuerdo con los planos.

Las especificaciones para materiales del concreto son las siguientes:

a. Cemento *Portland*

Estos cementos deben ajustarse a las Normas AASHTO M 85, ASTM C 150 o COGUANOR NG 41005 para los cementos portland ordinarios, y a las normas AASHTO M 240, ASTM C 595 o COGUANOR NG 41001 y ASTM C 1157, para cementos hidráulicos Mezclados, debiendo indicarse su clase de resistencia en MPa o en lb/in².

En Guatemala se comercializan los cementos hidráulicos, asignándoles la clase de resistencia de 21, 28, 35 y 42 MPa (3 000, 4 000, 5 000 y 6 000 lb/in²), que corresponde a una resistencia mínima a 28 días en morteros de cemento normalizados AASHTO T 106, ASTM C 109 y COGUANOR NG 41003.h10.

b. Agregados

Deberán ser separados de acuerdo a su granulometría y además, si es necesario, lavados para quedar exentos de sustancias nocivas como limos o arcillas. Deberán tener una estructura sólida, y su densidad aparente deberá ser de entre 2,6 y 2,8 kg./m³.

Los agregados finos deben ser arena natural o manufacturada, compuesta de partículas duras y durables. El módulo de finura no debe ser menor de 2,3%, ni mayor de 3,1% ni variar en más de 0,20 del valor asumido al seleccionar las proporciones del concreto. Se determina de la suma de los porcentajes por masa acumulados, retenidos en los siguientes tamices de malla cuadrada 3", 1½", ¾", ⅜", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100 y dividida entre 100. La graduación del agregado debe estar dentro de los límites de la siguiente tabla (Tabla XVI).

Tabla XVI. Graduación de los agregados

TAMICES AASHTO M 92		PORCENTAJE EN MASA QUE PASA
9,500 mm	3/8"	100
4,750 mm	No.4	95-100
2,360 mm	No.8	80-100
1,180 mm	16	50-85
0,600 mm	30	25-60
0,300 mm	50	10-30
0,150 mm	100	2-10
0,075 mm	200	0- 5

Fuente: Dirección General de Caminos. Especificaciones Generales para Carreteras y Puentes. p.553

Los agregados gruesos: debe consistir en grava o piedra trituradas, trituradas parcialmente o sin triturar, procesadas adecuadamente para formar un agregado clasificado, que llene los requisitos establecidos en 551.04 (c), incluyendo los requisitos de desgaste o abrasión y la limitación de partículas planas y alargadas.

El porcentaje de partículas desmenuzables y de terrones de arcilla no debe exceder del 5% en masa, y el contenido de terrones de arcilla no debe ser mayor de 0,25 % en masa, cumpliendo con los requisitos de AASHTO M 80 y ASTM C 33. El porcentaje de partículas planas y de partículas alargadas, que su longitud sea mayor de 5 veces el espesor promedio, no debe sobrepasar de 15% en masa. La graduación del agregado grueso debe ser la siguiente (Tabla XVII).

Tabla XVII. porcentaje por peso que pasa por tamices

PORCENTAJE POR PESO QUE PASA POR TAMICES DE ABERTURA CUADRADA										
GRADUACIONES AASHTO M 80		63 mm (2 ½")	50 mm (2")	38,1 mm (1 ½")	25 mm (1")	19 mm (¾")	12,5 mm (½")	9,50 mm (¾")	4,75 mm (No. 40)	2,36 mm (No. 8)
N°7	12,5 a 4,75 mm	-	-	-	-	100	90-	40-70	0-15	0-5
N°67	(¾" a N°4) 19 a 4,75 mm	-	-	-	100	90-	100	20-55	0-10	0-5
N°57	(¾" a N°4) mm	-	-	100	95-	100	-	-	0-10	0-5
N°467	25 a 4,75 mm	-	100	95-	100	-	25-60	-	0-10	0-5
N°357	(1" a N°4) mm	-	100	100	-	35-70	-	10-30	0-5	-
<p>El material que pasa el tamiz 0,075 mm (N°200) no debe exceder de 1%, salvo el caso que consista de polvo de trituración, libre de arcilla, esquistos o pizamas, en cuyo caso, se podrá aceptar un límite máximo de 1,5%.</p>										

Fuente: Dirección General de Caminos. Especificaciones Generales para Carreteras y Puentes. p. 551

c. Calidad del concreto

Para pavimentos de carreteras y vías urbanas principales con un tránsito promedio diario anual mayor de 5 000 y con un tránsito pesado promedio diario arriba del 20%, debe usarse un concreto de clase 28 (4 000) o mayor, con una resistencia a la flexión AASHTO T97 (ASTM C78) promedio mínima de 4,5 MPa (650 psi) o mayor.

Se debe tener información sobre los materiales a usar, sus proporciones en masa, registros de ensayos de resistencia del concreto a 7 y 28 días y muestras de los materiales. Una mezcla podrá ser aprobada estando pendiente de resultados de ensayos de resistencia a 28 días sobre la base de los resultados de resistencia a 7 días, siempre que éstos sean iguales o excedan el

85% de la resistencia requerida a 28 días, sin usar acelerantes ni cementos de alta resistencia.

Las clases de concreto se indican en la tabla XVIII y se deben emplear de acuerdo a lo indicado en los planos y disposiciones especiales.

TABLA XVIII. Clases de concreto

CLASE DE CONCRETO	RESISTENCIA A 28 DIAS ⁽¹⁾	
	MPa	lb/in ²
42 (6 000)	42	(6 000)
38,5 (5 500)	38,5	(5 500)
35 (5 000)	35	(5 000)
31,5 (4 500)	31,5	(4 500)
28 (4 000)	28	(4 000)
24,5 (3 500)	24,5	(3 500)
21 (3 000)	21	(3 000)
17,5 (2 500)	17,5	(2 500)
14 (2 000)	14	(2 000)

(1) A menos que en las Disposiciones Especiales se estipule otra edad en días.

Fuente: Dirección General de Caminos. Especificaciones Generales para Carreteras y Puentes. Guatemala C.A. 2000, p. 554

d. Agua

Debe ser potable, limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, álcalis, azúcar, sales, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto. Puede usarse sin ensayos previos el agua proveniente de abastecimientos o sistemas de distribución de agua potable.

e. Relación agua cemento

(A/C) indica la relación en peso entre el agua y el cemento, y juega un rol de importancia en las propiedades del concreto. Un factor A/C entre 0,2% y 0,3% forma una pasta casi no utilizable en la práctica y con valores ascendentes, la lechada de cemento se va haciendo cada vez más fluida, llegando a tener una consistencia prácticamente acuosa con valores por encima de 1%.

En la tabla XIX se describen las relaciones agua cemento con un contenido máximo de agua y un mínimo de concreto.

Tabla XIX. Proporcionamiento del concreto con base en la relación agua/cemento máxima y del contenido de cemento mínimo

CONCRETOS SIN AIRE INCLUIDO

Clase de Concreto ⁽¹⁾	Relación agua/cemento máxima ⁽²⁾		Contenido de Cemento Mínimo. Sacos de 42,5 kg/m ³ de Concreto.
	Agua/Cemento	Litros/Saco	
14,0 (2 000)	0,71	30,0	6,5
17,5 (2 500)	0,62	26,5	7,0
21,0 (3 000)	0,58	24,5	7,5
24,5 (3 500)	0,53	22,5	8,0
28,0 (4 000) ⁽³⁾	0,44	19,0	8,5

Continuación de la tabla XIX

CONCRETOS CON AIRE INCLUIDO ⁽⁴⁾

Clase de Concreto ⁽¹⁾	Relación agua/cemento máxima ⁽²⁾		Contenido de Cemento Mínimo. Sacos de 42,5kg/m ³ de Concreto.
	Agua/Cemento	Litros/Saco	
14,0 (2 000)	0,58	24,5	7,5
17,5 (2 500)	0,53	22,5	8,0
21,0 (3 000)	0,49	21,0	8,5
24,5 (3 500)	0,44	19,0	9,0
⁽³⁾ ---	---	---	---

⁽¹⁾ Resistencia a compresión a 28 días, expresada en MPa (lb/in²).

⁽²⁾ La cantidad de agua requerida para el asentamiento o revenimiento queda fija y se varía la cantidad de cemento para cumplir con los requisitos de esta tabla.

⁽³⁾ Las proporciones para mezclas de mayor resistencia que las indicadas, deberán establecerse basadas en 551.11

(c).

⁽⁴⁾ El contenido de aire del concreto con aire incluido no debe sobrepasar los límites de 551.11 (e) (1).

Fuente: Dirección General de Caminos. Especificaciones Generales para Carreteras y Puentes.
p. 554

2.8.3 Diseño del pavimento

Existen diversos métodos de diseño de pavimentos que se pueden clasificar en dos categorías: analíticos y empíricos.

Los métodos analíticos se basan en la formulación de hipótesis previas, para posteriormente abordar cálculos de las tensiones y deformaciones producidas por las cargas del tránsito, y las generadas por las variaciones térmicas y climáticas, comparando los resultados obtenidos con los admisibles en cada caso.

Los métodos empíricos proporcionan, para cada combinación posible de los factores básicos de dimensionamiento, soluciones que se han obtenido por

acumulación de experiencias, sobre el comportamiento normal de los pavimentos, en tramos con tránsito real, tramos experimentales con tránsito especial o pistas de ensayos.

Los dos métodos se complementan mutuamente, ya que los métodos analíticos incorporan los resultados empíricos, tanto para elaborar los modelos de comportamiento del pavimento en los que se basan, como el posterior análisis de los resultados obtenidos en el cálculo.

Para este proyecto se analizaron las dos opciones en pavimento rígido y flexible, con el propósito de hacer una comparación económica y técnica, y luego, decidir cuál es el más recomendable. Se tomaron métodos empíricos para determinar los diferentes espesores. A continuación se da una explicación de cada uno de los métodos empleados y se presenta el cálculo del pavimento.

2.8.3.1 Diseño del pavimento flexible

Para diseñar el pavimento flexible se utilizaron dos métodos empíricos: el del Departamento Americano de Investigaciones Científicas sobre Carreteras (Highway Research Board) y el método de Mills.

2.8.3.1.1 Diseño del pavimento flexible utilizando los espesores recomendados por el Departamento Americano de Investigaciones Científicas sobre Carreteras (Highway Research Board)

Este diseño se basa en las características físicas y mecánicas del terreno. Utilizando los espesores recomendados por el departamento Americano de Investigaciones Científicas sobre Carreteras (Highway Research Board). Las cargas de los neumáticos utilizadas son de 4 500 kg, (10 000 lb), de acuerdo a esta carga se diseñan los espesores del pavimento. La clasificación sugerida por Highway Research Board es que los suelos se dividen en dos grandes grupos: granulares y finos, y se subdividen de la siguiente manera.

A-1. Grupo de los suelos formados por mezclas bien graduadas de grava, arena, limo y arcilla. Según su plasticidad son divididos en dos sub grupos:

A-1a. suelos plásticos.

A-1b. suelos no plásticos, o con muy poca plasticidad.

Cuando estos suelos están debidamente compactados presentan una buena capacidad soporte. Los suelos A-1a son buenos para sub-bases, y los A-1b, para bases.

A-2. Grupo que comprende los suelos granulares compuestos de grava, arena, limo y arcilla, pero con mayor cantidad de material fino que los suelos A-1. Estos suelos son subdivididos en:

A-2a. son aquellos que tienen poca plasticidad y predomina el material limoso.

A-2b. Son los que tienen plasticidad apreciable, predomina el material arcilloso.

Los suelos A-2a son semejantes a los A-3. Los suelos A-2b requieren una sub base granular cuando son susceptibles de saturarse de agua, pues pierden estabilidad cuando se hallan saturados.

A-3. Pertenecen a este grupo los suelos gravosos o arenosos y las mezclas de grava y arena sin material fino o con cantidades pequeñas de limo y arcilla. Son buenos para ser empleados como subbase o base cuando se hallan debidamente confinados y son permeables por su granulometría gruesa.

A-4. Suelos predominantemente limosos, con muy poca o ninguna cantidad de material grueso. Se dividen en dos subgrupos:

A-4. son suelos limosos no cohesivos y susceptibles de absorber agua por acción capilar. De ahí que se requiera un buen drenaje cuando se encuentran en zonas expuestas a heladas, pues el agua capilar, al congelarse, aumenta de volumen, y se hincha la masa del suelo ocasionando una posible rotura del pavimento.

- A-4-7 tienen suficiente cantidad de arcilla para darle cierta plasticidad, son susceptibles de ser afectados por la acción de heladas.
- A-5. Suelos limosos que son elásticos y semejantes a los anteriores. Su elasticidad se debe a presencia de material diatomáceo. Cuando tiene un porcentaje de arcilla son clasificados como A-5-7 semejantes a los A-4-7. Y los suelos A-5 son semejantes a los A-4.
- A-6. Suelos arcillosos con un alto contenido de material coloidal y muy plásticos. Cuando absorben o pierden agua, experimentan grandes cambios volumen y cuando están secos tienen una buena capacidad soporte, pero cuando se hallan saturados de agua son muy inestables. Su permeabilidad es prácticamente nula.
- A-7. Suelos arcillosos, algo elásticos, cuyo contenido de material coloidal no es elevado. Al igual que los anteriores, estos suelos sufren cambios perjudiciales de volumen bajo diferentes condiciones de humedad, y su estabilidad es casi nula cuando se hallan saturados de agua. Son suelos prácticamente impermeables.
- A-8. Suelos turbosos, muy elásticos e inestables. Deben ser desechados toda vez que sea posible, pues su capacidad soporte es prácticamente nula.

El Highway Research Board, basándose en la clasificación modificada descrita anteriormente, recomienda los espesores para la subbase, base y capa de rodamiento mostrados en la tabla XX.

Tabla XX. Diseño de espesores (espesores recomendados para cargas por rueda de 4 500 kg (10 000 lb))

Clasificación del material del terreno de fundación	A-1b No plástico	A-1a plástico	A-2a No plástico	A-2b plástico	A-3	A-4 A-4-7	A-5 A-5-7	A-6	A-7
capa de rodamiento	5	5	5	5	5	5	5	5	5
base	0	13	13	15	13	20	20	20	20
subbase	0	0-30	0	0-30	0	5-40	10-40	0-14	0-14
espesor total	5	18-53	18	20-50	18	30-60	36-60	25-60	25-60

Nota: los espesores anteriores están dados en centímetros

Fuente: Miguel Ángel del Val Melus. Ingeniería de carreteras. p. 228

Si el terreno de fundación está formado por suelos A-2a y A-3, de granulometría fina, es necesario mezclar la capa superior, unos 30 cm Aproximadamente, con material ligante (arcilla o material bituminoso), para que la base se encuentre sobre una superficie más estable.

El espesor máximo indicado para sub-base a colocarse sobre suelos A-4, A-4-7, A-5 y A-5-7 deberá emplearse únicamente cuando haya peligro de heladas, o cuando el nivel de las aguas subterráneas se encuentre cerca (< 1m) de la superficie. En caso contrario deberá emplearse los espesores mínimos indicados.

Cuando el nivel de aguas subterráneas se encuentre a una profundidad tal, que no constituya un peligro para la estabilidad del terreno, los suelos A-6 y A-7 no necesitaran sub-base. El espesor máximo se requerirá únicamente en caso de que el nivel de la capa freática se encuentre cerca de la superficie.

pesadas. Para diseñar la estructura del pavimento el peso máximo de los vehículos es de mayor importancia que el número de estos, ya que un vehículo de transporte pesado puede causar más daño a un pavimento que varios vehículos de transporte ligero; sin embargo, el número de aplicaciones de una carga tiene efectos, y por esta razón se clasifica el tránsito en volumen y peso, como se muestra en la tabla XXI.

Tabla XXI. Tránsito total durante 24 horas

CLASIFICACIÓN TRÁNSITO	No. TOTAL DE VEHÍCULOS	CAMIONES Y AUTOBUSES	CAMIÓN PESADO	CARGA DE DISEÑO (lb.)
Pesado	3 000 min.	700 min.	150 min.	14 000
Medio	1 000 – 3 000	250 - 700	50 - 150	12 000
Liviano	1 000 máx.	250 máx.	50 máx.	10 000

18 000 a 24 000 lb. por eje

Fuente: Miguel Ángel del Val Melus. Ingeniería de carreteras. p. 235

El tránsito que usará el pavimento puede estimarse con base en los conteos actuales y por la actividad del área que servirá el camino. En este caso se clasifica el tránsito como liviano, ya que el tránsito promedio diario actual del camino existente es aproximadamente de 90 vehículos, con un tránsito pesado menor al 10%.

b. Determinar el tipo de material a utilizar en la sub-base, base y carpeta de rodadura

El espesor total de la estructura del pavimento, la clase de capa de superficie y la cualidad de los materiales deberán variar para ajustarse a las condiciones del tránsito, tratando de utilizar los espesores mínimos admisibles por razones económicas.

En la tabla No. XXII se muestran las clases de carpeta de rodadura y sus espesores mínimos recomendados, según la clasificación del tránsito.

Tabla XXII. Clasificación del tránsito

Clasificación del tránsito	Clase de capa de superficie	Espesor mínimo (in)	Observaciones
PESADO	Concreto asfáltico (Planta caliente).	3,0	Dos capas de adherencia, 2 in.
	Macadam de penetración.	3,0	Muy duro pero tan lleno como en el concreto asfáltico.
MEDIO	Concreto asfáltico (Planta caliente).	2,0	Una capa.
	Macadam de penetración.	2,5	Muy duro pero no tan lleno como el concreto asfáltico.
	Mezcla fría.	2,5	Puede ser mezcla en planta o en camino, debe ser airado.
	Tratamiento superficial y mezcla caliente en planta.	2,0	Primera capa del tratamiento superficial. Agregado de 1", segunda capa de mezcla caliente en planta.
LIVIANO	Concreto asfáltico (Planta caliente).	1,0	Una capa.
	Doble tratamiento superficial.	1,0	Usando agregado de 1" en la primera capa y agregado de 1,5" en la segunda capa.
	Mezcla fría	1,5	Puede ser mezcla en planta o en camino. Debe ser airado.

Fuente: Miguel Ángel del Val Melus. Ingeniería de carreteras. P. 238

Los materiales de la capa de base también varían con las condiciones del tránsito, cerca de las ruedas son mucho mayores las cargas que se deben resistir producidas por el tránsito que a una mayor profundidad (la distribución de las cargas puede considerarse en forma de un cono con pendiente de 45 grados), por esto se requiere un espesor mínimo de material para cada capa.

Esta capa podría ser enteramente de mezcla asfáltica o macadam bituminoso o hidráulico, que son de los materiales de más alta calidad para bases, pero como ya se mencionó, por razones de economía, son construidas lo más delgadas posibles y con materiales más baratos que satisfagan las necesidades dadas del tránsito y las limitaciones de construcción.

En la tabla XXIII, se muestran las especificaciones y espesores mínimos para bases estabilizadas o de mezcla de agregados, según el tipo de tránsito.

Tabla XXIII. Bases estabilizadas o mezcla de agregados

Clasificación del tránsito	Especificación para materiales AASHTO M-147	Espesor mínimo (in)	CBR mínimo 55 golpes	L.L. máximo	I.P. máximo
PESADO	Columnas A o B	8	90	25	6
MEDIO	Columnas A, B, C o D	7	75	26	7
LIVIANO	Columnas A, B, C, D, E, F	6	60	27	8

Fuente: Miguel Ángel del Val Melus. Ingeniería de carreteras. P. 242

Para la carpeta de rodadura se utilizará concreto asfáltico, para la sub-base, material granular con un $CBR \geq 30$ y un índice de grupo = 0, y una base granular.

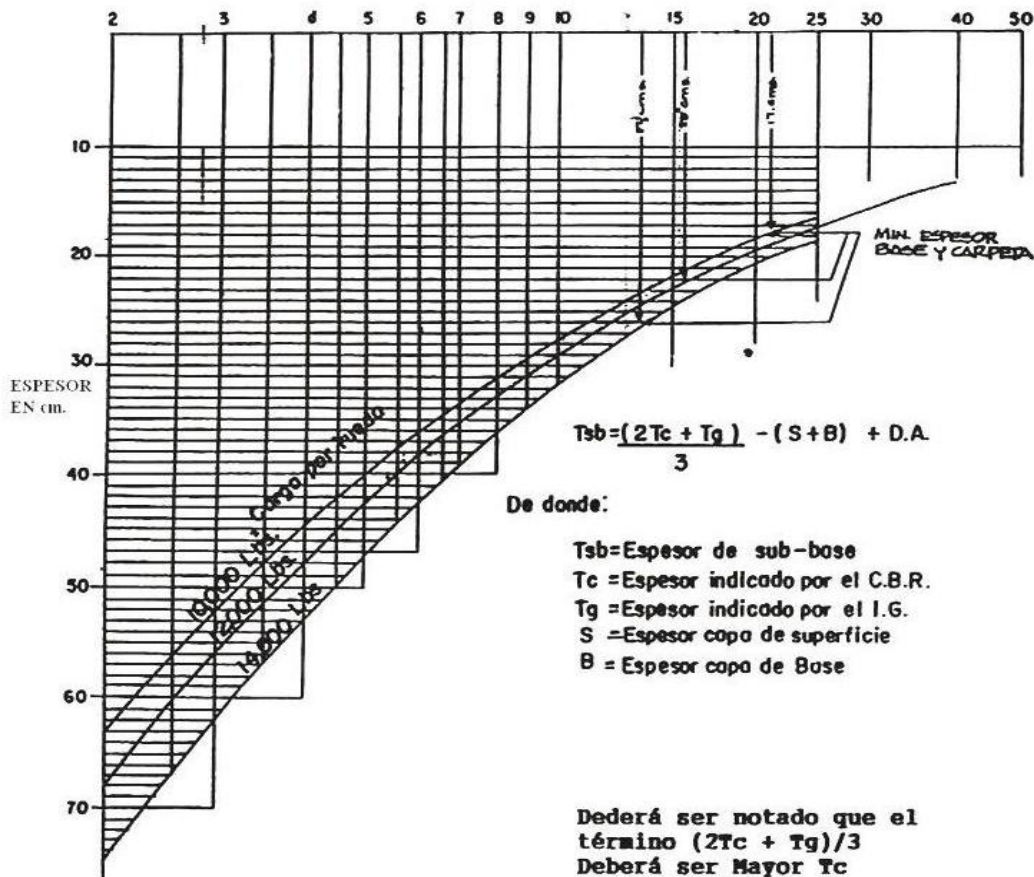
c. Determinar el espesor indicado por el CBR (T_c)

La determinación del espesor en este método incluye el espesor indicado por el CBR y el índice de grupo (IG). El CBR sobre el cual se determina el

espesor está basado en la densidad correspondiente a la subrasante. Los suelos que tienen un CBR muy bajo son tan débiles que requieren de precauciones especiales como cubrirlos con un mejor material de buena graduación y con algún contenido de arcilla, estabilizar el suelo, espesores mayores de subbase y base, y proporcionar el mejor drenaje.

Para determinar el espesor indicado por el CBR (T_c) se utilizó un 12%, según los ensayos de suelos realizados. Según la figura 8 se tiene un espesor igual a 24 cm.

Figura 8. Espesor indicado por el CBR FLEXIBLE EN FUNCIÓN DE CBR E INDICE DE GRUPO

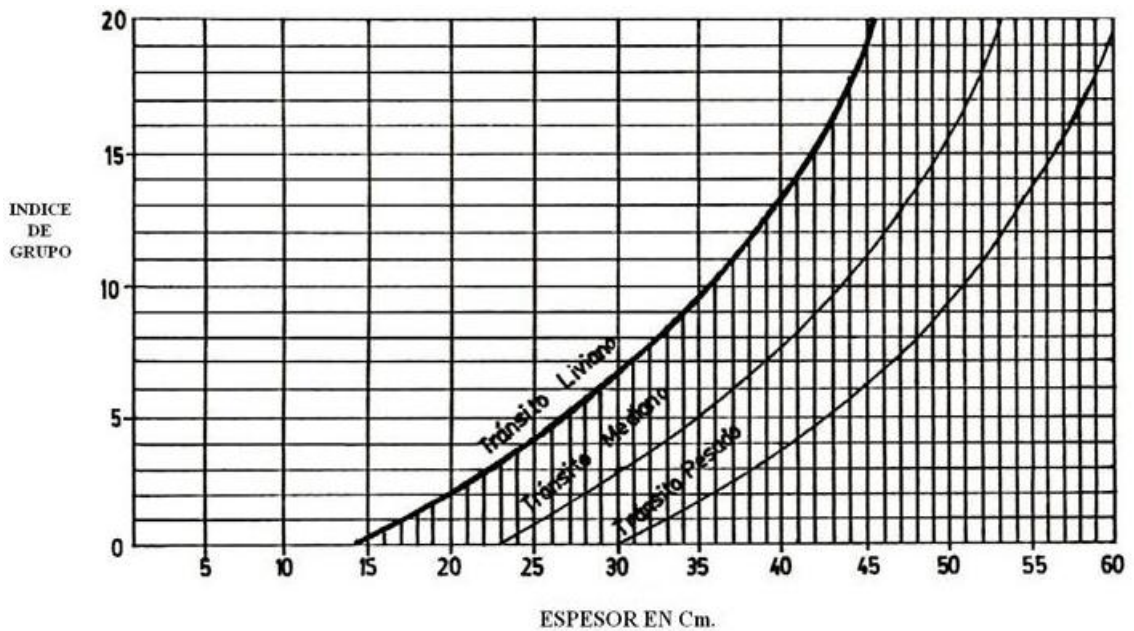


Fuente: Miguel Ángel del Val Melus. Ingeniería de carreteras. p. 246

d. Determinar el espesor indicado el índice de grupo (Tg)

Para un índice de grupo $IG=0$ se tiene un espesor indicado por el índice de grupo (Tg) igual a 14 cm, según la figura 9

Figura 9. Espesor indicado por el índice de grupo (IG)



Fuente: Miguel Ángel del Val Melus. Ingeniería de carreteras. p. 248

e. Determinar el espesor extra de la subbase por mal drenaje

El margen para un mal drenaje consiste en un espesor extra de subrasante, para incrementar la profundidad de la distribución de carga en estas áreas críticas y así decrecer la intensidad transmitida a la subrasante. Esta adición no es considerada necesaria porque nuestra subrasante está compuesta de material de alta estabilidad y en la carretera existe un buen drenaje del agua, por tratarse de una región montañosa.

f. Determinar el espesor del pavimento

Con la clasificación del tránsito hecha anteriormente (liviano), se pueden escoger los espesores mínimos para la carpeta de rodadura y la base, figura 8 y figura 9 respectivamente, y calcular el espesor de la subbase con la siguiente fórmula. $T_{sb} = \frac{2T_c + T_g}{3} - (S + B) + DA$

$$3$$

En donde:

T_{sb} = espesor de subbase

T_c = espesor indicado por CBR = 24 cm

T_g = espesor indicado por IG = 15

S = espesor de capa de superficie

B = espesor de capa de base

DA = espesor extra de subbase por mal drenaje = 0

Si $T_{sb} = \frac{2T_c + T_g}{3} \leq T_c$, entonces se sustituye por T_c .

$$3$$

$$\frac{2T_c + T_g}{3} = \frac{2 \cdot 24 + 15}{3} = 21 \text{ cm}$$

Suponiendo los valores mínimos de $S = 2,54$ cm y $B = 15,24$ cm, y como la igualdad cumple se sustituye 21 cm.

$$T_{sb} = 21 - 2,54 - 15,24$$

$$T_{sb} = 3,22 \text{ cm}$$

Como el espesor mínimo de una subbase es de 10 cm, se tomará este valor ya que el calculado es menor $T_{sb} = 10$ cm. Entonces, se tiene un diseño

de pavimento de 10 cm de espesor de subbase, 15,25 cm (6 in.) de espesor de base y un espesor de carpeta de rodadura de 2,54 cm (1 in.).

Por seguridad, se tomarán los valores de diseño del pavimento flexible, utilizando los espesores recomendados por el Departamento Americano de Investigaciones Científicas sobre Carreteras (Highway Research Board). El diseño final del pavimento flexible es:

Espesor de subbase = 10 cm

Espesor de base = 20 cm

Espesor de carpeta de rodadura = 5 cm

2.8.3.2 Diseño del pavimento rígido

2.8.3.2.1 Diseño del pavimento rígido utilizando el método simplificado de la PCA

La Asociación del Cemento *Portland* (PCA) ha desarrollado dos métodos para determinar el espesor de losa, adecuada para soportar las cargas de tránsito en las calles y carreteras. Estos son: el método de capacidad, utilizado cuando se cuenta con la información detallada de los datos de carga por eje de los vehículos que transitan por la carretera, obtenidos de estaciones representativas, de peso de camiones, y el método simplificado, que se utiliza cuando no es posible obtener datos de carga por eje.

Acá, se utilizará el método simplificado para el diseño de espesores del pavimento ya que no es posible obtener información de carga por eje del tránsito.

Para este método la PCA ha elaborado tablas de diseño simples, basadas en distribuciones compuestas de carga de eje, que representan diferentes categorías de carreteras y tipos de calles.

Estas tablas han sido elaboradas contemplando el valor de carga estática por eje, ya que los esfuerzos producidos por un eje en movimiento, son menores que los ocasionados cuando el mismo eje está detenido, pues hacen falta períodos considerables de tiempo (hasta cinco minutos, según lo observado en el ensayo de Arlington) para que el esfuerzo producido por un eje estático alcance su máximo valor.

El factor de seguridad (FS) por el cual deben multiplicarse las cargas nominales de ejes son 1, 1,1, 1,2 y 1,3, respectivamente, para las cuatro categorías de eje de carga: 1, 2, 3 y 4. Ver tabla XXIV.

Tabla XXIV. Categorías de carga por eje

Carga por eje categoría	Descripción	Tráfico			Máxima carga por eje, KIPS	
		ADT	ADTT		Eje sencillo	Eje tandem
			%	por día		
1	Calles residenciales, carreteras rurales y secundarias (bajo a medio).	200 a 800	1-3	arriba de 25	22	36
2	Calles colectoras, calles rurales y secundarias (altas), carreteras primarias y calles arteriales (bajo).	700 a 5 000	5-18	de 40 a 1 000	26	44
3	Calles arteriales y carreteras primarias (medio), supercarreteras interestatales urbanas y rurales (bajo a medio).	3 000 a 12 000; 2 carriles. 3 000 – 50 000; 4 carriles o más	8-30	de 500 a 5 000	30	52
4	Calles arteriales, carreteras primarias, supercarreteras (altas), interestatales urbanas y rurales (medio a alto).	3 000 – 20 000; 2 carriles	8-30	de 1 500 a 8 000	34	60

Fuente: Miguel Ángel del Val Melus. Ingeniería de carreteras. p. 254

Las variables de diseño para un pavimento de concreto son el número y los pesos de carga por eje, que pasan por él, durante el período de diseño. Por lo tanto, se debe tener una estimación del tránsito promedio diario (TPD), en ambas direcciones, de todos los vehículos, y del tránsito promedio diario de camiones (TPDC), en ambas direcciones y en porcentaje con respecto al TPD. Esta información se obtiene con contadores especiales de tránsito o cualquier método de conteo de tránsito.

El tránsito futuro, tiene considerable influencia en el diseño, por lo que la razón de crecimiento es afectada por factores como el tránsito desarrollado; todos estos factores pueden causar razones de crecimiento anual del 2 al 6%, que corresponden a factores de proyección de tránsito a 20 años de 1,2 a 1,8. Las tablas se encuentran especificadas para un período de 20 años. Para otros períodos de diseño, las estimaciones del tránsito se multiplican por un factor apropiado para tener un valor ajustado para usar las tablas. Por ejemplo, si se utiliza un período de 30 años en lugar de 20, la estimación del valor del TPDC permisible es multiplicado por el factor 30/20.

El diseño final de pavimento rígido, según el método simplificado de la P.C.A., se resume en los siguientes pasos:

a. Determinar la categoría de la carretera

Para ello es necesario obtener información del tránsito promedio. La tabla XIV, se muestran las diferentes categorías de carreteras según el tráfico. La carretera es categoría 1, ya que se trata de una carretera rural.

b. Determinar el tipo de junta para el pavimento

El espacio entre juntas longitudinales no debe exceder de 12,5 pies (3,81 m). Las juntas transversales deben ir a un espacio de intervalo regular de 15 pies (4,6 m) o menos, a excepción de aquellos casos en que la experiencia local indique un espaciamiento más largo.

Todas las juntas de contracción deben ser continuadas hasta la orilla y deben tener una profundidad igual a $\frac{1}{4}$ del espesor del pavimento. Las juntas de expansión deben llenarse hasta la profundidad requerida. Para carreteras de categoría 1 se puede utilizar juntas de trabe por agregado.

En este proyecto se utilizarán juntas transversales a cada 3 m y la junta longitudinal se encuentra a un espacio de 2,50 m, según la sección típica de la carretera tipo “E” de la Dirección General de caminos.

c. Determinar si la carretera lleva hombros o bordillo

La carretera utilizará hombros según la sección típica “E” de la Dirección General de Caminos.

d. Determinar el módulo de ruptura del concreto

Debido al paso de vehículos sobre las losas de concreto, se producen esfuerzos de flexión y compresión. Los esfuerzos de compresión son tan mínimos que no influyen en el grosor de la losa. En cambio los esfuerzos de flexión son mucho mayores, y por eso son usados para el diseño de espesores de los pavimentos rígidos.

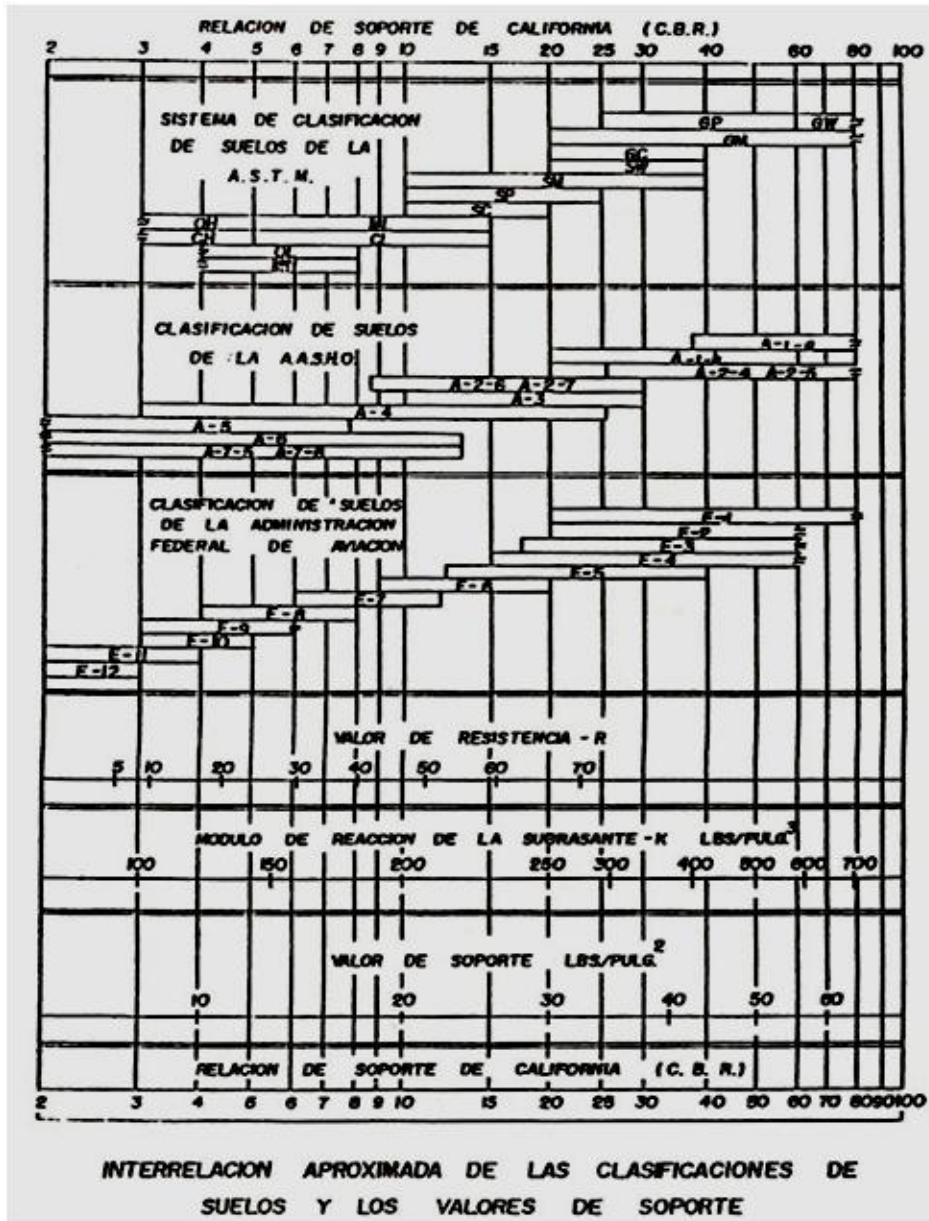
La fuerza de flexión está determinada por el módulo de ruptura del concreto (MR), el cual está definido como el esfuerzo máximo de tensión en la fibra extrema de una viga de concreto. La resistencia a tensión del concreto es relativamente baja, está entre el 10 y el 20% de su resistencia a la compresión.

El concreto utilizado será de clase 24,5 (3 500) con una resistencia a compresión promedio mínima de 24,5 MPa = 3 500 psi y un módulo de ruptura de 550 psi. Se utilizan estos valores de resistencia a la compresión y a la flexión pues la carretera tiene un tránsito promedio diario menor a 5 000 vehículos, por lo que no es necesario utilizar una resistencia mayor para él.

e. Determinar el módulo de reacción (k) de la subrasante

El módulo de reacción del suelo, se determina cuando se usan bases granulares y bases de suelo cemento, factor importante en el diseño de espesores del pavimento; se determina por medio del tipo de suelo y del índice de CBR, ver figura 10.

Figura 10. Módulo de reacción de la sub rasante



Fuente: Raúl Valle Rodas. Carreteras calles y aeropistas. p. 328

Utilizando un CBR = 12, según los resultados de análisis de suelos, para una compactación aproximada al 95%, se obtiene un módulo de reacción de la subrasante $k = 200 \frac{lb}{in^3}$

f. Determinar si se utilizará base

También son necesarios los esfuerzos combinados de la subrasante y base, ya que mejoran la estructura de un pavimento. En la tabla XV se muestra el aumento en el módulo de reacción de la subrasante al incluir una base granular.

Tabla XXV. Valores de k para diseño sobre bases granulares (de PCA)

Valor de K de la subrasante lb/in ³	Valor de K sobre la base LBS/IN ³			
	Espesor 4 in	Espesor 6 in	Espesor 9 in	Espesor 12 in
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

Fuente: Raúl Valle Rodas. Carreteras calles y aeropistas. p.334.

Se utilizará una base granular no tratada de 10 cm. Esto aumentará el módulo de reacción K a $220 \frac{lb}{pu\lg^3}$.

g. Determinar el valor soporte del suelo

Se determina que el valor soporte del suelo es alto, por medio del módulo de reacción k. Ver tabla. XXVI.

Tabla XXVI. Tipos de suelos de subrasante y valores aproximados de k

TIPOS DE SUELO	SOPORTE	RANGO DE VALORES DE K PCI
Suelos de grano fino en el cual el tamaño de partículas de limo y arcilla predominan.	Bajo	75-120
Arenas y mezclas de arena con grava, con una cantidad considerada de limo y arcilla.	Medio	130-170
Arenas y mezclas de arena con grava, relativamente libre de finos.	Alto	180-220
Subbase tratada con cemento.	Muy alto	250-400

Fuente: Raúl Valle Rodas. Carreteras calles y aeropistas. p. 335

h. Determinar el espesor de la losa de concreto

Tomando en cuenta todos los factores anteriores: tránsito, sección típica de la carretera, módulo de reacción del suelo y módulo de ruptura del concreto, se determina el espesor de la losa según la tabla XXVII.

El espesor de la losa de concreto será de $5,5'' = 13,97$ cm. Por seguridad se especifica un espesor de losa de 15 cm.

Tabla XXVII. TPDC permisible, carga por eje categoría 1
Pavimentos con juntas de trave por agregado (no necesita dovelas)

Sin hombros de concreto o bordillo					Con hombros de concreto o bordillo			
Espesor de losa (in)		Soporte subrasante sub-base			Espesor de losa (in)	Soporte subrasante sub-base		
		Bajo	Medio	Alto		Bajo	Medio	Alto
Módulo de rotura de 650 PSI	4,5			0,1	4,0		0,2	0,9
	5,0	0,1	0,8	3,0	4,5	2,0	8,0	25,0
	5,5	3,0	15,0	45,0	5,0	30,0	130,0	330,0
	6,0	40,0	160,0	430,0	5,5	320,0		
	6,5	330,0						
Módulo de rotura de 600 PSI	5,0		0,1	0,4	4,0			0,1
	5,5	0,5	3,0	9,0	4,5	0,2	1,0	5,0
	6,0	8,0	36,0	98,0	5,0	6,0	27,0	75,0
	6,5	76,0	300,0	760,0	5,5	73,0	290,0	730,0
	7,0	520,0			6,0	610,0		
Módulo de rotura de 550 PSI	5,5	0,1	0,3	1,0	4,5		0,2	0,6
	6,0	1,0	6,0	18,0	5,0	0,8	4,0	13,0
	6,5	13,0	60,0	160,0	5,5	13,0	57,0	150,0
	7,0	110,0	400,0		6,0	130,0	480,0	
	7,5	620,0						

Fuente: Aurelio Salazar Rodríguez. Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos.
p. 149

Entonces el diseño final del pavimento rígido es:

Espesor de base = 10 cm

Espesor de carpeta de rodadura = 15 cm

2.9 Drenajes

El objetivo fundamental del drenaje, es la eliminación del agua o humedad que en cualquier forma pueda perjudicar la carretera; esto se logra evitando que el agua llegue a ella o bien dando salida a lo que, inevitablemente, le llega. Los daños ocasionados por el agua encarecen el costo de la construcción y el mantenimiento, y a veces interrumpen el tránsito.

El cuidado en el estudio no sólo es aplicable a cruces de grandes ríos, sino para cualquier obra de drenaje, por pequeña que sea; pues el drenaje menor, es el que regula la vida de la carretera. El peor enemigo de una carretera es el agua no controlada.

El drenaje por ser tan importante en la construcción de una carretera se le ha denominado también como obras de arte, clasificándose de la siguiente forma:

Obras de arte

- a. Transversal
 - Puentes
 - Alcantarillas
 - Bóvedas
- b. Longitudinales
 - Cunetas
 - Contracunetas
- c. Subdrenaje
 - Tubería perforada
 - Drenaje francés

d. Obras de protección

- Muros
- Revestimientos
- Desarenadores
- Disipadores de energía

Para determinar la necesidad de obras de arte en la carretera como puentes, alcantarillas, bóvedas, cunetas y contracunetas, lo más recomendable es realizar una inspección de campo, ubicando con exactitud los puntos donde será necesario colocar los drenajes.

En la inspección de campo se deberá de anotar todos los pasos de agua existentes con sus coordenadas, y anotar la creciente máxima (visual), las condiciones del lecho (ancho, angosto, rocoso, arenoso, piedra suelta y tamaño), la vegetación de la cuenca (clase de cultivos, monte bajo o alto, y bosque), el esviaje con respecto de la carretera, los parámetros cuantificables como longitud, perímetro, área y un dibujo con la forma del lecho y socavación donde el paso del agua provoca erosión.

2.9.1 Drenaje longitudinal

Las cunetas son canales abiertos que se calculan por el método de Manning. Se colocan paralelamente a uno o ambos lados del camino. Sirven para evacuar el agua que cae en la sección de corte en una carretera; en pendientes fuertes se deben proteger de escurrimiento y acción destructiva del agua, por medio de disipadores de energía.

Las cunetas pueden tener diferentes formas y dimensiones. Para este proyecto se utilizará una sección transversal triangular con un ancho de 0,50

metros, talud del lado de la corona de 0,50 metros y talud del otro extremo de 0,30 metros.

Contra cunetas: son canales destinados a evitar que el agua llegue a los taludes y cauce deslizamientos o derrumbes en los cortes de la carretera. La contra cuneta deberá colocarse en la parte más alta del talud, a una distancia no menor de 2 metros de la orilla, tomando en cuenta el tipo de suelo existente en el área, para evitar derrumbes.

Este tipo de drenaje longitudinal sirve para mantener lejos el agua del camino, o bien, que el agua escurrida no llegue a él. Se diseñó este proyecto con cortes de prevención de derrumbes en los taludes, que sirven como contracunetas, en los planos de detalle se puede observar la sección típica.

Bombeo de la superficie: el bombeo sirve para evacuar el agua hacia las cunetas, para que no corra longitudinalmente sobre la superficie.

El bombeo es la pendiente que se le da al camino, para evitar que el agua de lluvia se estanque en la superficie y ocasione problemas de infiltración en las capas de subbase y subrasante, provocando saturación del terreno y ablandándolo, lo cual generaría daños al pavimento.

El bombeo utilizado en caminos pavimentados varía desde 0,5 % a 3%, en este proyecto se utilizó un bombeo de 3%.

2.9.2 Drenaje transversal

Son tuberías que se colocan para aliviar el agua que viene de las cunetas o de arroyos. Se encuentran a lo largo de la carretera, son necesarias en tramos de corte y sirven para conducir agua al otro lado de la carretera.

Se compone de las siguientes partes: caja recolectora de caudal, que recibe el agua proveniente de la ladera de la carretera para trasladarla a la tubería; muro cabezal de salida, protege la tubería y el relleno de la carretera para que no se erosione y si la pendiente del terreno en corte es muy fuerte, se colocan, adicionalmente, disipadores de energía al final de la tubería que servirán para que el agua que desfoga no erosione el suelo y provoque hundimientos. En los planos se encuentran las secciones típicas de los drenajes transversales a utilizar.

Para el cálculo del caudal con el que se diseñan los drenajes transversales se utilizó el método racional, donde se asume que el caudal máximo, para un punto dado, se alcanza cuando el área tributaria está contribuyendo con su escorrentía superficial, durante un período de precipitación máxima. Para lograr esto, la tormenta máxima (de diseño) debe prolongarse durante un período igual o mayor que el que necesita la gota de agua más lejana, para llegar hasta el punto considerado (tiempo de concentración). Las fórmulas a utilizar son las siguientes:

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

En donde:

Q = caudal de diseño en m³/s

A = área drenada de la cuenca en hectáreas

I = intensidad de lluvia en mm/hora

C = coeficiente de escorrentía

Se consideró para el diseño, utilizar alcantarillas de concreto con sección interior circular de 36", llevara una caja con muro cabezal en la entrada y muro cabezal en la salida, siendo de mampostería de piedra bola.

2.10 Elaboración de planos del proyecto

Se elaboraron los siguientes planos

- a. **Planta de conjunto:** contiene la planta general del proyecto.
- b. **Planta – perfil:** dibujo de la planta y el perfil de la carretera, indicando la geometría (curvas horizontales y verticales, pendientes, anchos, etc.), localización de drenajes y cunetas, curvas de nivel y estructuras existentes.
- c. **Secciones transversales:** se dibujaron las áreas de las secciones transversales cada 20 m.
- d. **Tablas y detalles:** se dibujaron los detalles de drenaje y de los pavimentos, rígido y flexible, las cunetas y el corte de taludes. se incluyeron las tablas de resumen de volúmenes de corte y relleno, y localización de drenajes y cunetas.

2.11 Presupuesto

Para el cálculo del presupuesto se consideran los siguientes rubros. Mano de obra, materiales, maquinaria, combustible, transporte de materiales y

factores de gastos indirectos como utilidad, administración e impuestos. Además, se tomaron en cuenta los dos tipos de pavimentos, rígido y flexible.

2.11.1 Integración de presupuesto

Primero, se integraron los costos por renglón para determinar el costo unitario, se realiza con base a rendimientos, precios de materiales, mano de obra local, equipo, herramienta y maquinaria, aplicando factores como mano de obra indirecta, imprevistos, prestaciones, etc.

Tabla XXVIII. Costo total de la carretera utilizando pavimento rígido

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	U	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Replanteo topográfico	3,22	Km	Q3 991,64	Q12 853,08
Limpia, chapeo y destronque	1,77	Ha	Q10 000,00	Q17 700,00
Relleno compactado	11 406,00	m ³	Q34,00	Q387 804,00
Excavación no clasificada	151 356,00	m ³	Q31,00	Q4 692 036,00
Reacondicionamiento subrasante	32 207,80	m ²	Q10,00	Q322 078,00
Base espesor compactado, 10 cm	2 608,20	m ³	Q298,33	Q778 104,30
Carpeta de rodadura 15 cm. concreto	3 381,00	m ³	Q2 037,00	Q6 887 097,00
Cunetas revestidas	6 441,56	M	Q129,02	Q831 090,00
Mampostería de piedra cabezales y cajas	156,80	m ³	Q737,34	Q115 614,91
Alcantarillado de diámetro 36" de concreto	95,40	M	Q283,00	Q26 998,20
Monumentos de kilometraje	6,00	Unidades	Q300,00	Q1 800,00
Señalización preventiva	20,00	Unidades	Q550,00	Q11 000,00
			TOTAL	Q14 084 175,49

Fuente: elaboración propia trabajo de campo 2011.

Tabla XXIX. TPDC. Costo total de la carretera utilizando pavimento flexible

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	U	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Replanteo topográfico	3,22	Km	Q3 991,64	Q12 853,08
Limpia, chapeo y destronque	1,77	Ha	Q10 000,00	Q17 700,00
Relleno compactado	11 406,00	m ³	Q34,00	Q387 804,00
Excavación no clasificada	151 356,00	m ³	Q31,00	Q4 692 036,00
Reacondicionamiento subrasante	32 207,80	m ²	Q10,00	Q322 078,00
Sub base espesor compactado 10 cm.	2 608,20	m ³	Q187,86	Q489 976,45
Base espesor compactado 20 cm.	5 216,40	m ³	Q288,63	Q1 505 609,53
Carpeta de rodadura 5 cm., concreto asfáltico	885,73	T	Q1 200,00	Q1 062 877,20
Riego de imprimación	17 714,29	Gal	Q30,00	Q531 428,70
Cunetas revestidas	6 441,56	M	Q129,02	Q831 090,00
Mampostería de piedra cabezales y cajas	156,80	m ³	Q737,34	Q115 614,91
Alcantarillado de diámetro 36" de concreto	95,40	M	Q283,00	Q26 998,20
Monumentos de kilometraje	6,00	Unidades	Q300,00	Q1 800,00
Señalización preventiva	20,00	Unidades	Q500,00	Q11 000,00
			TOTAL	Q10 008 866,07

Fuente: elaboración propia trabajo de campo 2011.

En las dos tablas anteriores se muestran los presupuestos integrados para pavimento rígido y para pavimento flexible. Se presentaron las dos opciones para saber cuál era la más factible de construcción, tanto técnica como en construcción. En este caso la opción más económica en la construcción, es la de pavimento flexible, que tiene un costo total de 10 008 866,07 comparada con el costo total del pavimento rígido que es de 14 084 175,49 sin embargo, el costo del pavimento flexible, sólo es un 0,20% más barato que el pavimento rígido y tomando en cuenta el mantenimiento que se le debe de dar a lo largo de su vida útil, resulta muy costoso, ya que el pavimento de concreto requiere menor mantenimiento. Por lo tanto, se recomienda construir el pavimento rígido, pues es la mejor opción económica y técnica.

CONCLUSIONES

1. Como resultado del diagnóstico sobre necesidades básicas, realizado en el caserío Rustrián, se concluyó que una carretera, mejorará las condiciones de vida de los comunitarios.
2. Para la rehabilitación y mejoramiento de la carretera, se seleccionó una sección típica “E”, de las especificaciones para carreteras de la Dirección General de Caminos de Guatemala. Al elegir este tipo de sección, se hicieron mejoras a la geometría del camino, que tenía geometría de una carretera tipo “F”, con curvas muy cerradas y un ancho promedio de 4,5 m, obteniendo mejores grados de curvatura y pendientes menores, lo que da mayor seguridad para los usuarios de esta vía.
3. La carretera del caserío Rustrián constituye una vía de acceso estratégica, no sólo para los beneficiarios directos, sino para aquellos de comunidades aledañas, ya que comunica directamente con la carretera CA-1. Esta condición creará un beneficio directo; por lo tanto, facilitará el transporte de personas, productos y en general intercambio comercial.
4. Para el diseño del pavimento rígido y flexible se utilizaron métodos conocidos en relación a la información de las características del tránsito promedio diario anual. Estos métodos, basados en la experiencia, son útiles cuando no se cuentan con los recursos necesarios para realizar conteos de tránsito, en donde se especifiquen los pesos de los ejes de los vehículos.

RECOMENDACIONES

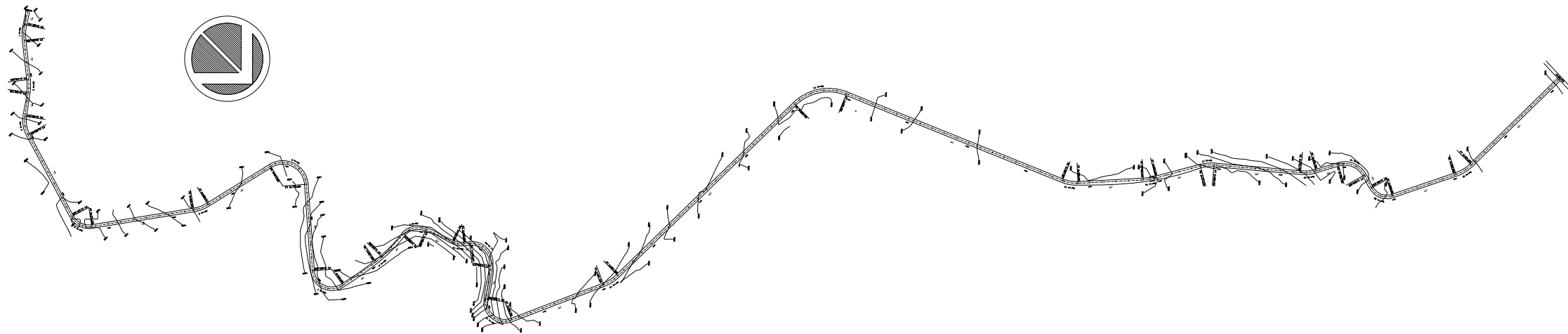
Municipalidad de Villa Canales

1. Realizar las gestiones necesarias ante instituciones internacionales y/o gubernamentales, para la consecución del financiamiento.
2. Garantizar la supervisión técnica, durante la construcción del pavimento, para que este proporcione los resultados esperados durante el período de diseño.
3. Actualizar los presupuestos de ejecución, previo a la cotización de los proyectos, para que estén acorde a la realidad.
4. Proveerle el mantenimiento y limpieza adecuada a los drenajes, tanto transversales como longitudinales, para que la carretera no sufra daños provocados por lluvias.
5. En función de los costos y elementos técnicos, implementar el proyecto utilizando la alternativa de pavimento rígido.

BIBLIOGRAFÍA

1. BLÁZQUEZ, Luis Bañón y Beviá, José F. *Manual de Carreteras 2*. México: McGraw-Hill, 2001. 388 p.
2. BOWLES, Joseph E. *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*. Colombia: McGraw-Hill, 1980. 225 p.
3. DEL VAL MELÚS, Miguel Ángel. *Ingeniería de carreteras*. España: McGraw-Hill, 2004. 584 p. ISBN: 8448139984

APÉNDICES



REPORTE DE UBICACIÓN DE DRENAJES
 Rango de Estaciones: 0+000 a 3+200,778

No. Drenaje	Estacion	Diametro (Ø)	Material
1	0+111	36"	Concreto
2	0+540	36"	Concreto
3	0+920	36"	Concreto
4	1+220	36"	Concreto
5	1+510	36"	Concreto
6	1+740	36"	Concreto
7	1+920	36"	Concreto
8	2+370	36"	Concreto
Puente	2+493	Luz 4 Mts	Concreto
9	2+660	36"	Concreto

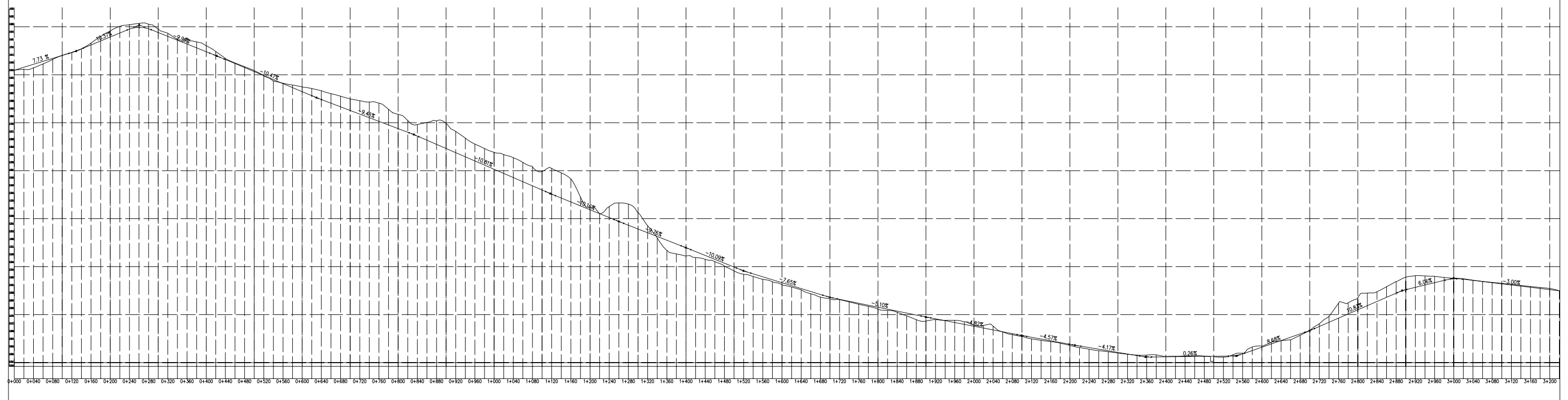
PLANTA - PERFIL GENERAL

ESCALA HORIZONTAL 1:4000
 ESCALA VERTICAL 1:1000

30 KPH

30 KPH

30 KPH

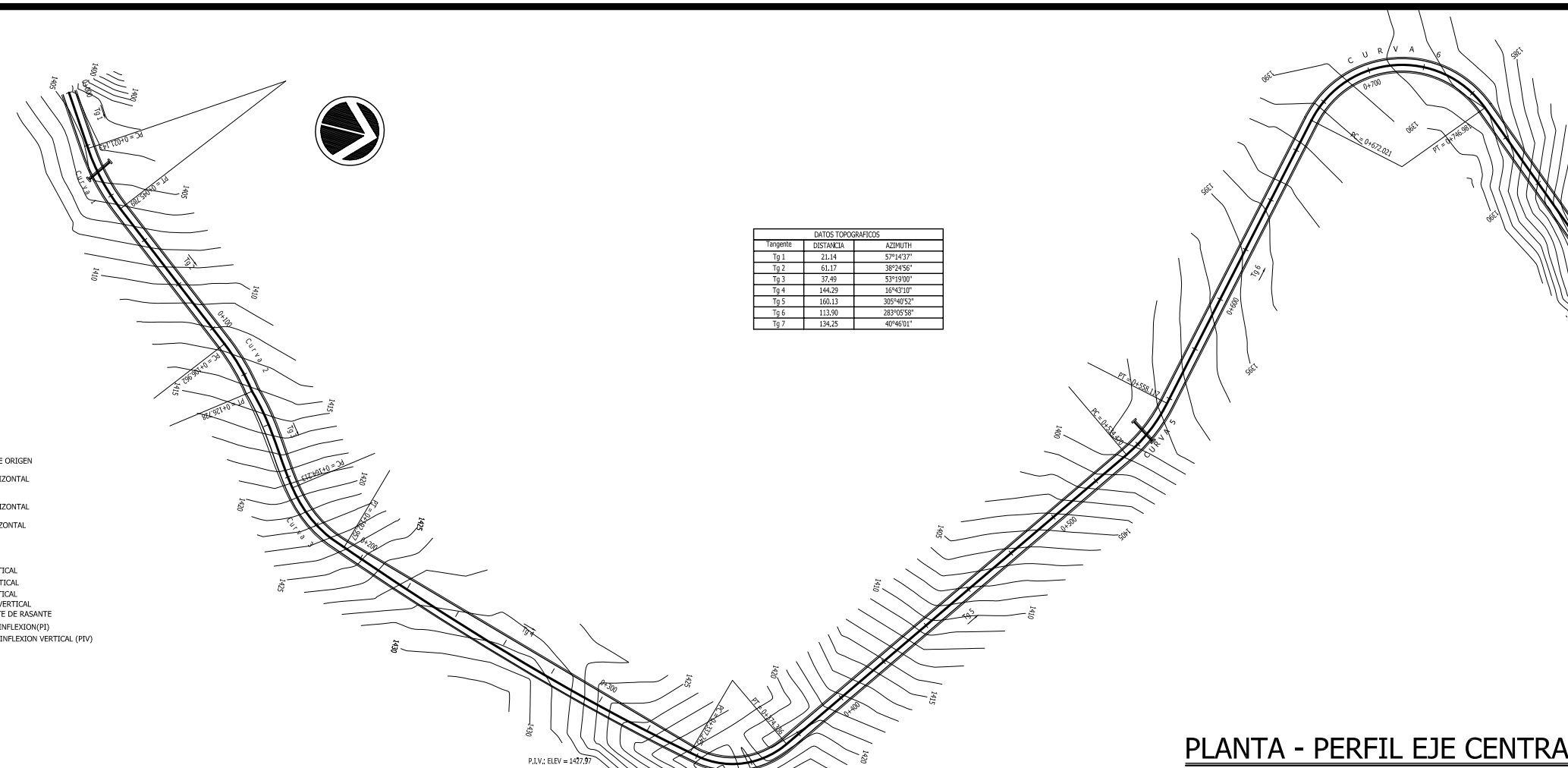


Tangente	DISTANCIA	AZIMUTH
Tg 1	21.14	57°14'37"
Tg 2	61.17	38°24'56"
Tg 3	37.49	53°19'00"
Tg 4	144.29	16°43'10"
Tg 5	160.13	305°40'52"
Tg 6	113.90	283°05'58"
Tg 7	134.25	40°46'01"

SIMBOLOGIA

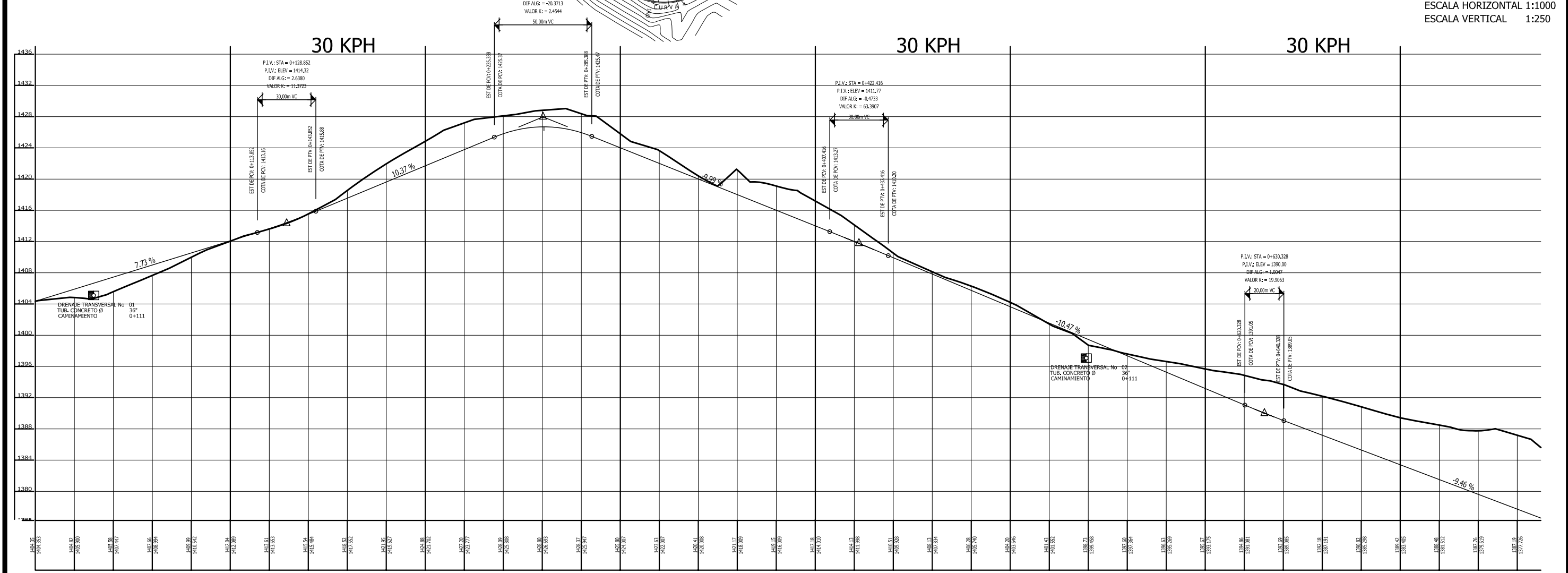
- 1 K IDENTIFICA KILOMETRO
- 0+560 DISTANCIA ACUMULADA DE ORIGEN
- PT PRINCIPIO DE TANGENTE
- PC PRINCIPIO DE CURVA HORIZONTAL
- G GRADO DE CURVATURA
- Del DEFLEXION
- Lc LONGITUD DE CURVA HORIZONTAL
- Sl SUBTANGENTE
- R RADIO DE LA CURVA HORIZONTAL
- LS LONGITUD DE ESPIRAL
- Cuerda CUERDA MAXIMA
- VEL VELOCIDAD DE DISEÑO
- VC LONGITUD DE CURVA VERTICAL
- VI PUNTO DE INFLEXION VERTICAL
- PCV PRINCIPIO DE CURVA VERTICAL
- PTV PRINCIPIO DE TANGENTE VERTICAL
- 7.50% PORCENTAJE DE PENDIENTE DE RASANTE
- ⊕ UBICACION DE PUNTO DE INFLEXION (PI)
- ⊕ UBICACION DE PUNTO DE INFLEXION VERTICAL (PIV)
- EJE DE DISEÑO

No. Curva	Long. Curva	Radio	Deflexion	Cuerda	Grado Curva	Subtangente
Curva 1	24.65	75.00	18°49'41"	24.54	15.28°	12.44
Curva 2	19.77	76.00	14°54'04"	19.71	15.08°	9.94
Curva 3	28.74	45.00	30°33'49"	28.26	25.56°	14.88
Curva 4	37.09	30.00	79°52'17"	34.77	38.20°	21.33
Curva 5	23.65	60.00	22°34'54"	23.49	19.10°	11.98
Curva 6	74.96	36.50	117°40'04"	62.46	31.39°	60.35



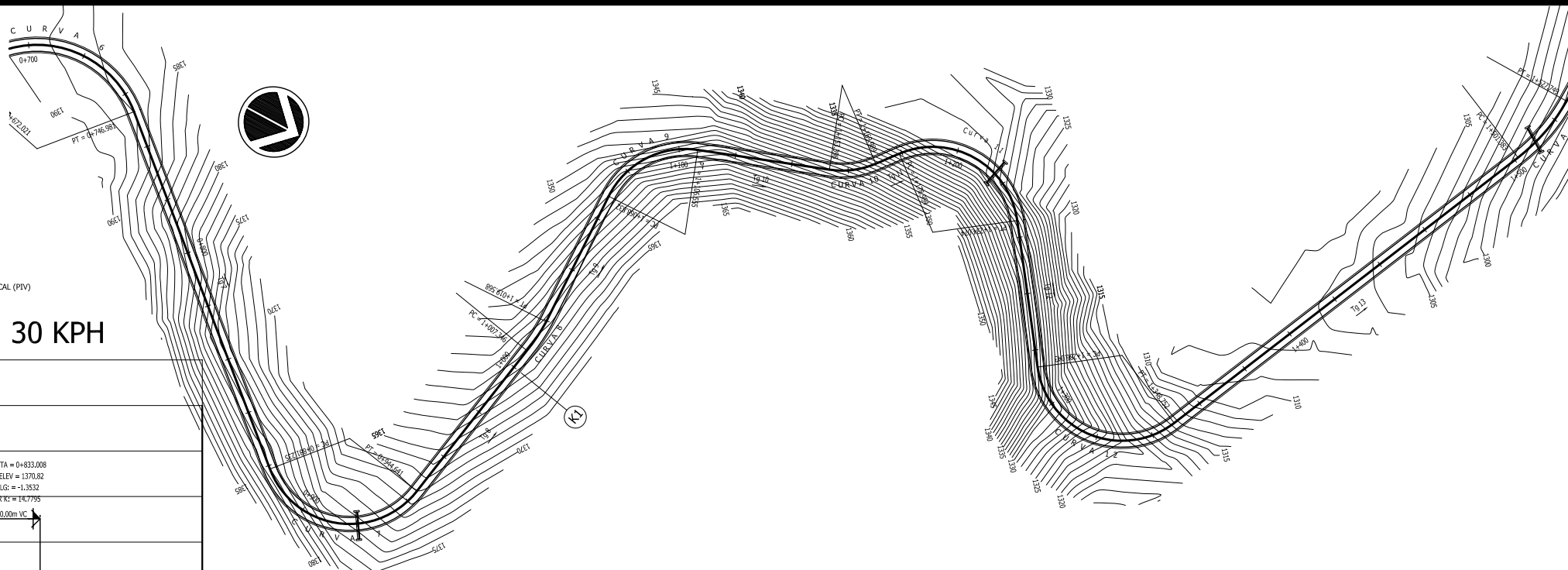
PLANTA - PERFIL EJE CENTRAL

ESCALA HORIZONTAL 1:1000
 ESCALA VERTICAL 1:250



SIMBOLOGIA

- 1 K IDENTIFICA KILOMETRO
- 0+560 DISTANCIA ACUMULADA DE ORIGEN
- PT PRINCIPIO DE TANGENTE
- PC PRINCIPIO DE CURVA HORIZONTAL
- G GRADO DE CURVATURA
- Dnl DEFLEXION
- Lc LONGITUD DE CURVA HORIZONTAL
- St SUBTANGENTE
- R RADIO DE LA CURVA HORIZONTAL
- L.S. LONGITUD DE ESPIRAL
- Cuerda CUERDA MAXIMA
- VEL VELOCIDAD DE DISEÑO
- VC LONGITUD DE CURVA VERTICAL
- PIV PUNTO DE INFLEXION VERTICAL
- PCV PRINCIPIO DE CURVA VERTICAL
- PTV PRINCPIO DE TANGENTE VERTICAL
- +7.50% PORCENTAJE DE PENDIENTE DE RASANTE
- UBICACION DE PUNTO DE INFLEXION (PIV)
- EJE DE DISEÑO



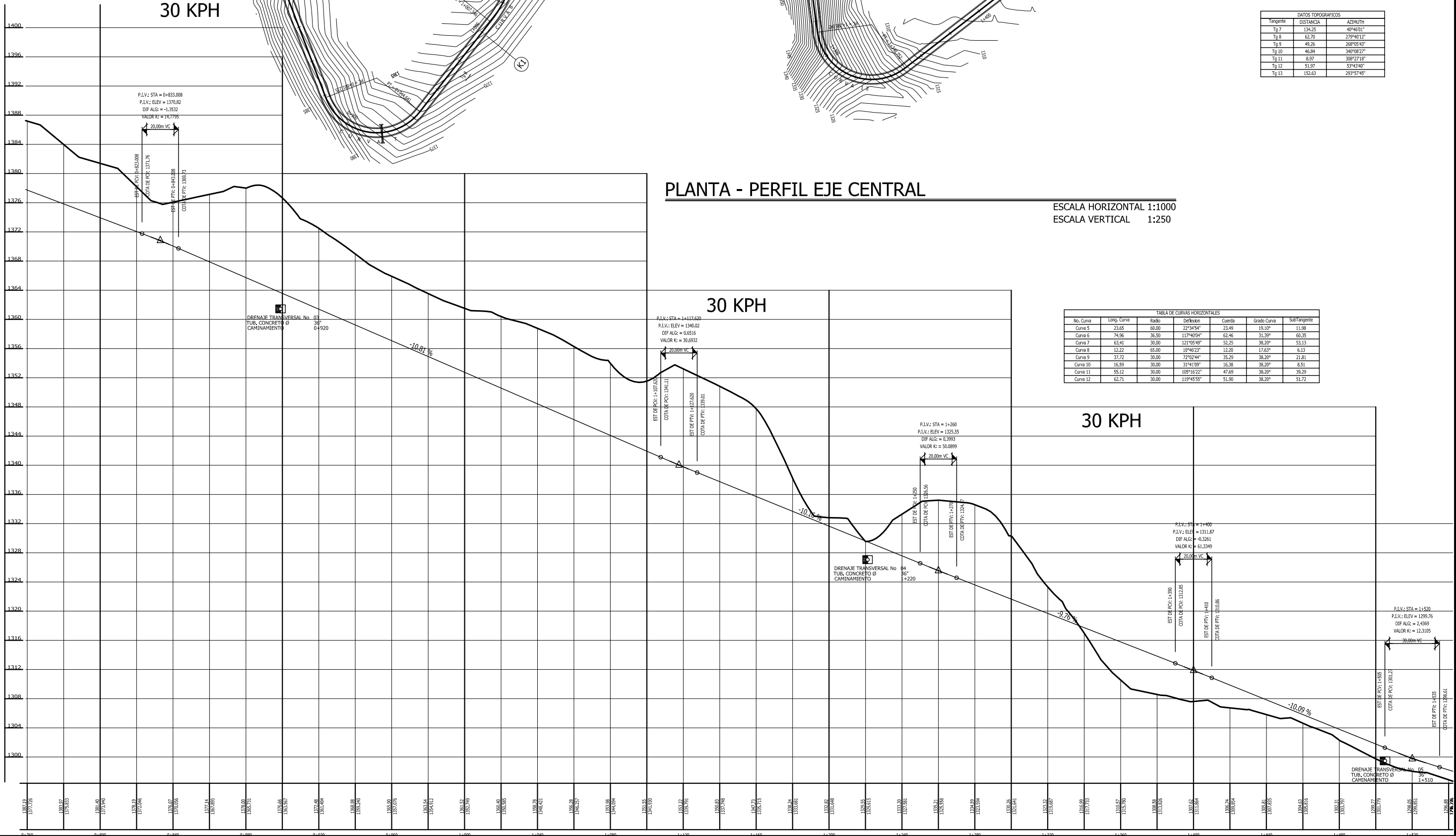
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO

PROYECTO: **PAVIMENTACION TRAMO CARRETERO**
 UBICACION: **CASERIO RUSTRIAN, VILLA CANALES**

DISEÑO: **Marvin Fuentes** CONTENIDO: **0+760-1+520**
 CÁLCULO: **Marvin Fuentes** ESTUDIANTE: **Marvin Fuentes** CARNÉ: **200011540**

DEBUIO: **Marvin Fuentes** Vo. Bo. HOJA **03**
 ESCALA: **Indicada** **Ing. Juan Merck Cos** **Alcalde Municipal** **10**
 FECHA: **Septiembre 2009**

DATOS TOPOGRAFICOS		
Tangente	DISTANCIA	AZIMUTH
Tg 7	134.25	40°46'51"
Tg 8	62.70	279°40'12"
Tg 9	49.26	268°05'43"
Tg 10	46.84	340°08'27"
Tg 11	8.97	308°27'18"
Tg 12	51.97	53°43'40"
Tg 13	152.63	293°57'45"



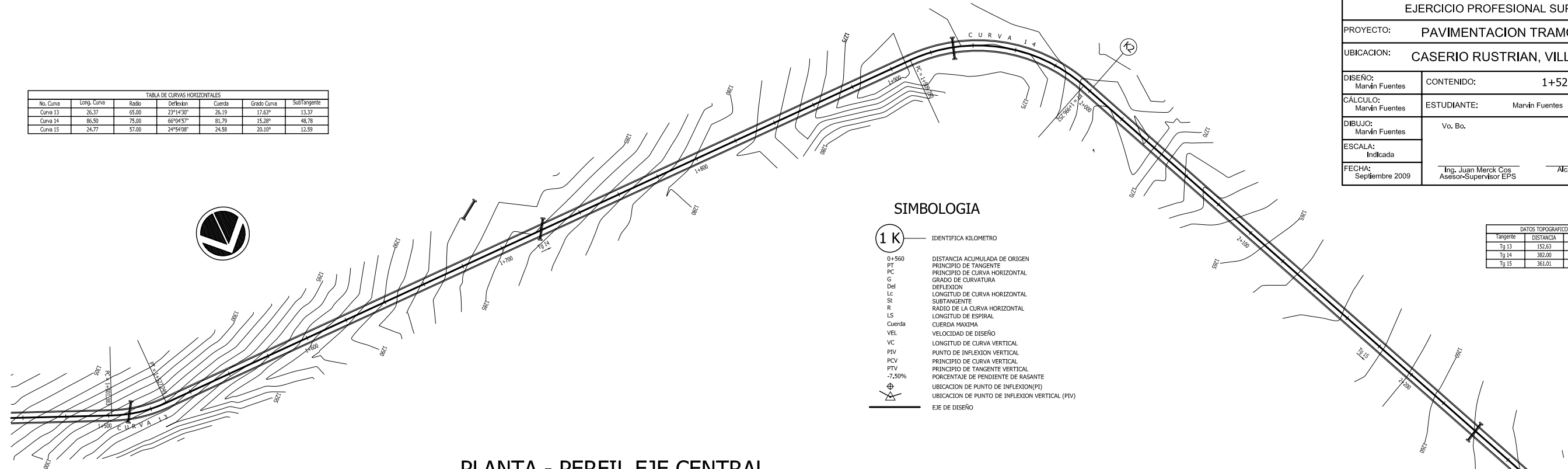
PLANTA - PERFIL EJE CENTRAL

ESCALA HORIZONTAL 1:1000
 ESCALA VERTICAL 1:250

TABLA DE CURVAS HORIZONTALES						
No. Curva	Long. Curva	Radio	Deflexion	Cuerda	Grado Curva	SubTangente
Curva 5	23.65	60.00	22°54'54"	23.49	15.10°	11.98
Curva 6	74.96	36.50	117°40'08"	62.44	31.39°	60.35
Curva 7	63.41	30.00	121°05'49"	52.25	38.20°	53.13
Curva 8	12.22	65.00	10°46'23"	12.20	17.63°	6.13
Curva 9	37.72	30.00	72°02'44"	35.29	38.20°	21.81
Curva 10	16.59	30.00	31°41'09"	16.38	38.20°	8.51
Curva 11	55.12	30.00	105°16'22"	47.69	38.20°	39.29
Curva 12	62.71	30.00	119°45'55"	51.90	38.20°	51.72

PROYECTO:	PAVIMENTACION TRAMO CARRETERO		
UBICACION:	CASERIO RUSTRIAN, VILLA CANALES		
DISEÑO:	CONTENIDO: 1+520-2+280		
CÁLCULO:	Marvin Fuentes	ESTUDIANTE:	Marvin Fuentes
			CARNÉ: 200011540
HOJA	DIBUJO: Marvin Fuentes		Vo. Bo.
04			
10	FECHA: Septiembre 2009		Ing. Juan Merck Cos Asesor-Supervisor EPS
			Alcalde Municipal

Nº. Curva	Long. Curva	Radio	Deflexión	Grado Curva	Subtangente
Curva 13	26.37	65.00	23°14'30"	26.19	17.63°
Curva 14	86.50	75.00	66°04'57"	81.79	15.38°
Curva 15	24.77	57.00	24°54'08"	24.58	20.10°

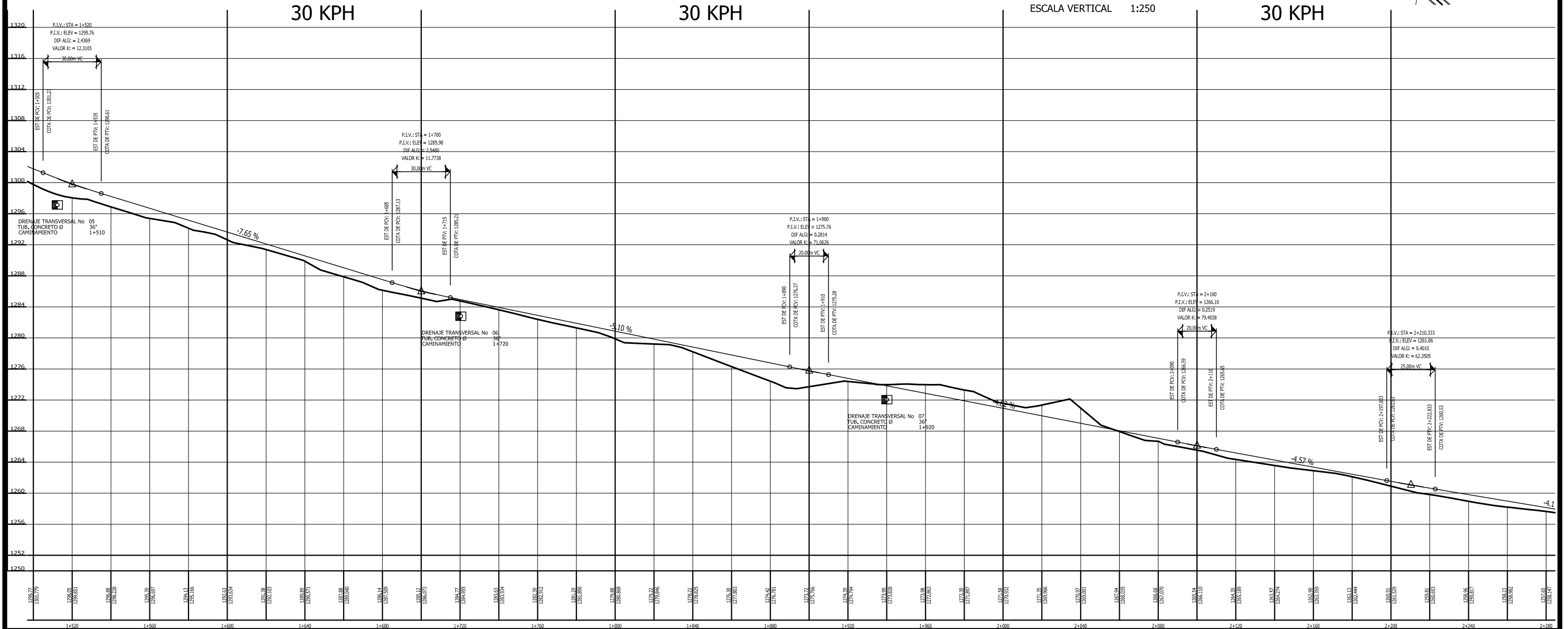


- SIMBOLOGIA**
- 1 K IDENTIFICA KILOMETRO
 - 0+560 DISTANCIA ACUMULADA DE ORIGEN
 - PT PRINCIPIO DE TANGENTE
 - PC PRINCIPIO DE CURVA HORIZONTAL
 - G GRADO DE CURVATURA
 - Del DEFLEXION
 - Lc LONGITUD DE CURVA HORIZONTAL
 - Sl SUBTANGENTE
 - R RADIO DE LA CURVA HORIZONTAL
 - LS LONGITUD DE ESPIRAL
 - Cuerda CUERDA MAXIMA
 - VEL VELOCIDAD DE DISEÑO
 - VC LONGITUD DE CURVA VERTICAL
 - PIV PUNTO DE INFLEXION VERTICAL
 - PCV PRINCIPIO DE CURVA VERTICAL
 - PTV PRINCIPIO DE TANGENTE VERTICAL
 - 7.50% PORCENTAJE DE PENDIENTE DE RASANTE
 - ⊕ UBICACION DE PUNTO DE INFLEXION(PI)
 - ⊕ UBICACION DE PUNTO DE INFLEXION VERTICAL (PIV)
 - EJE DE DISEÑO

Tangente	DISTANCIA	AZIMUTH
Tg 13	152.63	293°57'45"
Tg 14	382.00	270°43'15"
Tg 15	361.01	338°48'12"

PLANTA - PERFIL EJE CENTRAL

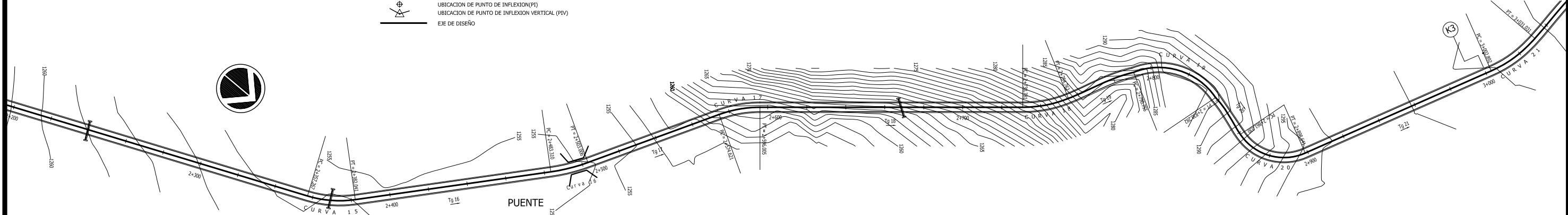
ESCALA HORIZONTAL 1:1000
 ESCALA VERTICAL 1:250



SIMBOLOGIA

- 1 K** IDENTIFICA KILOMETRO
- 0+560 DISTANCIA ACUMULADA DE ORIGEN
- PT PRINCIPIO DE TANGENTE
- PC PRINCIPIO DE CURVA HORIZONTAL
- G GRADO DE CURVATURA
- Dd DEFLEXION
- Lc LONGITUD DE CURVA HORIZONTAL
- St SUBTANGENTE
- R RADIO DE LA CURVA HORIZONTAL
- LS LONGITUD DE ESPIRAL
- Cuerda CUERDA MAXIMA
- VEL VELOCIDAD DE DISEÑO
- VC LONGITUD DE CURVA VERTICAL
- PtV PUNTO DE INFLEXION VERTICAL
- PCV PRINCIPIO DE CURVA VERTICAL
- PTV PRINCIPIO DE TANGENTE VERTICAL
- 7.50% PORCENTAJE DE PENDIENTE DE RASANTE
- Ub (P) UBICACION DE PUNTO DE INFLEXION (PI)
- Ub (V) UBICACION DE PUNTO DE INFLEXION VERTICAL (PIV)
- EJE DE DISEÑO

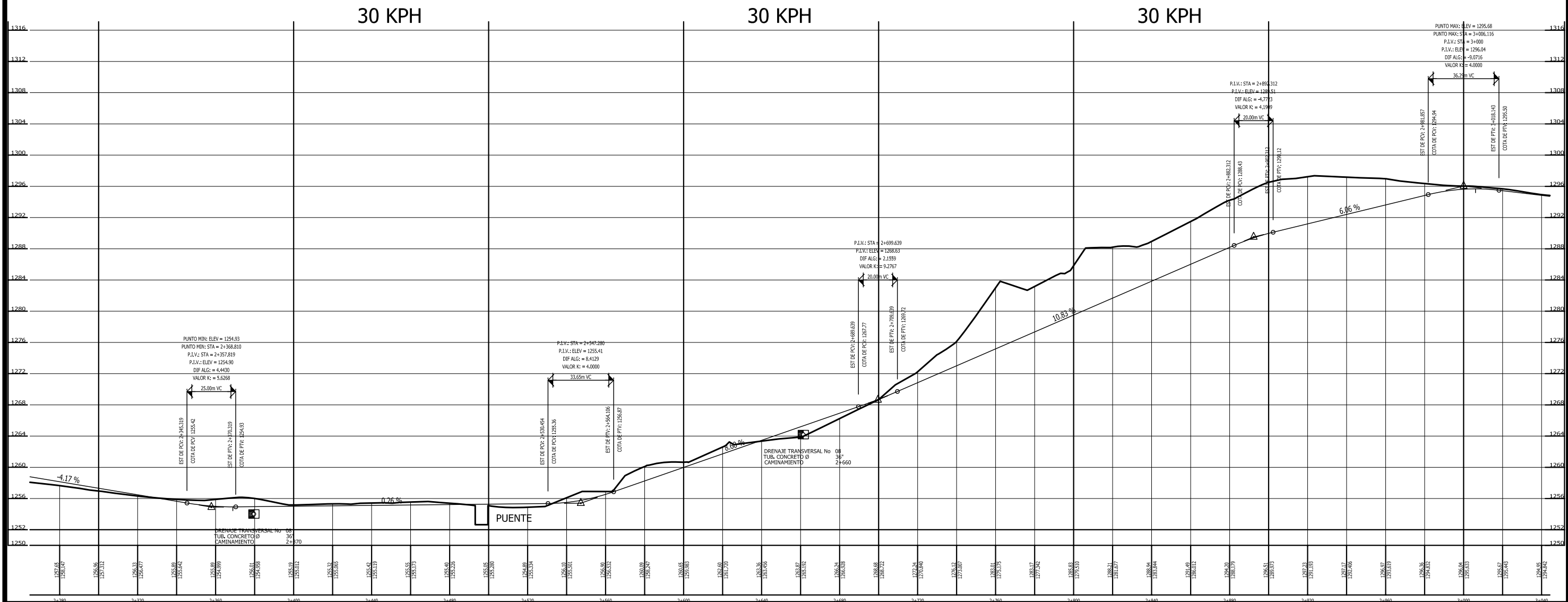
Tangente	DISTANCIA	AZIMUTH
Tg 15	361.01	336°48'12"
Tg 16	101.27	311°54'04"
Tg 17	71.63	299°33'45"
Tg 18	134.78	319°48'52"
Tg 19	35.99	298°10'19"
Tg 20	22.75	15°58'30"
Tg 21	104.25	296°09'47"
Tg 22	189.75	270°34'18"



No. Curva	Long. Curva	Radio	Deflexion	Cuerda	Grado Curva	SubTangente
Curva 15	24.77	57.00	24°54'08"	24.58	20.10°	12.59
Curva 16	19.70	94.00	12°00'19"	19.66	12.19°	9.88
Curva 17	21.38	61.00	20°05'07"	21.27	18.79°	10.80
Curva 18	23.98	63.00	21°49'33"	23.84	18.19°	12.14
Curva 19	47.53	35.00	77°48'12"	43.36	32.74°	26.24
Curva 20	37.61	27.00	79°48'44"	34.64	42.44°	22.58
Curva 21	28.14	63.00	25°33'28"	27.91	18.19°	14.31

PLANTA - PERFIL EJE CENTRAL

ESCALA HORIZONTAL 1:1000
ESCALA VERTICAL 1:250



30 KPH

30 KPH

30 KPH

PUNTO MAX: ELEV = 1295.68
PUNTO MAX: STA = 3+006.116
P.I.V.: STA = 3+000
P.I.V.: ELEV = 1296.04
DIF ALG: = -8.9715
VALOR K: = 4.0000

PUNTO MIN: ELEV = 1254.93
PUNTO MIN: STA = 2+368.810
P.I.V.: STA = 2+357.819
P.I.V.: ELEV = 1254.90
DIF ALG: = 6.4430
VALOR K: = 5.6268

P.I.V.: STA = 2+549.280
P.I.V.: ELEV = 1255.41
DIF ALG: = 8.4129
VALOR K: = 4.0000

P.I.V.: STA = 2+699.639
P.I.V.: ELEV = 1268.63
DIF ALG: = 2.1559
VALOR K: = 9.2767

P.I.V.: STA = 2+883.312
P.I.V.: ELEV = 1294.51
DIF ALG: = -4.7793
VALOR K: = 4.1599

EST DE PIV: 1294.54
COTA DE PIV: 1294.54
EST DE PIV: 1294.40
COTA DE PIV: 1294.50

EST DE PIV: 1254.93
COTA DE PIV: 1254.93
EST DE PIV: 1254.93
COTA DE PIV: 1254.93

EST DE PIV: 1255.41
COTA DE PIV: 1255.41
EST DE PIV: 1255.41
COTA DE PIV: 1255.41

EST DE PIV: 1268.63
COTA DE PIV: 1268.63
EST DE PIV: 1268.63
COTA DE PIV: 1268.63

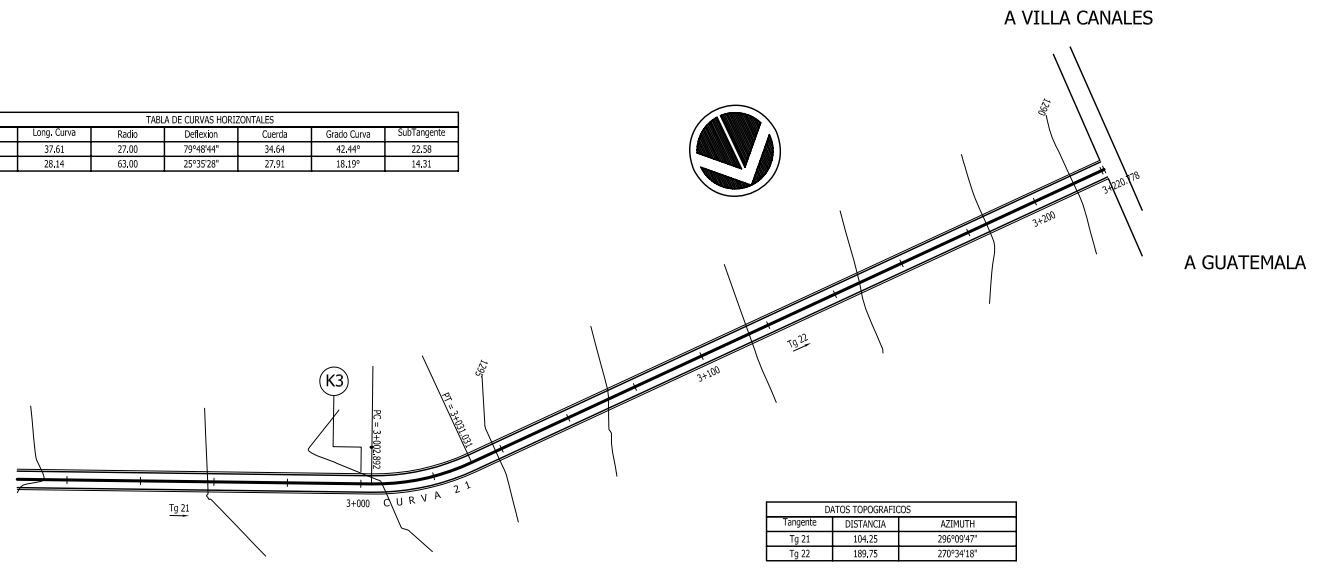
EST DE PIV: 1294.51
COTA DE PIV: 1294.51
EST DE PIV: 1294.51
COTA DE PIV: 1294.51

DRENAJE TRANSVERSAL No. 08
TUB. CONCRETO Ø 300
CAMINAMIENTO 2+370

DRENAJE TRANSVERSAL No. 08
TUB. CONCRETO Ø 300
CAMINAMIENTO 2+660

PUENTE

No. Curva	Long. Curva	Radio	Deflexión	Cuerda	Grado Curva	Subtangente
Curva 20	37.61	27.00	79°48'44"	34.64	42.44°	22.58
Curva 21	28.14	63.00	25°35'28"	27.91	18.19°	14.31

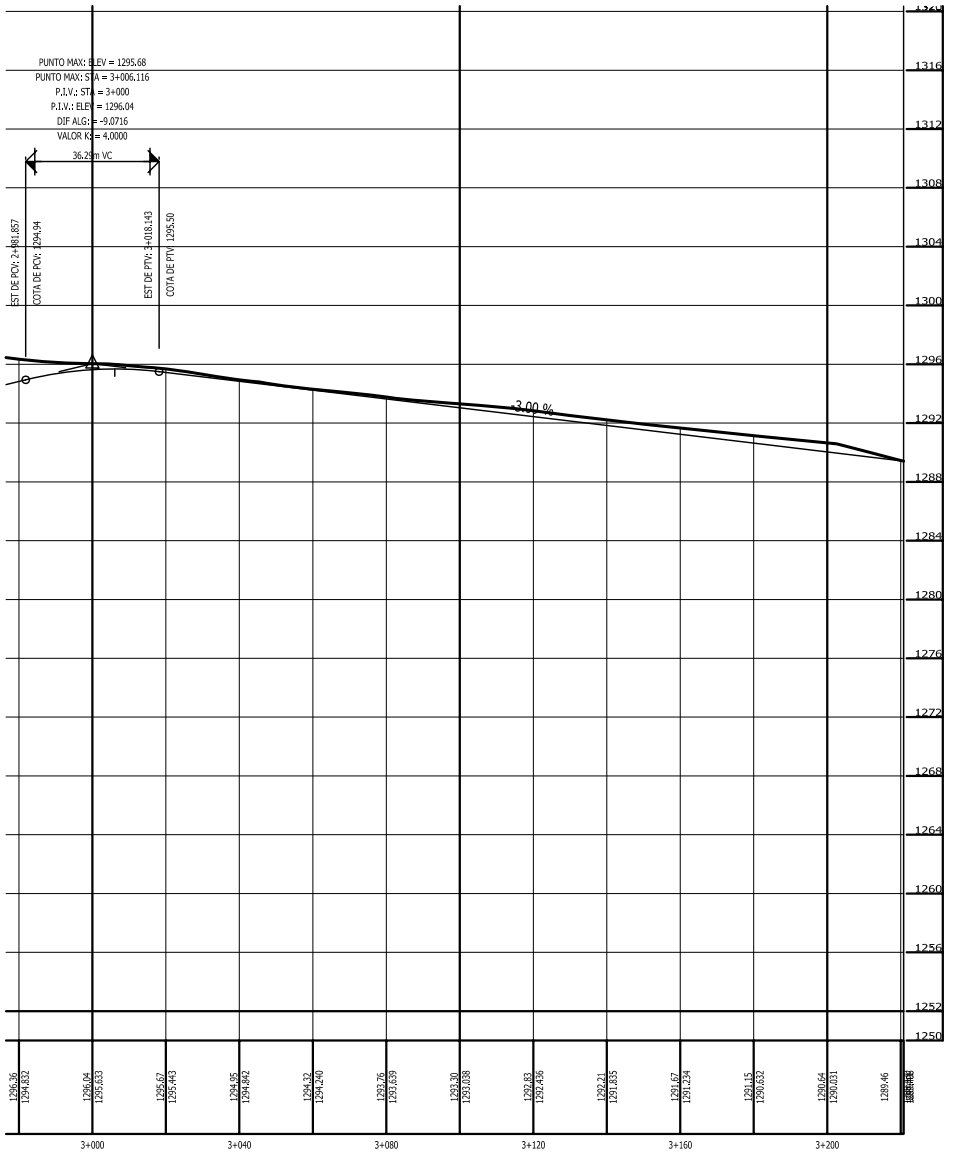


Tangente	DISTANCIA	AZIMUTH
Tg 21	104.25	296°09'47"
Tg 22	189.75	270°34'18"

PLANTA - PERFIL EJE CENTRAL

ESCALA HORIZONTAL 1:1000
 ESCALA VERTICAL 1:250

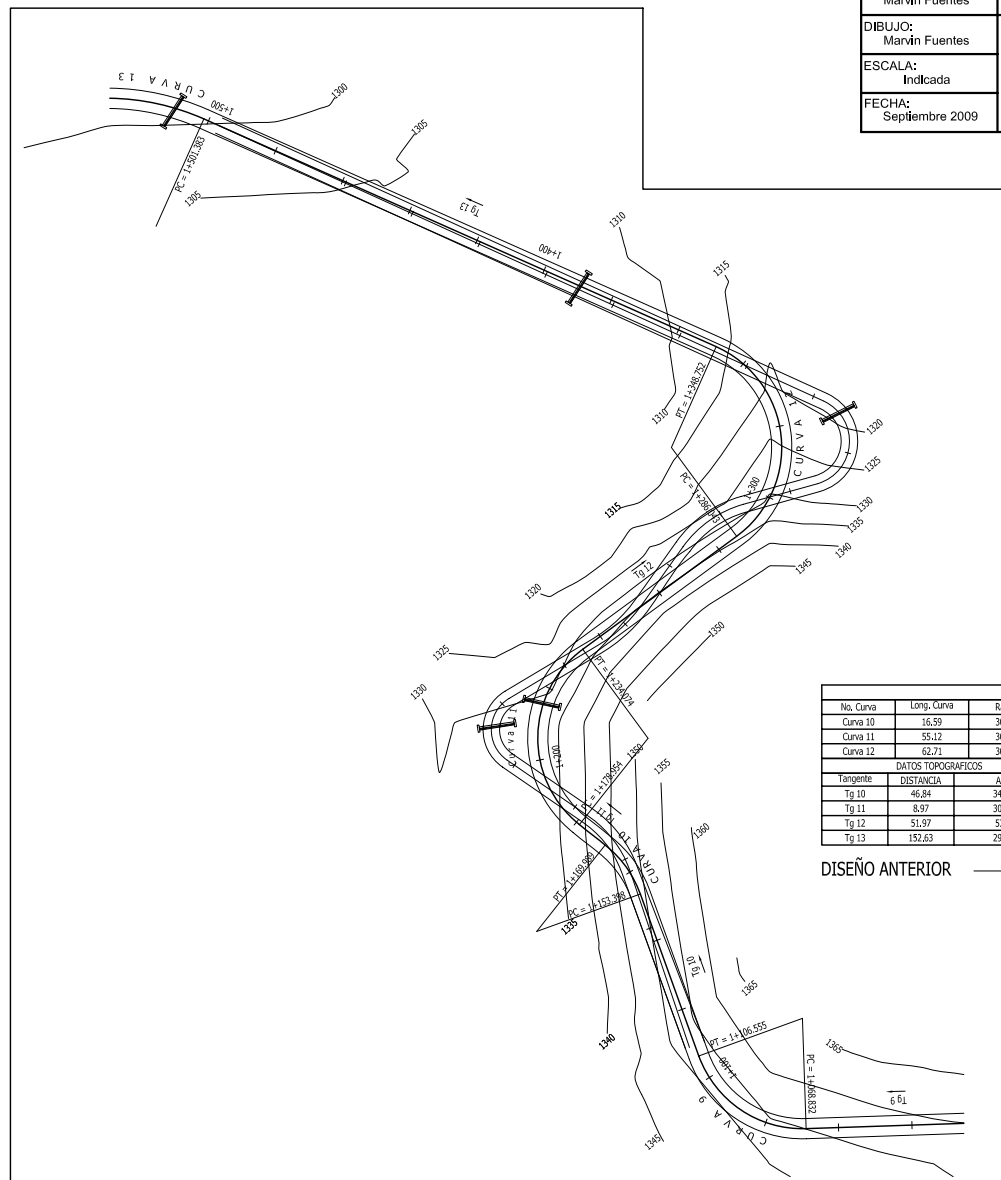
30 KPH



SIMBOLOGIA

- 1 K IDENTIFICA KILOMETRO
- 0+560 DISTANCIA ACUMULADA DE ORIGEN
- PT PRINCIPIO DE TANGENTE
- PC PRINCIPIO DE CURVA HORIZONTAL
- G GRADO DE CURVATURA
- Del DEFLEXION
- Lc LONGITUD DE CURVA HORIZONTAL
- SC SUBTANGENTE
- R RADIO DE LA CURVA HORIZONTAL
- LS LONGITUD DE ESPIRAL
- Cuerda CUERDA MAXIMA
- VEL VELOCIDAD DE DISEÑO
- VC LONGITUD DE CURVA VERTICAL
- PIV PUNTO DE INFLEXION VERTICAL
- PCV PRINCIPIO DE CURVA VERTICAL
- PTV PRINCIPIO DE TANGENTE VERTICAL
- 7.50% PORCENTAJE DE PENDIENTE DE RASANTE
- ⊕ UBICACION DE PUNTO DE INFLEXION (PI)
- ⊕ UBICACION DE PUNTO DE INFLEXION VERTICAL (PIV)
- EJE DE DISEÑO

DETALLE DE MODIFICACION EN EJE

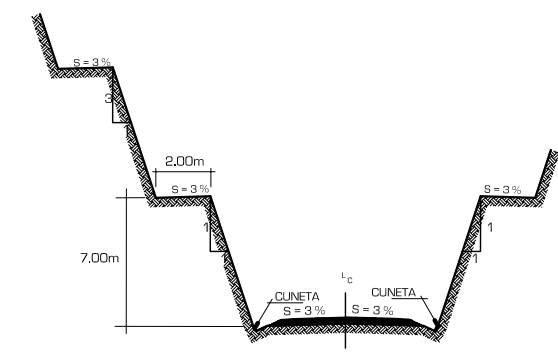


No. Curva	Long. Curva	Radio	Deflexión	Cuerda	Grado Curva	Subtangente
Curva 10	16.59	32.00	31°41'09"	16.38	38.20°	8.51
Curva 11	55.12	30.00	109°16'22"	47.69	38.20°	39.29
Curva 12	62.71	30.00	119°49'55"	51.00	38.20°	51.72

Tangente	DISTANCIA	AZIMUTH
Tg 10	46.84	34°39'27"
Tg 11	8.87	20°27'18"
Tg 12	51.57	53°43'40"
Tg 13	152.63	29°57'45"

DATOS GEOMETRICOS DE NUEVO DISEÑO

DISEÑO ANTERIOR



PREVENCIÓN DE DERRUMBES....(BERMAS)

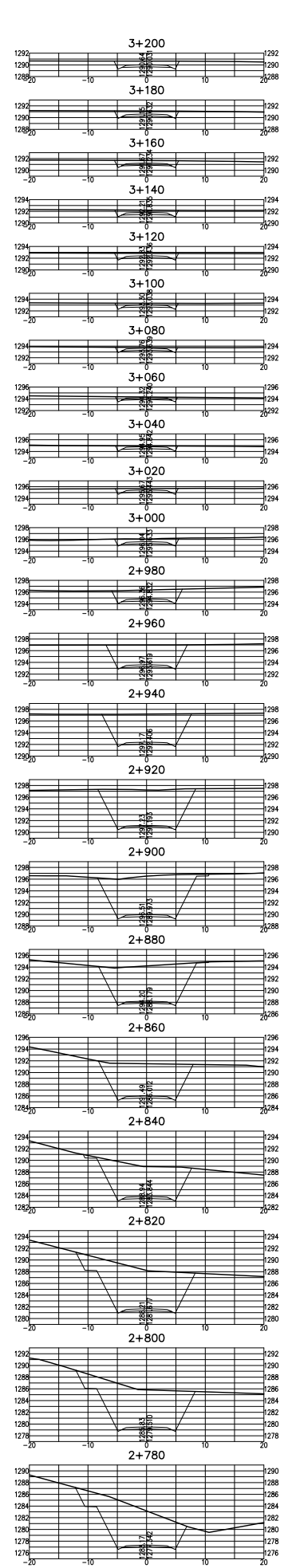
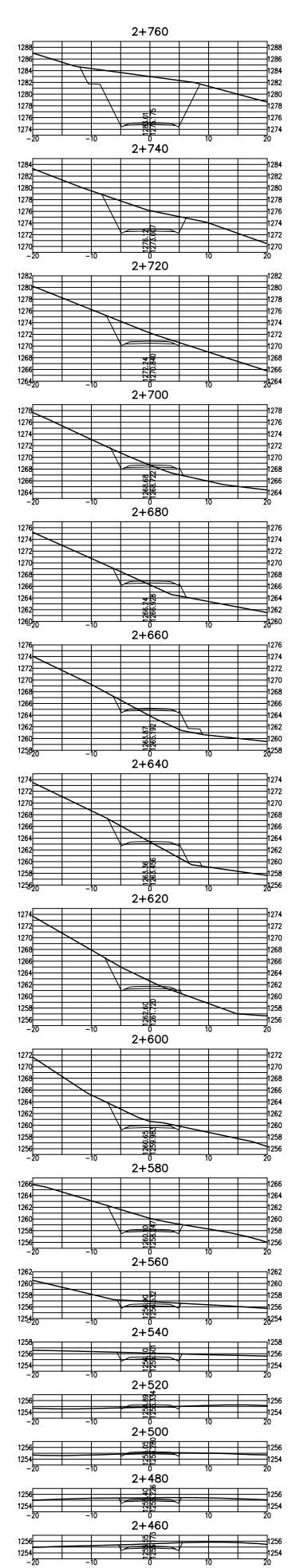
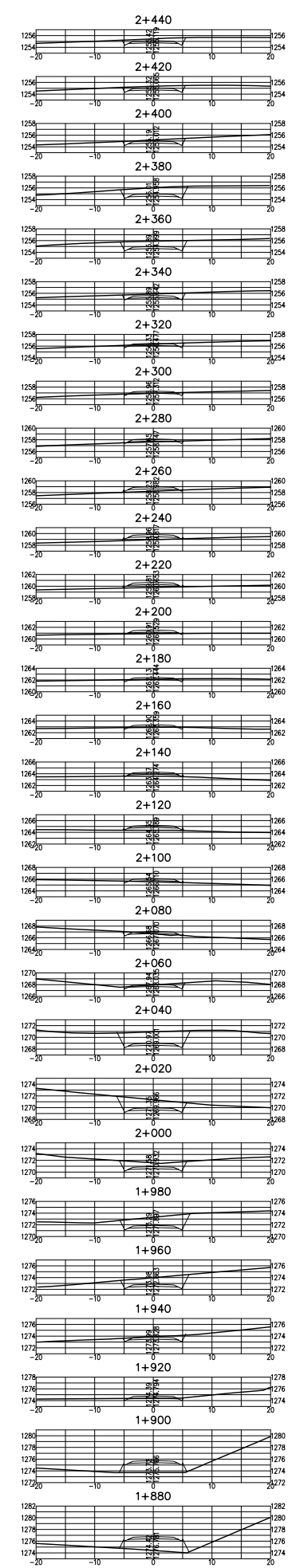
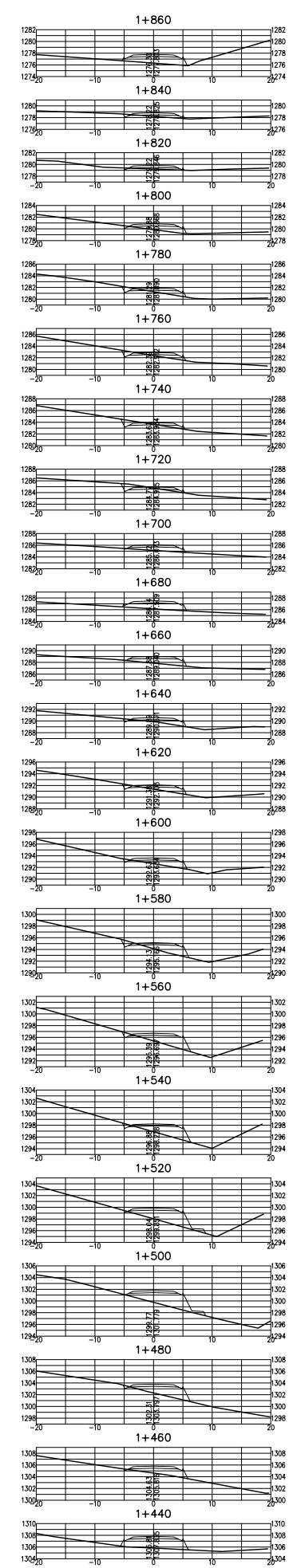
ESCALA: 1/200

PROYECTO: PAVIMENTACION TRAMO CARRETERO
 UBICACION: CASERIO RUSTRIAN, VILLA CANALES

DISENO: Marvin Fuentes
 CONTENIDO: SECCIONES TRANSVERSALES
 CALCULO: Marvin Fuentes
 ESTUDIANTE: Marvin Fuentes
 CARNÉ: 200011540

DEBUJO: Marvin Fuentes
 ESCALA: Indicada
 HOJA: 10

FECHA: Septiembre 2009
 Ing. Juan Merck Cos
 Asesor-Supervisor EPS
 Alcaldé Municipal



ESTACION	AREAS METROS CUADRADOS		VOLUMEN METROS CUBICOS		VOLUMEN ACUMULADO METROS CUBICOS	
	CORTE	RELLENO	CORTE	RELLENO	CORTE	RELLENO
0+000	3.85	3.85	0.00	0.00	0.00	0.00
0+020	0.40	10.07	38.59	123.24	38.59	123.24
0+040	0.00	17.89	0.00	204.18	41.59	266.39
0+060	0.00	12.11	0.00	268.33	41.59	634.73
0+080	0.55	4.33	4.08	142.10	45.64	778.82
0+100	2.10	0.00	31.38	38.30	77.00	813.12
0+120	0.00	0.00	48.87	6.40	125.87	821.58
0+140	2.90	0.19	54.78	6.15	180.65	827.72
0+160	29.23	0.00	452.22	0.00	722.13	828.99
0+180	40.25	0.00	787.23	0.00	1509.36	828.99
0+200	43.95	0.00	800.83	0.00	3288.15	828.99
0+220	28.34	0.00	816.25	0.00	3905.40	828.99
0+240	32.25	0.00	812.34	0.00	5168.35	828.99
0+260	20.44	0.00	484.44	0.00	5652.79	828.99
0+280	7.85	0.00	457.78	0.00	6408.30	828.99
0+300	38.12	0.00	834.42	0.00	7242.72	828.99
0+320	45.08	0.00	941.11	0.00	8283.83	828.99
0+340	40.54	0.00	734.49	0.00	9018.31	828.99
0+360	26.71	0.00	378.54	0.00	9397.85	828.99
0+380	8.39	0.00	162.37	0.67	9560.22	828.99
0+400	8.82	0.11	150.32	0.67	9710.55	830.33
0+420	8.12	0.00	111.40	0.78	10004.64	830.33
0+440	2.52	0.98	24.81	48.73	10029.45	882.73
0+460	0.17	4.70	42.26	28.07	10067.71	910.81
0+480	4.58	0.00	228.47	0.00	10296.18	910.81
0+500	17.30	0.00	831.08	0.00	10824.27	910.81
0+520	31.70	0.00	877.58	0.00	11701.84	910.81
0+540	48.69	0.00	1192.98	0.00	12894.81	910.81
0+560	59.96	0.00	1384.41	0.00	14289.22	910.81
0+580	62.67	0.00	1553.35	0.00	15842.57	910.81
0+600	74.41	0.00	2040.02	0.00	17884.59	910.81
0+620	65.37	0.00	2496.35	0.00	20380.94	910.81
0+640	101.43	0.00	3332.38	0.00	23713.32	910.81
0+660	121.91	0.00	4008.89	0.00	27722.21	910.81
0+680	131.20	0.00	4533.88	0.00	32456.09	910.81
0+700	102.88	0.00	2905.01	0.00	35361.10	910.81
0+720	109.01	0.00	3233.88	0.00	38594.98	910.81
0+740	196.51	0.00	4715.62	0.00	43310.60	910.81
0+760	217.48	0.00	4873.27	0.00	48183.86	910.81
0+780	208.24	0.00	4716.82	0.00	52900.68	910.81
0+800	158.84	0.00	3386.90	0.00	56287.58	910.81
0+820	147.22	0.00	3281.13	0.00	59568.71	910.81
0+840	182.04	0.00	4166.83	0.00	63735.54	910.81
0+860	191.78	0.00	4280.07	0.00	67915.61	910.81
0+880	171.88	0.00	3708.41	0.00	71614.02	910.81
0+900	208.69	0.00	4808.86	0.00	76422.88	910.81
0+920	260.82	0.00	5826.63	0.00	81249.51	910.81
0+940	228.24	0.00	5278.81	0.00	86088.31	910.81
0+960	72.82	0.00	3154.14	0.00	90842.45	910.81
0+980	20.63	0.00	889.84	0.00	92732.29	910.81
1+000	149.24	0.00	1081.04	20.00	103542.33	950.80
1+020	24.03	3.18	2207.07	0.00	111959.78	950.80
1+040	105.64	0.00	4103.43	0.00	116063.21	950.80
1+060	184.45	0.00	5966.85	0.00	122030.06	950.80
1+080	178.70	0.00	5696.06	0.00	127726.12	950.80
1+100	123.03	0.00	382.81	90.49	128058.61	991.29
1+120	41.18	0.00	7.82	581.42	122014.88	1572.71
1+140	1.06	7.21	0.00	1531.20	122014.88	2063.90
1+160	0.00	68.74	0.00	406.20	122014.88	2470.10
1+180	0.00	80.98	0.00	103.84	122014.88	2573.94
1+200	0.00	46.88	0.00	729.81	122014.88	3303.75
1+220	0.00	16.89	0.00	486.20	122014.88	3789.95
1+240	0.00	14.82	0.00	333.87	122014.88	4123.82
1+260	0.00	18.57	0.00	217.82	122014.88	4341.64
1+280	0.00	21.68	0.00	239.70	122014.88	4581.34
1+300	0.00	14.87	0.00	244.88	122014.88	4826.22
1+320	0.00	13.43	0.00	221.17	122014.88	5047.39
1+340	0.00	13.79	0.00	298.70	122014.88	5346.09
1+360	0.00	13.43	0.00	213.65	122014.88	5559.74
1+380	0.00	10.37	0.00	18.82	122014.88	5748.56

ESTACION	AREAS METROS CUADRADOS		VOLUMEN METROS CUBICOS		VOLUMEN ACUMULADO METROS CUBICOS	
	CORTE	RELLENO	CORTE	RELLENO	CORTE	RELLENO
1+400	0.34	8.01	11.86	137.74	122095.12	7338.60
1+420	0.77	6.37	11.86	137.74	122095.12	7442.63
1+440	0.34	6.37	2.88	146.88	122109.96	7588.30
1+460	0.00	10.30	0.00	180.54	122114.14	7772.18
1+480	0.00	12.31	0.04	202.30	122110.00	7791.84
1+500	0.02	7.91	18.84	85.73	122128.99	8057.92
1+520	2.33	2.20	34.51	67.13	122130.38	8171.00
1+540	1.83	2.92	48.86	45.86	122175.80	8103.88
1+560	1.05	6.31	25.03	89.11	122235.38	8260.12
1+580	0.19	8.81	12.35	124.05	122247.74	8284.16
1+600	0.13	4.63	4.72	63.17	122255.91	8284.63
1+620	0.00	13.84	2.32	158.82	122258.24	8743.25
1+640	0.00	18.94	3.45	117.30	122258.24	8977.84
1+660	0.00	23.75	0.00	362.89	122258.24	9470.43
1+680	0.37	2.52	2.89	177.59	122258.24	9647.89
1+700	14.49	0.00	185.84	0.00	122487.38	9683.12
1+720	17.82	0.00	350.98	0.00	122838.30	9683.12
2+000	10.27	0.00	304.11	0.00	123142.49	9683.12
2+020	17.71	0.00	304.18	0.00	123446.63	9683.12
2+040	24.62	0.00	463.02	0.00	123910.25	9683.12
2+060	1.63	0.62	238.00	3.72	124148.30	9683.12
2+080	0.98	2.89	23.41	27.80	124172.71	9684.43
2+100	0.14	3.98	7.42	96.68	124180.13	9724.11
2+120	0.00	6.71	1.94	107.19	124181.07	9849.30
2+140	0.00	8.21	0.05	107.92	124181.22	9957.23
2+160	0.28	2.99	2.22	73.87	124183.44	10030.89
2+180	0.34	1.83	0.08	42.89	124183.01	10073.47
2+200	0.54	1.83	8.85	54.59	124181.68	10128.38
2+220	0.00	6.72	0.40	99.85	124186.08	10228.63
2+240	0.00	8.86	0.57	113.59	124188.89	10283.78
2+260	0.00	6.79	0.04	81.77	124192.73	10345.85
2+280	0.25	3.40	7.43	50.10	124192.16	10396.83
2+300	1.15	0.72	18.81	29.08	124225.97	10450.73
2+320	4.71	0.00	58.89	4.30	124288.96	10525.02
2+340	11.80	0.00	175.72	0.00	124464.87	10625.02
2+360	13.36	0.00	278.38	0.00	124743.25	10625.02
2+380	3.80	0.00	94.02	0.00	125013.82	10625.02
2+400	4.66	0.00	123.65	0.00	125245.43	10625.02
2+420	5.26	0.00	108.00	0.00	125512.81	10625.02
2+440	6.02	0.00	123.65	0.00	125736.46	10625.02
2+460	3.78	0.00	9.38	38.39	125745.28	10625.02
2+480	6.02	0.00	106.80	0.00	125852.08	10625.02
2+500	0.54	1.47	42.53	8.78	125939.87	10633.80
2+520	0.00	0.00	3.38	38.39	125945.28	10673.28
2+540	0.32	2.88	76.73	17.19	125948.99	10689.27
2+560	5.92	0.00	157.82	0.00	125958.81	10689.27
2+580	4.48	0.00	138.38	0.00	125957.99	10689.27
2+600	26.37	0.00	469.12	0.00	126427.11	10689.27
2+620	13.28	0.00	308.03	82.48	127015.78	10778.30
2+640	10.72	9.44	152.33	238.60	127254.11	11017.80
2+660	3.73	17.60	46.35	241.90	127346.46	11259.86
2+680	4.97	9.68	148.12	121.04	127449.59	11380.89
2+700	6.87	4.16	319.25	24.83	127618.84	11405.82
2+720	21.29	0.00	707.13	0.00	128325.97	11405.82
2+740	44.40	0.00	1717.87	0.00	130043.84	11405.82
2+760	121.23	0.00	2320.87	0.00	132364.31	11405.82
2+780	80.49	0.00	2116.08	0.00	134679.19	11405.82
2+800	102.07	0.00	2372.38	0.00	137051.49	11405.82
2+820	106.38	0.00	2033.18	0.00	139084.62	11405.82
2+840	74.94	0.00	1646.19	0.00	140730.82	11405.82
2+860	84.28	0.00	1758.28	0.00	142489.10	11405.82
2+880	84.28	0.00	1848.33	0.00	144337.43	11405.82
2+900	91.05	0.00	1830.01	0.00	146267.44	11405.82
2+920	84.90	0.00	1828.41	0.00	148195.85	11405.82
2+940	83.85	0.00	1164.78	0.00	149180.63	11405.82
2+960	62.92	0.00	688.78	0.00	149872.41	11405.82
2+980	1.28	0.00	909.01	0.00	150906.92	11405.82
3+000	4.43	0.00	118.73	0.00	150215.85	11405.82
3+020	3.13	0.00	68.77	0.00	150298.41	11405.82
3+040	4.43	0.00	44.81	0.00	150365.12	11405.82
3+060	2.77	0.00	68.29	0.00	150429.51	11405.82
3+080	4.27	0.00	68.22	0.00	150501.73	11405.82
3+100	4.80	0.00	120.71	0.00	1	

PROYECTO: PAVIMENTACION TRAMO CARRETERO

UBICACION: CASERIO RUSTRIAN, VILLA CANALES

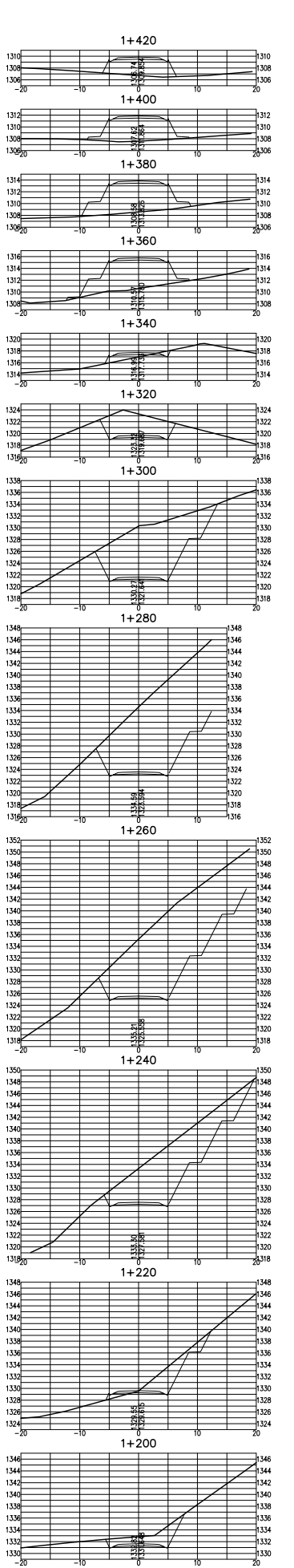
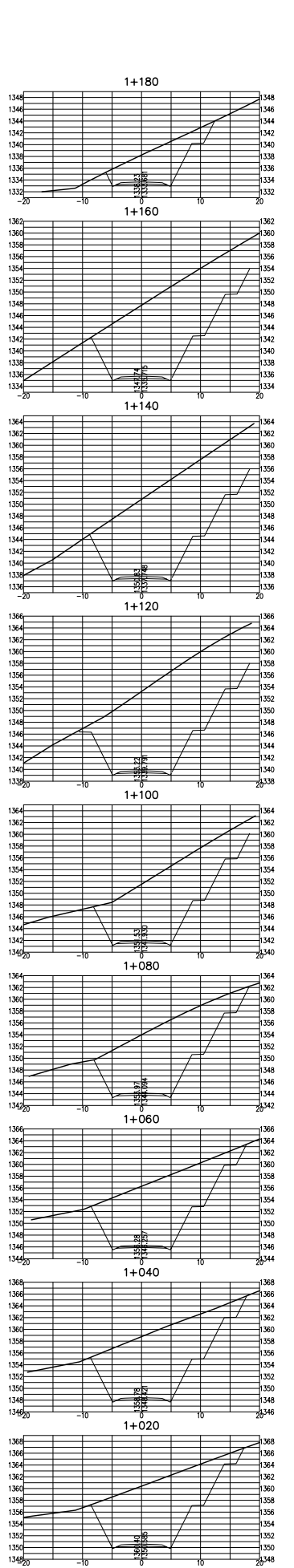
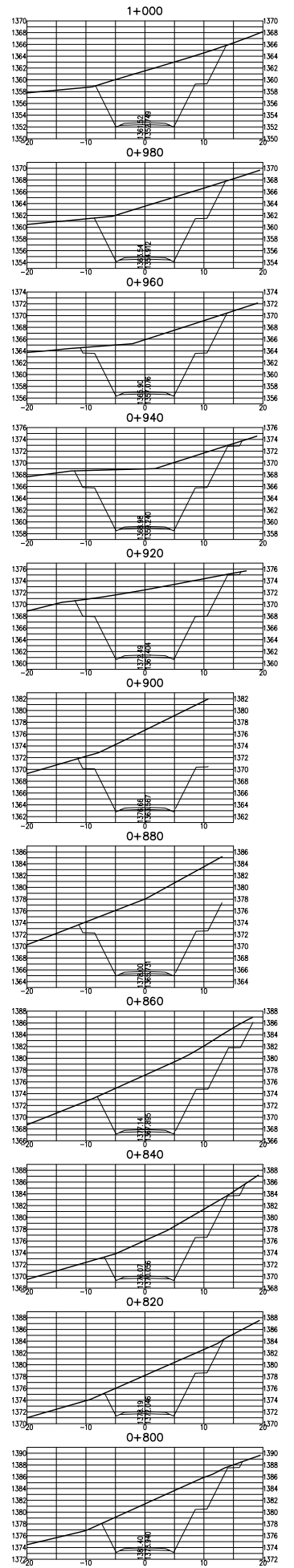
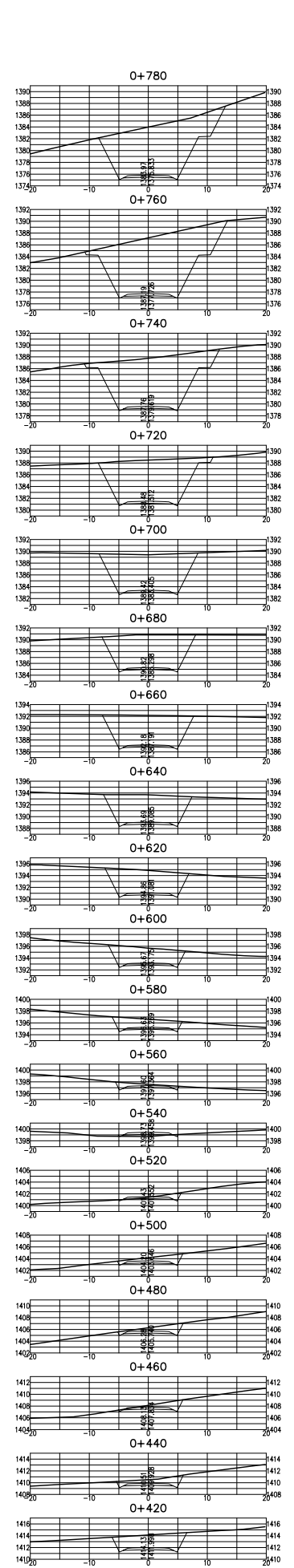
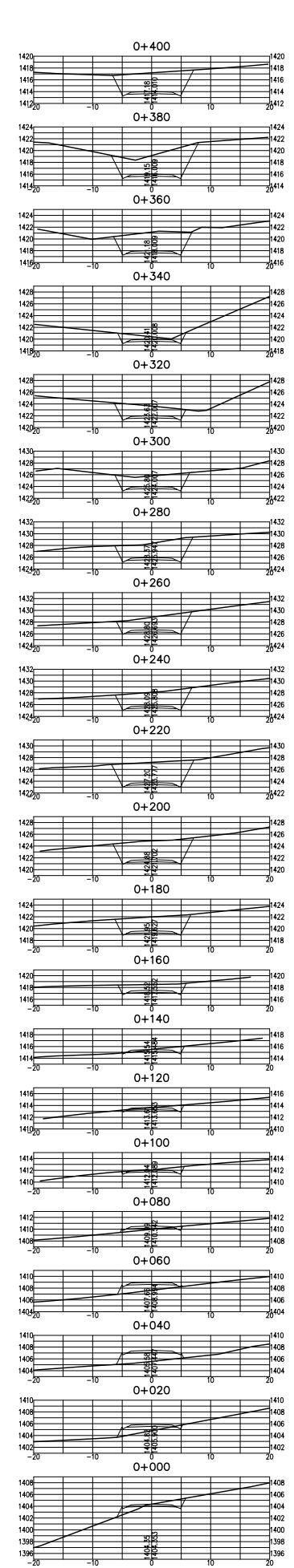
DISEÑO: Marín Fuentes CONTENIDO: SECCIONES TRANSVERSALES

CÁLCULO: Marín Fuentes ESTUDIANTE: Marín Fuentes CARNÉ: 200011540

DEBUIO: Marín Fuentes Vo. Bo. HOJA

ESCALA: Indicada

FECHA: Septiembre 2009 Ing. Juan Merck Cos Alcalde Municipal



0+000

0+420

0+840

1+020

1+440



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



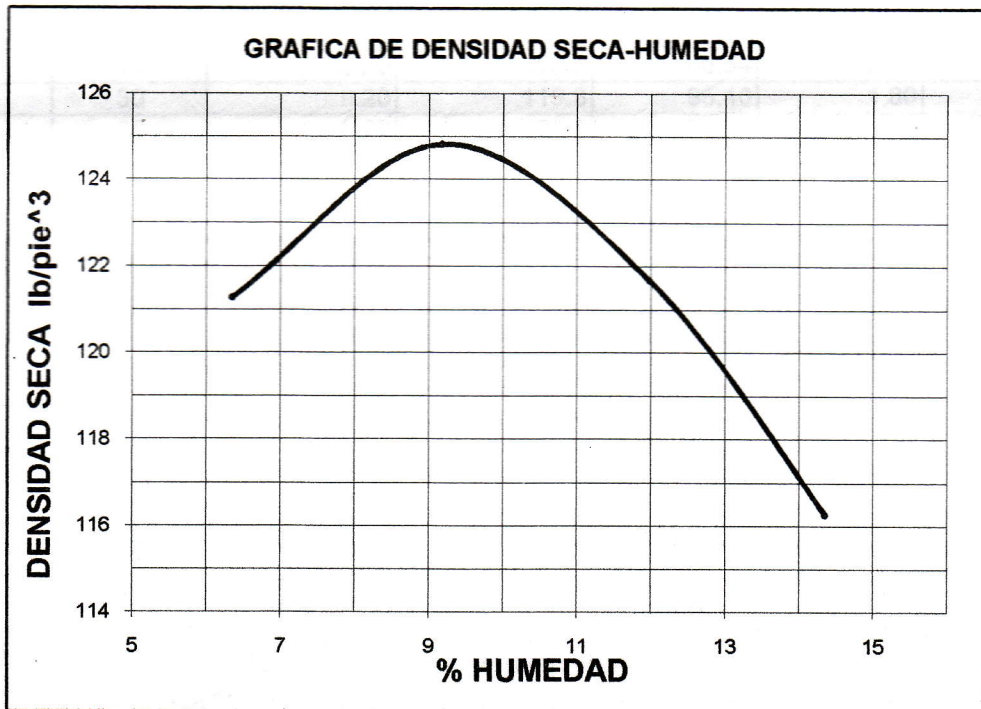
Nº 003483

INFORME No. 263 S.S. O.T.: 25,083

Interesado: Marvin Raul Fuentes Alvarado. Carne 2000-11540
Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN.

Proctor Estándar: () Norma:
Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-180

Proyecto: EPS. Diseno de la Carretera y Pavimento.
Ubicación: Municipio de Villa Canales, Guaemala
Fecha: 5 de junio de 2009.



Descripción del suelo: Arena Limoso con partículas de aluvion, color café oscuro.
 Densidad seca máxima γ_d : 2001 Kg/m³ 124.9 lb/ft³
 Humedad óptima Hop.: 9.2 %
 Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,



Omar E. Medrano Mendez
Ing. Omar Enrique Medrano Mendez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.:

Telma Maricela Cano Mofales
Inga. Telma Maricela Cano Mofales
DIRECTORA CII/USAC



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

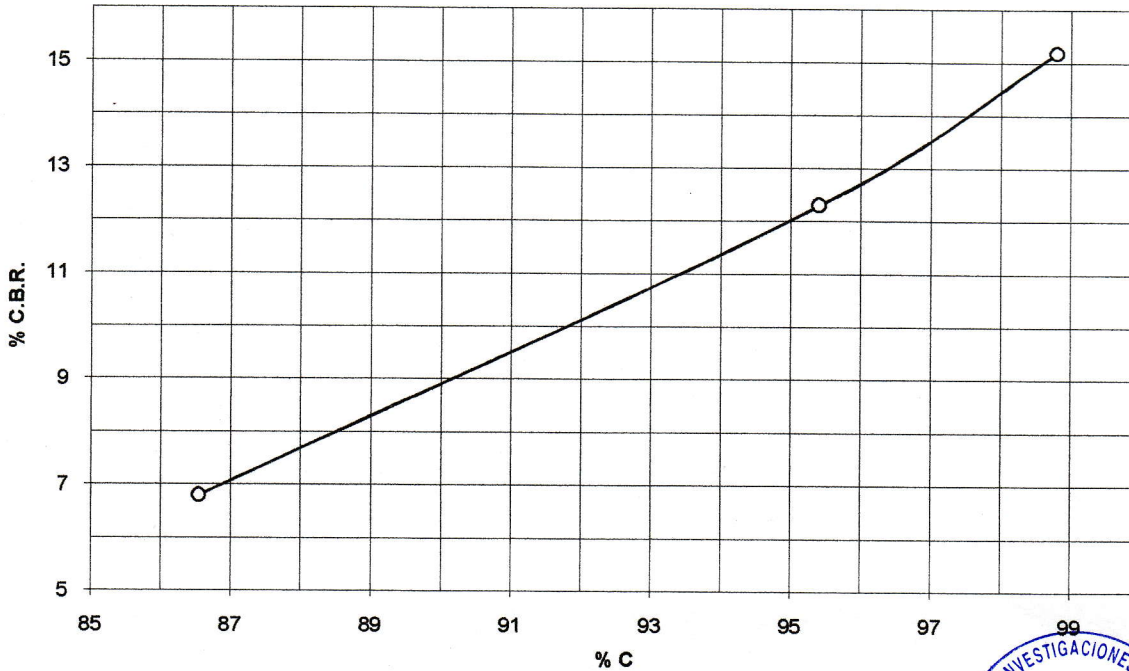


Nº 003482

INFORME No.: 262 S.S. O.T.: 25083
 Interesado: Marvin Raul Fuentes Alvarado. Carne 2000-11540
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O. T-193
 Proyecto: EPS. Diseño de la Carretera y Pavimento.
 Ubicación: Municipio de Villa Canales, Guaemala
 Descripción del suelo: Arena Limoso con partículas de aluvion, color café oscuro.
 Fecha: 5 de junio de 2009.

PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	γ_d Lb/pie ³			
1	10	9.20	108.2	86.54	2.00	6.8
2	30	9.20	119.3	95.40	1.00	12.3
3	65	9.20	123.6	98.80	0.00	15.2

GRAFICA DE % C.B.R.-% DE COMPACTACION



Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC



Omar E. Medrano Mendez
Ing. Omar Enrique Medrano Mendez
Jefe Sección Mecánica de Suelos





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 003480

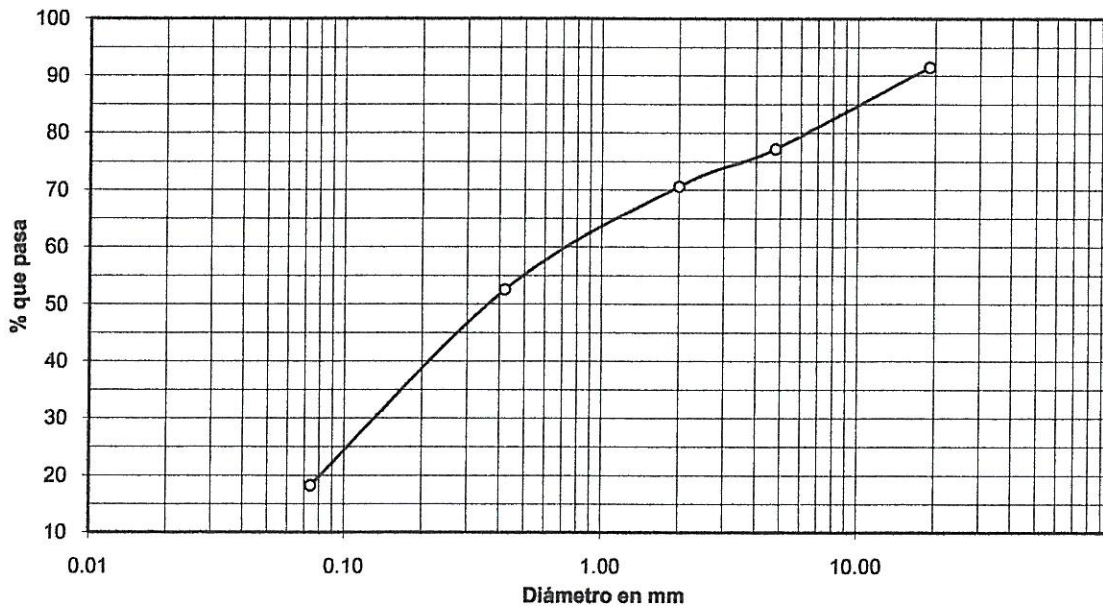
INFORME No. 260 S.S.

O.T. No. 25,083

Interesado: Marvin Raul Fuentes Alvarado. Carne 2000-11540
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11
 Proyecto: EPS. Diseño de la Carretera y Pavimento.
 Procedencia: Municipio de Villa Canales, GUAEMALA
 Fecha: 5 de junio de 2009.

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.8	100.00
3/4"	19.00	91.53
4	4.76	77.25
10	2.00	70.68
40	0.42	52.55
200	0.074	18.29

% de Grava: 22.75
 % de Arena: 58.96
 % de Finos: 18.29



Descripción del suelo: Arena Limoso con partículas de aluvion, color café oscuro.
 Clasificación: S.C.U.: SM P.R.A.: A-2-6
 Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,



Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
 DIRECTORA CII/USAC



Omar E. Medrano Méndez
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 003481

INFORME No. 261 S. S. O.T.: 25,083

Interesado: Marvin Raul Fuentes Alvarado. Carne 2000-11540
Proyecto: EPS. Diseño de la Carretera y Pavimento.

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG
Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: Municipio de Villa Canales, Guatemala

FECHA: 5 de junio de 2009.

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	C.S.U. *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	0	0	S.M.	Arena Limoso con particulas de aluvion, color café oscuro.

(*) C.S.U. = CLASIFICACION SISTEMA UNIFICADO

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,



Omar E. Medrano Méndez
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.

Telma Maricela Cano Morales
Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC

