



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

**REHABILITACIÓN, MEJORAMIENTO Y DISEÑO DE PAVIMENTO DEL
TRAMO CARRETERO DE GUAJAQUEÑO, MUNICIPIO SAN ANTONIO
HUISTA A TRES CAMINOS, MUNICIPIO UNIÓN CANTINIL,
HUEHUETENANGO.**

María Soledad Ronquillo Marroquín

Asesorado por el Ing. Juan Merck Cos

Guatemala, noviembre de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**REHABILITACIÓN, MEJORAMIENTO Y DISEÑO DE PAVIMENTO DEL
TRAMO CARRETERO DE GUAJAQUEÑO, MUNICIPIO SAN ANTONIO
HUISTA A TRES CAMINOS, MUNICIPIO UNIÓN CANTINIL,
HUEHUETENANGO.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARÍA SOLEDAD RONQUILLO MARROQUÍN

ASESORADO POR EL ING. JUAN MERCK COS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I:	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II:	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III:	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV:	Br. José Milton de León Bran
VOCAL V:	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA:	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR:	Ing. Fernando Boiton
EXAMINADOR:	Ing. Juan Merck Cos
EXAMINADOR:	Ing. Silvio Rodríguez
SECRETARIO:	Inga. Marcia Ivónne Véliz 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:

REHABILITACIÓN, MEJORAMIENTO Y DISEÑO DE PAVIMENTO DEL TRAMO CARRETERO DE GUAJAQUEÑO, MUNICIPIO SAN ANTONIO HUISTA A TRES CAMINOS, MUNICIPIO UNIÓN CANTINIL, HUEHUETENANGO,

tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, con fecha seis de julio de 2007.

María Soledad Ronquillo Marroquín

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 01 de agosto de 2008
REF.EPS. D.438.08.08

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

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña:

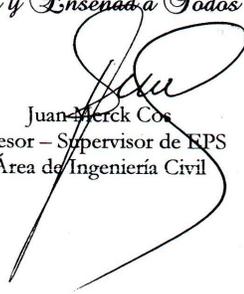
Por este medio atentamente le informo que como Asesor – Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S), de el (la) estudiante universitario (a) **MARÍA SOLEDAD RONQUILLO MARROQUÍN** de la Carrera de Ingeniería Civil, con **carne No. 200230390**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“REHABILITACIÓN, MEJORAMIENTO Y DISEÑO DE PAVIMENTO DEL TRAMO CARRETERO DE GUAJAQUEÑO, MUNICIPIO SAN ANTONIO HUISTA A TRES CAMINOS, MUNICIPIO UNIÓN CANTINIL, HUEHUETENANGO”**.

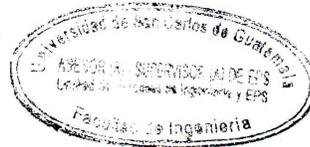
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Juan Merck Cos
Asesor – Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Civil



JMC./as

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 01 de agosto de 2008
REF.EPS. D.438.08.08

Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Simules Milson:

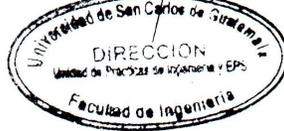
Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"REHABILITACIÓN, MEJORAMIENTO Y DISEÑO DE PAVIMENTO DEL TRAMO CARRETERO DE GUAJAQUEÑO, MUNICIPIO SAN ANTONIO HUISTA A TRES CAMINOS, MUNICIPIO UNIÓN CANTINIL, HUEHUETENANGO"** que fue desarrollado por el (la) estudiante universitario (a) **MARÍA SOLEDAD RONQUILLO MARROQUÍN**, quien fue debidamente asesorado (a) y supervisado (a) por el Ingeniero (a) **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 (a) - Supervisor (a) 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/as

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



Guatemala,
27 de octubre de 2008

FACULTAD DE INGENIERIA

Ingeniero
Sydney Alexander Samuels Milson
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Samuels.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **REHABILITACIÓN, MEJORAMIENTO Y DISEÑO DE PAVIMENTO DEL TRAMO CARRETERO DE GUAJAQUEÑO, MUNICIPIO SAN ANTONIO HUISTA A TRES CAMINOS, MUNICIPIO UNIÓN CANTINIL, HUEHUETENANGO**, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil María Soledad Ronquillo Marroquín, 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



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
TRANSPORTES
USAC

Ing. Armando Fuentes Roca
Revisor por el Área de Topografía y Transporte

/bbdeb.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. INVESTIGACIÓN	
1.1 Diagnóstico sobre lugares turísticos y con potencial turístico de la Mancomunidad Huista.	1
1.2 Estrategias para la implementación del turismo en los municipios de la Mancomunidad Huista.	8
2. SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	
Rehabilitación, mejoramiento y diseño de pavimento del tramo carretero de Guajaqueño, municipio San Antonio Huista a Tres Caminos, municipio Unión Cantinil, Huehuetenango.	
2.1 Descripción del proyecto	27
2.2 Preliminar de campo	28
2.2.1 Reconocimiento	28

2.2.2	Levantamiento topográfico preliminar	30
2.2.2.1	Planimetría	
2.2.2.2	Altimetría	30
2.2.2.3	Secciones transversales del camino	30
2.3	Cálculo topográfico preliminar	30
2.3.1	Revisión de libretas de campo	30
2.3.2	Planimetría	31
2.3.3	Altimetría	31
2.3.4	Secciones transversales	33
2.3.5	Curvas de nivel	31
2.4	Dibujo de preliminar	32
2.4.1	Planimétrico	32
2.4.2	Altimétrico	32
2.4.3	Curvas de nivel	32
2.5	Diseño de localización	33
2.5.1	Corrimiento de línea	35
2.5.2	Cálculos de elementos de curva horizontal	38
2.5.3	Determinación de curva vertical	50
2.6	Movimiento de tierras	53
2.6.1	Subrasante	53

2.6.2	Corrección por curva vertical a subrasante	56
2.6.3	Áreas de secciones transversales	58
2.6.4	Volúmenes de tierra	58
2.7	Determinación de la calidad del suelo	63
2.7.1	Pruebas de laboratorio	63
2.7.2	Criterios para definir la capa de rodadura	72
2.8	Diseño de la carpeta de rodadura	72
2.9	Cálculo de localización	111
2.9.1	Cálculo de PI de localización	111
2.9.2	Cálculo de elementos de curva y estacionamientos	111
2.10	Drenajes	111
2.10.1	Drenaje longitudinal	112
2.10.2	Drenaje transversal	113
2.11	Elaboración de planos del proyecto	117
2.12	Presupuesto	117
2.12.1	Cuantificación de materiales y mano de obra	118
2.12.2	Integración de presupuesto	118
	CONCLUSIONES	127
	RECOMENDACIONES	129
	BIBLIOGRAFÍA	131

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Inicio del camino existente, aldea Guajaqueño	27
2	Final del camino existente, aldea Tres Caminos	28
3	Puente del río Limón	29
4	Viviendas existentes a la orilla del camino	29
5	Curvas de nivel y camino existente	33
6	Corrimiento de línea preliminar	35
7	Coordenadas totales de PI de la línea de localización	37
8	Elementos que componen una curva horizontal	38
9	Grado de curvatura	39
10	Cálculo de elementos de curva horizontal	46
11	Cambio proporcional del peralte	48
12	Tipos de curvas verticales	51
13	Curva vertical	57
14	Tipos de secciones transversales	59
15	Volumen entre secciones del mismo tipo	59
16	Volumen entre secciones de diferente tipo	60
17	Áreas de corte de secciones transversales	61
18	Áreas de corte y relleno de secciones transversales	62
19	Porcentaje que pasa en cada tamiz	67
20	Gráfica de densidad seca-contenido de humedad	69
21	Gráfica de CBR – porcentaje de compactación	71
22	Espesor indicado por el CBR	96
23	Espesor indicado por el índice de grupo (IG)	97
24	Módulo de reacción de la subrasante	103

25	Área a drenar por la tubería del kilómetro 775	111
26	Gráfica de intensidad de lluvia-duración, para San Antonio Huista	112

TABLAS

I	Servicios básicos en municipios y sitios turísticos visitados de la Mancomunidad Huista	18
II	Vías de acceso, saneamiento y vivienda en municipios y sitios turísticos visitados de la Mancomunidad Huista	19
III	Mejoras a realizar en los sitios turísticos y poblados cercanos	21
IV	Características geométricas	34
V	Especificaciones para curvas circulares	40
VI	Ejemplo de cálculo de elementos de curva horizontal	49
VII	Valores de K para curvas cóncavas y convexas	51
VIII	Ejemplo de determinación de longitud de curvas verticales	53
IX	Corrección de sub rasante por curva vertical	58
X	Resultado de los ensayos de límites de Atterberg	65
XI	Tipología de suelos SUCS	66
XII	Clasificación de suelos AASHTO	66
XIII	Resultado del ensayo de análisis granulométrico	67
XIV	Ejemplo de cálculo para el ensayo de proctor modificado	68
XV	Resultados del ensayo proctor modificado	69
XVI	Valores de carga unitaria para calcular el CBR	70
XVII	Resultados del ensayo de razón soporte California	71
XVIII	Clasificación cualitativa de los suelos por medio de su CBR	74
XIX	Requisitos a cumplir por la capa de sub-base	78
XX	Requisitos a cumplir por la capa de base	79
XXI	Tipos de graduación para material de subbase o base granular	80
XXII	Graduación de los agregados	84

XXIII	Porcentaje por peso que pasa por tamices de abertura cuadrada	85
XXIV	Clases de concreto	86
XXV	Proporcionamiento del concreto con base en la relación agua/cemento máxima y del contenido de cemento mínimo	88
XXVI	Diseño de espesores (espesores recomendados para cargas por rueda de 4,500 kg (10,000 lb.))	91
XXVII	Tránsito total durante 24 horas	93
XXVIII	Clasificación del tránsito	94
XIX	Bases estabilizadas o mezcla de agregados	95
XXX	Categorías de carga por eje	100
XXXI	Valores de k para diseño sobre bases granulares (de PCA)	104
XXXII	Tipos de suelos de subrasante y valores aproximados de k	105
XXXIII	TPCD permisible, carga por eje categoría 1	106
XXXIV	Ejemplo de integración de costos por renglón	119
XXXV	Costo total de la carretera utilizando pavimento rígido	125
XXXVI	Costo total de la carretera utilizando pavimento flexible	126

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro.
m	Metro.
Mm	Milímetro.
km	Kilómetro.
m/s	Metros por segundo.
m ²	Metros al cuadrado.
m ³ /s	Metros cúbicos por segundo.
Kg/Cm ²	Kilogramo por centímetro cuadrado.
Kg/m ³	Kilogramo por metro cúbico.
lb/p ³	Libra por pie cúbico.
lb/pulg ²	Libra por pulgada cuadrada.
MPa	Mega pascales.
Núm.	Número.
I	Intensidad de lluvia.
C	Coefficiente de escorrentía superficial.
mm/h	Milímetros por hora.
n	Coefficiente de rugosidad.
φ	Diámetro.
Q	Caudal a drenar en tuberías expresada en m ³ /s.
Mín	Mínima.
Máx	Máxima.
P.U.	Precio unitario.
U	Unidad.

Q	Quetzales.
M.O.	Mano de obra.
D.G.C.	Dirección General de Caminos.
$f'c$	Resistencia mínima a la compresión.
IGSS	Instituto Guatemalteco de Seguridad Social.
%	Por ciento.
°	Grado angular.
“	Pulgadas.
Psi	Libra sobre pulgada cuadrada.
$f'c$	Resistencia del concreto.
A/C	Relación agua y cemento.
AASHTO	Asociación Americana de Autopistas Estatales y Transportes Oficiales.
PCA	Asociación del Cemento Pórtland.
ASTM	Asociación Americana de ensayos en materiales.
TPD	Tráfico promedio diario.
TPDC	Tráfico promedio diario de camiones.
PCV	Principio de curva vertical.
PIV	Punto de intersección de subtangentes verticales.
PTV	Principio de tangente vertical.
PC	Principio de curva horizontal.
PI	Punto de intersección.
PT	Principio de tangentes horizontales.
LC	Longitud de curva.
Est.	Estación.
S%	Pendiente en porcentaje.
R	Radio de giro.
KPH	Kilómetro por hora.
G	Grado de curvatura.

Δ	Diferencia algebraica de pendientes.
LS	Longitud espiralada.
ST	Subtangente.
Tgmin	Tangente mínima
K	Constante que depende de la velocidad de diseño
MR	Módulo de ruptura del concreto

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 asfalto refinado, o 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./pies^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	Cedazo de 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 está dirigido a seleccionar la mejor opción para solucionar el problema de accesibilidad a la cabecera municipal de Unión Cantinil, Huehuetenango, ya que es muy importante que los habitantes del lugar cuenten con una carretera en buenas condiciones que ayude a mejorar su desarrollo económico y social.

La fase de investigación trata sobre el proyecto realizado como parte de programa EPSUM (Ejercicio Profesional Supervisado Multiprofesional), en donde se desarrolló un plan para desarrollar el turismo de la Mancomunidad Huista. Se enfocó en dos partes: un diagnóstico sobre lugares turísticos y con potencial turístico de la Mancomunidad Huista y diferentes estrategias para la implementación del turismo en los municipios de la Mancomunidad Huista.

En la fase técnica, se realizó una propuesta para el mejoramiento del tramo carretero que comprende mejoras en el diseño geométrico existente y diseño de pavimento. Para proporcionar una solución técnica se efectuaron las siguientes actividades: visitas preliminares, levantamiento topográfico, cálculo topográfico, diseño geométrico, cálculo de áreas de secciones transversales y movimiento de tierras, diseño de drenajes transversales y longitudinales, diseño de pavimento tanto rígido como flexible, integración de presupuesto y dibujo de planos. Como resultado se obtuvo un diseño geométrico según la sección típica “E”, y el diseño de la carpeta de rodadura de pavimento rígido y flexible.

OBJETIVOS

GENERAL

- Desarrollar el proyecto de Rehabilitación, mejoramiento y diseño de pavimento del tramo carretero de Guajaqueño, municipio San Antonio Huista a Tres Caminos, municipio Unión Cantinil, Huehuetenango.

ESPECÍFICOS:

1. Rediseñar la geometría de la carretera existente del tramo Guajaqueño-Tres Caminos para que cumpla las normas y especificaciones sobre carreteras de Guatemala y brindar así un mejor servicio y seguridad a usuarios.
2. Diseñar y proponer la mejor opción de pavimento, tanto económica como técnica, para el tramo Guajaqueño-Tres Caminos.
3. Presentar un diagnóstico de los sitios turísticos de los municipios de la Mancomunidad Huista.
4. Proponer diferentes estrategias para el desarrollo del turismo en los municipios de la Mancomunidad Huista.

INTRODUCCIÓN

La Mancomunidad Huista está conformada por los municipios de: Santa Ana Huista, San Antonio Huista, Concepción Huista, La Democracia, Unión Cantinil, Jacaltenango, San Miguel Acatán, Todos Santos Cuchumatán y Nentón pertenecientes al departamento de Huehuetenango, esta región posee diversos potenciales que pueden permitir su desarrollo social y económico, dentro de los mismos resalta la belleza escénica, la riqueza cultural y su patrimonio natural, dichos atributos hacen de la mancomunidad Huista un sitio ideal para el desarrollo de proyectos turísticos. Por otro lado, tanto las comunidades como los turistas, necesitan vías de acceso adecuadas para movilizarse, transportar sus productos y acceder a los servicios. Con base a lo anterior, el presente documento integra un proyecto de rehabilitación, mejoramiento y diseño de pavimento del tramo carretero de Guajaqueño, municipio San Antonio Huista a Tres Caminos, municipio Unión Cantinil, Huehuetenango; así como los resultados de la investigación realizada sobre el potencial turístico de la Mancomunidad Huista, realizada en equipo como parte del programa EPSUM (Ejercicio Profesional Supervisado Multiprofesional) delineando un plan para el desarrollo del potencial turístico de la Mancomunidad Huista, (área de desarrollo del EPS). Para llevar a cabo este trabajo, se realizó un diagnóstico a los sitios turísticos y con potencial turístico y por medio de él se propusieron estrategias para la implementación del turismo en los municipios de la Mancomunidad Huista, enfocadas a las diferentes áreas profesionales de los integrantes del equipo, administración de empresas, comunicación social, trabajo social e ingeniería civil, con el fin de poder implementarlas y ayudar al desarrollo de las comunidades por medio de los recursos con que cuentan y de la organización de sus integrantes.

El proyecto de rehabilitación, mejoramiento y diseño de pavimento del tramo carretero de Guajaqueño, municipio San Antonio Huista a Tres Caminos, municipio Unión Cantinil, Huehuetenango, está enfocado a mejorar las condiciones de acceso de Unión Cantinil, el cual se constituyó como el municipio 332, según el ordenamiento geográfico de República de Guatemala, en el año 2005, se integró todos los centros poblados que pertenecían a las aldeas de Cantinil y Tajumuco; su población oscila aproximadamente de 16,639 habitantes. Entre las necesidades prioritarias del municipio se encuentra el mejoramiento y/o construcción de sus vías de acceso, ya que económicamente es de suma importancia para el desarrollo de sus habitantes. Se escogió este proyecto para dar una posible solución técnica al problema de accesibilidad del municipio, ya que actualmente solo cuenta con tres vías de acceso, todas de terracería en la mayor parte de su longitud, y se encuentran en mal estado.

Para desarrollar el proyecto mencionado, se realizaron las siguientes actividades: visitas preliminares, levantamiento y cálculo topográfico, diseño geométrico de la carretera, cálculo de movimiento de tierras, diseño de drenajes transversales y longitudinales, diseño de pavimento, presentando dos opciones: pavimento rígido y pavimento flexible y el presupuesto de ambos pavimentos para determinar cuál es la mejor opción tanto técnica como económica y dibujo de planos.

1. INVESTIGACIÓN: PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DEL CORREDOR TURÍSTICO DE LA MANCOMUNIDAD HUISTA

1.1. Diagnóstico de los lugares turísticos y con potencial turístico de la Mancomunidad Huista.

Aspectos generales de la Mancomunidad Huista

La Mancomunidad Huista está conformada por nueve municipios del departamento de Huehuetenango que son: Santa Ana Huista, San Antonio Huista, Concepción Huista, La Democracia, Unión Cantinil, Jacaltenango, San Miguel Acatán, Todos Santos Cuchumatán y Nentón. Tiene una extensión territorial de 1,288 kilómetros cuadrados equivalentes al 16.83% del territorio del departamento. La población total es de 184,591 habitantes para el año 2003, según el Censo Nacional realizado por el Instituto Nacional de Estadística (INE). De ellos el 49.7% son hombres y el 50.3% son mujeres. La población indígena en algunos de los municipios es hasta del 99.4%, y en promedio en la Mancomunidad es del 72.2%. La población general está distribuida en 119 aldeas, 281 caseríos, 17 cantones y 8 cabeceras municipales. Cuenta con diferentes expresiones culturales tales como: Poptí, Mam, Akalteco, Chuj y Español. Además es una zona de repatriados, 3,322 personas registradas en datos oficiales. En su punto más alto, el nivel de pobreza es de 91.83% de la población con una pobreza extrema del 60%. Los municipios de la Mancomunidad están entre los más pobres del país. Los indicadores de desarrollo humano tienen un promedio de 0.56. En la región se destacan los altos niveles de analfabetismo con un promedio de 52.2%. Existe una deficiente cobertura de los niveles de escolaridad pre-primario, primario y básico y ninguna atención local en estudios universitarios. El déficit y deficiencias en la infraestructura y equipamiento escolar son altos. Las enfermedades más comunes que pueden causar muerte son las del aparato respiratorio y las del aparato digestivo, que son

prevenibles con programas adecuados de sanidad. Las coberturas de saneamiento básico también son deficientes: en el caso del agua hay municipios en donde el 79% de la población no poseen sistemas de agua aptos para el consumo humano; en los municipios más afortunados solamente el 30% de la población no cuenta con agua potable. En relación a la disposición final de las excretas, hay municipios donde el 77% de las casas no cuentan con sistemas sanitarios adecuados, y los municipios que se encuentran mejor tienen un total de 43% de casas que no cuentan con un sistema adecuado. Las viviendas en su mayoría son de un ambiente, piso de tierra y con paredes de adobe. La falta de sistemas de abastecimiento de agua potable higiénicos y de la disposición adecuada de las excretas, así como las malas condiciones de vivienda son determinantes causales para que existan en la Mancomunidad Huista las enfermedades del aparato digestivo y respiratorio.

La Mancomunidad Huista cuenta con gran potencial sin ser explotado por sus habitantes, tales como: flora, fauna y diversidad de clima, que es un factor importante para que tenga lugares de belleza sin igual, que pueden ser una fuente de ingresos para sus pobladores, creando así fuente de trabajo sin salir de sus comunidades. El recurso más importante es la población, que es la forjadora de desarrollo en las comunidades, pero que también decide el futuro de las mismas. A continuación se presenta una breve descripción de los lugares turísticos y con potencial turístico visitados de la Mancomunidad Huista:

1.1.1. Sitios turísticos visitados de San Antonio Huista

Cataratas de Yalancú, Las Canoas y La Cieneguita: son sitios naturales conformados por ríos, arroyos y caídas de agua que se encuentran en el municipio de San Antonio Huista. Para llegar a la catarata de Yalancú se necesita salir del cantón Central de San Antonio Huista hacia el cantón Reforma, por la carretera pavimentada que conduce a Santa Ana Huista; este tramo se puede recorrer en microbús o caminando,

toma aproximadamente 25 minutos a pie. Para llegar a las cataratas de Las Canoas se requiere caminar alrededor de 45 minutos más por vereda; para llegar a la catarata de La Cieneguita es necesario continuar la caminata por 25 minutos más, también por vereda. Para regresar a la cabecera municipal existen dos opciones, la primera es realizar el recorrido de regreso por los mismos lugares y la segunda es caminar a la orilla del río que viene de Todos Santos hasta el puente conocido como La Hamaca y subir por vereda durante una hora. Se caminan aproximadamente 5.2 km desde el parque central de San Antonio Huista. Estos sitios están rodeados de fincas que son propiedad privada. El clima es templado, lluvioso en invierno, pero accesible. La flora y fauna del lugar consiste en siembras de maíz, café, bananos, plátanos, coyegües y aguacates; cola de Quetzal y sabinos; caballos, vacas y burros. En lo que se refiere a contaminación y basura se puede mencionar que la catarata de Yalancú es la más contaminada ya que trae las aguas negras de la cabecera municipal, sin ningún tratamiento; también se observa basura que los pobladores y visitantes del lugar tiran a los alrededores. El acceso al área es gratuito. No existe señalización que guíe al visitante por las veredas y caminos y ningún tipo de instalaciones. Los visitantes pueden bañarse en las pozas, el lugar es ideal para comer y descansar. Se puede observar el río Todos Santos y las cadenas montañosas. Es recomendable regresar a la cabecera municipal para hospedarse ya que en las cataratas no hay servicios de hospedaje y alimentación.

La Ermita de Hipaná: es una capilla católica que está situada sobre una cueva en donde según los pobladores hizo su aparición la Virgen de Guadalupe; es un lugar folklórico en donde se pueden observar manifestaciones religiosas y creencias populares. Se encuentra en el cantón Norte de San Antonio Huista, caminando aproximadamente 15 minutos desde el parque del cantón Central por una calle pavimentada. Los alrededores son propiedad privada. El clima es templado. Afuera de la capilla existe basura que los visitantes tiran, no hay depósitos de basura cerca del sitio. El acceso es gratuito. No existe señalización que guíe al visitante para llegar a la capilla. Existen bancas de concreto que están fuera de la capilla. Es visitada con más frecuencia en el mes de

diciembre que es la fecha que se celebra el día de la Virgen de Guadalupe. Se puede entrar a la capilla a observar la imagen de la virgen, también bajar a la gruta en donde se encuentra otra imagen. El visitante puede hospedarse y encontrar alimentación en el Cantón Central.

1.1.2. Sitios turísticos visitados de Santa Ana Huista

Cueva del Limón y Cueva con Agua: son sitios naturales formados por cuevas y ríos. Están ubicadas en la aldea Agua Escondida de Santa Ana Huista. Para llegar a ellas se recorren aproximadamente 10.1 km en carretera de pavimento desde la cabecera municipal de Santa Ana Huista hasta el entronque a la aldea Agua Escondida, pasando por la aldea Cuatro Caminos; después se recorren 1.1 km de camino de terracería hasta llegar a la aldea, y por último se camina por vereda aproximadamente 2.5 km. Las cuevas están rodeadas por terrenos que son propiedad privada. El clima es cálido, es recomendable ir en verano pues en invierno el agua está turbia. La fauna y flora del lugar consiste en: maní, jocote corona, papaya y nance; murciélagos que se observan dentro de las cuevas y animales de carga. El grado de contaminación por basura es mínimo y el acceso al lugar es gratuito. No existe señalización ni ningún tipo de instalación en las cuevas. Las actividades que se pueden realizar son: una caminata dentro de la Cueva del Limón observando las formaciones de estalactitas y estalagmitas, introducirse hasta encontrar el río y pescar dentro de la cueva. En la Cueva con Agua se observa la salida del río Huista y la unión de éste con el río Selegua, se puede nadar y pescar, los habitantes de la región se ofrecen como guías. En la aldea Agua Escondida no se cuenta con servicios de hotelería y alimentación, por lo que hay que viajar a la cabecera municipal para obtenerlos.

El Resumidero o El Sumidero: es un sitio natural formado por una cueva y un río que entra en ésta. Se ubica en la aldea El Tabacal, Santa Ana Huista. Para llegar se recorren aproximadamente 7 km en carretera pavimentada desde la cabecera municipal

de Santa Ana Huista hasta la aldea El Tabacal; después se recorren 500 metros caminando entre el cafetal. El Resumidero se encuentra en una finca de café propiedad privada, el acceso al lugar es gratuito pero hay que pedirle permiso al dueño del terreno para poder entrar en él. El clima es cálido y es recomendable ir en verano pues en invierno el agua está turbia. Se observa basura que contamina el suelo, depositada por los visitantes del lugar, no hay recipientes para depositar los desechos y no existe señalización ni ningún tipo de instalación. En la aldea El Tabacal no se cuenta con servicios de hotelería y alimentación, por lo que hay que viajar a la cabecera municipal para obtenerlos.

1.1.3. Sitios turísticos visitados de Jacaltenango

Cabecera municipal de Jacaltenango: es un lugar en el que se puede apreciar el folklore (artesanías, manifestaciones religiosas y creencias populares). Se encuentra a 126 km de la cabecera departamental de Huehuetenango y a 10 km de la cabecera municipal de San Antonio Huista; el camino está pavimentado. El clima es de frío a templado. Se observa basura que contamina las calles del pueblo. Se puede observar a los artesanos del lugar elaborar su traje típico, adornos, pulseras, sombreros de palma, artículos hechos con fibra de maguey y madera, morería, máscaras y trajes de bailes regionales: las mujeres producen cintas de vivos colores que se comercializan dentro y fuera del país. Uno de los más valiosos atractivos del lugar, además de sus artesanías, son los bailes folklóricos que pueden apreciarse durante la celebración de la advocación de la virgen de Candelaria, del 31 de enero al 2 de febrero, y en los festejos de Corpus Christi. Hay hoteles y restaurantes en el lugar.

Centro Ceremonial Q`anil: es una montaña en donde se puede apreciar el folklore de Jacaltenango (manifestaciones religiosas y creencias populares). Se encuentra en el municipio de Jacaltenango; para llegar a este sitio es necesario llegar al lugar denominado El Rancho que está entre los municipios de San Antonio Huista y

Jacaltenango, más o menos a 15 minutos en microbús en camino pavimentado; luego se empieza la caminata hacia el cerro, que dura aproximadamente 30 minutos por vereda. El clima es templado. La flora del lugar consiste en siembras de maíz, ciprés y cafetales. Existen veredas para llegar a la cima del cerro, en donde se encuentran varios altares mayas, bancas de madera y una galera en donde hacen fogatas. Se observa basura que contamina el suelo, depositada por los visitantes del lugar. El acceso al lugar es gratuito. No existe señalización. En la cima se pueden ver los poblados de San Antonio Huista, Jacaltenango, San Andrés y San Marcos Huista, y parte de México. Se cuenta con servicios de hotelería y alimentación en la cabecera municipal de Jacaltenango, además de los servicios que presta San Antonio Huista que se encuentra a 20 minutos del Centro Ceremonial.

1.1.4. Sitios turísticos visitados de Concepción Huista

Ruinas de Yulá: es un sitio natural en donde se pueden observar caminos pintorescos y el folklore de las comunidades. Se encuentra en la aldea Yulá, y se llega por un camino de terracería que se encuentra en mal estado de aproximadamente 5.2 km que va hacia Yulá desde la cabecera municipal de Concepción Huista. El clima es templado. La fauna y flora que se observa es: siembra de maíz, cafetales, cipreses y diversas aves. Se observa basura que contamina el suelo, depositada por los visitantes del lugar. El acceso al lugar es gratuito. No existe señalización. Existen bancas hechas con árboles en donde se puede descansar. Las actividades a realizar son: visitar a los centros ceremoniales y observar el río azul. No se cuenta con servicios de hotelería y alimentación en el sitio y tampoco en la cabecera municipal de Concepción Huista, por esto sería necesario viajar a Jacaltenango o a Todos Santos Cuchumatán para obtener estos servicios.

1.1.5. Sitios turísticos visitados de Todos Santos Cuchumatán

Recorrido hacia la Torre: es una caminata en la sierra de Los Cuchumatanes en donde se pueden observar los diversos paisajes, aves (como el pájaro carpintero), árboles (bosques de huito y pinabete) y flores de la región, en el ascenso hacia el lugar más alto de la sierra denominado La Torre (es necesario contratar los servicios de un guía pues no existe señalización). La caminata empieza en la aldea La Ventosa que se encuentra a 40 minutos en bus de la cabecera municipal de Todos Santos Cuchumatán. El ascenso hacia el mirador La Torre se hace por vereda y dura aproximadamente una hora y 40 minutos. El descenso puede ser por el mismo lugar o por los bosques de huito y pino, pasando por la laguna Ordóñez, hasta llegar a un banco de materiales que se encuentra a 20 minutos en pick-up de la cabecera municipal. El clima es frío. No se observa contaminación por basura. El acceso al lugar es gratuito. En el mirador La Torre existen mesitas para descansar y ver el paisaje, además de una letrina. Se cuenta con servicios de hotelería y alimentación en la cabecera municipal de Todos Santos Cuchumatán.

Balam Museum: es un museo que se encuentra en la cabecera municipal de Todos Santos Cuchumatán, para llegar a él se debe caminar por las calles del pueblo, se encuentra cerca del parque central. El clima del pueblo es frío y se observa basura que contaminan las calles. Se paga una cuota de Q. 5.00 para poder ingresar al museo, en él se pueden apreciar diferentes atuendos y objetos utilizados por los antepasados todosanteros hasta la actualidad, observar fotografías y leer bibliografía en donde se documenta información importante de este pueblo y sus habitantes.

1.1.6. Sitios turísticos visitados de Nentón

Laguna Brava o Yulnajib: es un sitio natural formado por una laguna, ríos y montañas, se ubica en la aldea Yalambojoch del municipio de Nentón. Para llegar se viaja de la cabecera municipal de Nentón hacia la aldea Yalambojoch por un camino de

aproximadamente 53 km. de largo, que es mitad de terracería y mitad de pavimento. Se ingresa a la laguna por la aldea en donde se le es asignado un guía al grupo o persona visitante. Desde la aldea se desciende por las montañas a través de veredas, se camina alrededor de dos horas. El área pertenece y es cuidada por los pobladores de la aldea, pero también se puede llegar a la laguna por otras aldeas. El clima es templado. Entre la vegetación se encuentran: pinos, milpa, cafetales, naranja, y otras flores y árboles de la región; y entre la fauna: animales de carga, peces y aves de la región. Casi no se ve basura en el lugar ya que existen fosas en donde es depositada la basura y el guía asignado por el comité de turismo de la aldea es el responsable de tirar la basura y mantener limpio el lugar. El agua de la laguna no está contaminada. Existen cabañas de madera y una letrina, las cabañas tienen un precio de Q. 25.00 por persona, además los servicios de guía y caballos cuestan Q100.00 cada uno. No existe señalización que guíe al visitante por las veredas y caminos.

1.2. Estrategias para la implementación del turismo en los municipios de la Mancomunidad Huista

1.2.1. Estrategia de organización, dirección y control del plan de desarrollo del potencial turístico de la Región Huista.

Fase 1 del estudio de mercado: la presente información es el resultado de una encuesta realizada a determinado número de habitantes, de la cabecera departamental de Huehuetenango, respecto a ecoturismo; con el fin de tener una idea más clara de lo que ellos creen del ecoturismo y su participación al momento de promocionar los lugares turísticos de la Mancomunidad Huista. Las personas entrevistadas están entre los 18 y 50 años de edad, de clase media; 12% de las personas encuestadas son casados y el 88% de las personas son solteros; 64% es de sexo femenino y 36% masculino. Los resultados más importantes son los siguientes:

- **Clase de paquete ecoturístico:** el 86% de la población encuestada prefiere un servicio completo, y el 14% sólo transporte y hospedaje. Por esto, al promocionar el potencial ecoturístico, se debe hacer énfasis en promocionar paquetes turísticos todo incluido.
- **Expectativas de un recorrido ecoturístico:** conocer la cultura, historia y naturaleza de los lugares, contando con personal capacitado en las diferentes áreas para hacer un recorrido más ameno y completo respecto a información del lugar, que se cuente con información escrita. Que los lugares turísticos cuenten con la capacidad instalada para prestar un buen servicio al cliente. Actividades a realizar: deportivas (juegos de foot-ball, nadar, equitación y caminata, bucear, pescar, escalar montañas, rafting, rally), de descanso (relajamiento completo), conocer artesanías, paseos en lancha, actividades de recuperación vegetal y animal, camping. Con esto conocemos el tipo de actividades que se pueden programar o planificar en los lugares con potencial ecoturístico.
- **Servicios o productos de los lugares ecoturístico:** hoteles, restaurantes, supermercado, servicios básicos, primeros auxilios, Internet, medio adecuado de transporte, guías personales y trifoliales o información escrita, ventas de alimentos típicos de la región, seguridad, sauna, jacuzzi y servicios de fotografía. Hay que realizar un conteo para conocer cuantos de los servicios arriba mencionados existen en la Mancomunidad Huista. Las expectativas de algunos servicios son las siguientes: el transporte debe ser seguro, cómodo, puntual, rápido, que se encuentren en buen estado y que sea el adecuado para los caminos de los lugares con potencial turístico. Hoteles limpios, cómodos, seguros, buenas instalaciones, con piscina, área de deportes, servicio de calidad, higiénico y eficiente. Los precios sugeridos por la población encuestada se encuentra entre Q 100.00 y Q150.00. Estos precios se deben tomar en cuenta, para saber hacia donde dirigir la estrategia de minimización de costos en los servicios hoteleros con la finalidad de obtener el mayor nivel de rentabilidad en la prestación de este servicio. Restaurantes con variedad de platillos tradicionales de la región y buen servicio al

cliente. Precios que estarían dispuestos a pagar por platillo: oscilan de Q 25.00 a Q 100.00 o más, la mayoría de la población encuestada está dispuesta a pagar entre Q 50.00 y Q 75.00 por un platillo de comida. El 94% de la población está de acuerdo con el pago por ingreso a los lugares ecoturísticos para el mantenimiento, limpieza, remodelaciones, etc. de los mismos. El 6% en desacuerdo con el pago, manifestó que no es justo pagar por convivir con la naturaleza y recreación.

- **Condiciones de los lugares ecoturísticos:** Lugar higiénico y seguro, que cuente con todas las señalizaciones necesarias para su guía (estas deben estar enfocadas a no perder el ambiente natural), y que también cuente con guías debidamente capacitados, para un eficiente desarrollo de las actividades, con una política de sostenimiento de los recursos naturales y con mantenimiento a las áreas para su durabilidad. Según las expectativas y/o sugerencias de la población respecto a cuanto debe durar un recorrido eco-turístico, la mayoría del porcentaje se encuentra ubicado en 3 y 4 días.

Organización: se propone una oficina turismo como organismo de ejecución. Será responsable de ejecutar la estrategia general para la puesta en marcha del aprovechamiento del potencial turístico de los municipios de la Mancomunidad Huista. Dirigida por un técnico en diseño, planificación y ejecución de estrategias, con enfoque turístico en sus diversas formas de aplicación. Constituido en la Oficina Intermunicipal de Ecoturismo, instancia creada dentro de la estructura organizativa, la cual tendrá la responsabilidad general de velar por la buena administración de los recursos turísticos con los que cuenta la Mancomunidad. Las áreas en las cuales hay que trabajar desde el punto de vista de productos y servicios a ofrecer a los turistas son: ordenación turística del territorio, conservación y restauración del patrimonio histórico/monumental, protección y cuidado del entorno, promoción e integración de la región turística de la Mancomunidad Huista y potenciación del capital humano.

Dirección. Debe estar enfocada a: **política intermunicipal:** colocando al turismo como política prioritaria de la mancomunidad y por ende de los municipios, como una forma de disminuir el nivel de pobreza y pobreza extrema de cada municipio o comunidad. **Producto y mercadeo:** con la particularidad que el ecoturista se caracteriza por su interés en la naturaleza y las culturas, por lo tanto el mercadeo debe orientarse a proporcionar información de alta calidad para incrementar sus niveles de conocimiento y así atraer más turistas a la región de la Mancomunidad Huista, siendo esta una forma de crear una marca intermunicipal. **Calidad:** orientada principalmente al mejoramiento de la infraestructura y servicios ecoturísticos con una adecuada gestión ambiental de la oferta. **Educación:** orientada a la construcción de una cultura eco-turística de las personas que viven en las comunidades de la mancomunidad, mediante la ejecución de acciones tanto en la educación formal, en sus distintos niveles como en la educación sobre derechos y deberes ciudadanos, capacitación permanente y especializada, así como campañas para promover el conocimiento de la biodiversidad y culturas de la región Huista con especial atención a las áreas naturales protegidas.

Mejoras respecto a los servicios: se ha identificado que se encuentran deficiencias respecto al servicio que se presta en el sector hotelero, restaurantes, en los lugares turísticos etc. Para obtener un nivel adecuado para la puesta en marcha de la promoción del potencial ecoturístico de la mancomunidad, es necesario realizar talleres y evaluaciones con los propietarios de los hoteles y restaurantes para realizar las mejoras en los servicios y llevar un mejor control de ellos.

Venta y promoción. Se divide la venta y promoción de la siguiente manera: **competencia:** se considera en un nivel bajo ya que no se cuenta con bastantes empresas que promocionen el turismo en sus diferentes actividades por lo que esto hace una gran oportunidad para la Mancomunidad Husita siendo la única competencia en el mercado del turismo Unicornio Azul que se dedica a promover paseos a caballo en la Sierra de los Cuchumatanes. **Nicho de mercado:** se puede promocionar al mercado en general

por los medios e instrumentos de promoción previstos en la estrategia de comunicación.

Precio: en el cual se debe enfocar el trabajo de promoción de los lugares ecoturísticos, debe ser contemplado en las expectativas respecto a los precios sugeridos por la población, incluido en la fase I del estudio de mercado.

Financiamiento: es necesario crear alianzas estratégicas con diferentes instituciones financieras de proyectos de desarrollo, como la Cooperación Europea, canadiense, alemana, etc.; y con el sector privado que esté interesado en participar en el proyecto.

Monitoreo y evaluación: se debe realizar como la tercera fase del estudio de mercado enfocado en la estrategia de hacerlo sostenible. Con él se conoce el nivel de satisfacción de los consumidores, para poder crear las estrategias de mejoras en el servicio que se presta.

1.2.2. Estrategia de sensibilización

Justificación: la presente estrategia de sensibilización pretende fortalecer la Mancomunidad Huista, generando un proceso que dirija los esfuerzos hacia la autosostenibilidad de la misma, por medio del servicio turístico, partiendo del potencial de sus municipios asociados, lo cual promueva beneficio para la mancomunidad y los pobladores. Es importante crear una estrategia de sensibilización que promueva los espacios de participación de los habitantes en la transformación de su contexto, el que será cada sitio turístico dentro de su comunidad. Esto se logrará por medio de la organización desde las autoridades locales y municipales, tales como la municipalidad, COCODES y los comités que se generen del trabajo de organización y sensibilización, hasta llegar a la concientización de los pobladores. Deberá ser un proceso permanente. Se tiene contemplada la creación de comités de mantenimiento de sitios ecológicos y arqueológicos, el cual debe prestar un servicio comunitario que promueva el cuidado y

respeto hacia los sitios a incluir en el presente plan, de igual manera, se pretende promover la organización de sus pobladores por medio de cooperativas, comités o gremiales para la distribución de sus artículos artesanales y de esta manera generar lucro a quienes se dedican a esta actividad. Esto solamente se logra por medio de la organización y el proceso de sensibilización a realizarse antes de poner en marcha el proyecto turístico en la Mancomunidad Huista, he allí la importancia de la presente estrategia.

Objetivos de la estrategia:

General: suscitar la autosostenibilidad del plan turístico para beneficiar a la mancomunidad y por ende a los habitantes que la componen, promover el empoderamiento del presente plan y proyectos dirigidos al turismo de la región para que sus habitantes sean parte vital en este proceso de generación de servicios, y promover la sensibilización de los habitantes de las comunidades donde se encuentran localizados sitios turísticos por medio de la organización social y comunitaria de sus pobladores.

Específicos: fomentar los procesos de participación social conciente, responsable y comprometida entre los actores locales, mancomunidad, gobiernos locales, entidades públicas y privadas, y organizaciones civiles. Promover alianzas estratégicas y trabajo en equipo entre mancomunidad, organizaciones y actores locales. Organizar a los pobladores o fortalecer las organizaciones existentes en los municipios para que de ellos surjan comisiones o comités dedicados al mantenimiento y cuidado de los sitios con potencial turístico. Promover la aceptación de turistas nacionales y extranjeros.

Metodología: en esta estrategia, además de incorporar los ejes de género, comunicación, medio ambiente y multiculturalidad, se incorporarán los siguientes ejes transversales de la estrategia: respeto, organización social y sensibilización

Herramientas: se utilizarán herramientas para el adecuado trabajo en equipo, las cuales estarán inmersas en las diferentes fases y son: compromiso, responsabilidad, comunicación de doble vía, intercambio y diálogo, tolerancia e integración y equidad.

Involucrados en proceso de sensibilización social: esta estrategia va dirigida hacia los siguientes actores: Junta Directiva y personal técnico de la mancomunidad, autoridades locales (corporaciones municipales, COMUDES y COCODES), instituciones públicas y privadas que orienten sus esfuerzos al turismo, ONG'S, OG'S, grupos civiles organizados y turistas (en menor cantidad).

Fases de la estrategia: Se plantea en tres momentos o fases, las cuales se plantearán de acuerdo al proceso sistemático en el que se desarrollará la sensibilización a los actores.

FASE I. Cabildeo: etapa inicial de la estrategia en la que se tiene que vender la idea de la utilidad que tendrá el turismo en la región y los beneficios que se obtendrán por esto, por lo cual es necesario crear el espacio de diálogo y participación de miembros que dirigen la Mancomunidad Huista, autoridades locales y actores locales en los lugares turísticos. Se orienta la finalidad del plan y la manera en que promueve el desarrollo de los habitantes y fortalece a la mancomunidad por medio de la prestación de servicios. Lo ideal es comenzar el proceso de empoderamiento del plan con la Junta Directiva de la Mancomunidad, ya que de esto dependerá la credibilidad de los pobladores de los municipios. De esa cuenta, se plantean las siguientes etapas de trabajo: sensibilizar a los socios de la mancomunidad sobre la importancia de invertir en este plan para lograr la autosostenibilidad de la misma y generar fuentes alternativas de ingresos a los pobladores; contactar a las organizaciones locales involucradas y gobiernos locales, para presentación del plan, el cual se debe presentar como una alternativa de solución a las necesidades sentidas; crear la base de datos de los actores que aceptarán el reto del turismo en sus comunidades, los cuales formarán la red para

promover el turismo en la mancomunidad; seguir el proceso de sensibilización a todos los actores involucrados en el turismo; y realizar reunión para crear la red de actores interesados en el turismo.

FASE II. Organización y sensibilización: en esta fase se debe realizar todo el proceso de organización de los grupos, los cuales podrán tener diferentes perspectivas, desde las comerciales, cooperativistas o de responsabilidad social por medio del voluntariado. Es necesario realizar reuniones con los actores locales de las comunidades y plantear la nueva alternativa para generar ingresos en sus comunidades, esto debido a que en algunas poblaciones se desconfía de las personas extrañas que llegan, por lo tanto es necesario estar en coordinación con las autoridades locales y explicar la razón de la convocatoria a las reuniones. Habiendo explicado el proceso de trabajo a incorporar en las comunidades para explotar los recursos de las localidades, es necesario promover la creación de un equipo de trabajo para la implementación del turismo sostenible en las comunidades, se pretende crear una red o comité de turismo, que pueda dar mantenimiento al cuidado de los sitios a incluir en el servicio del corredor turístico, tanto de manera física como la conservación del medio ambiente y las culturas, tradiciones y folklore de las comunidades, ya que esto es el elemento vital de los sitios turísticos, estos comités o redes deben estar coordinados con la mancomunidad, pues pueden formar parte de auditoría social, para que se vea la transparencia del proyecto turístico. La creación de un manual reglamentario por parte de la comunidad para los turistas que visitan los sitios turísticos, normará la conducta del turista que se incorporará a los recorridos, pues se promoverá el respeto de doble vía: pobladores-turistas. Esto para no quebrantar normas sociales ya establecidas en cada comunidad.

Para el proceso de sensibilización es necesario incluir capacitaciones, estas con la finalidad de ir creando conciencia en los habitantes sobre los beneficios del turismo y la manera de mantener los sitios turísticos en óptimas condiciones, para atraer la afluencia de turistas al lugar. En algunos casos será necesaria la incorporación de alguna persona

que sea bilingüe, de acuerdo a su grupo cultural. La propuesta de temas a impartir son los siguientes: papel de la Mancomunidad Huista en el desarrollo de los municipios asociados; los recursos de los municipios de la Mancomunidad Huista; fuentes alternativas de ingreso y de empleo en el turismo; el trabajo en equipo; cuidado del medio ambiente, cultura, identidad, tradiciones; multiculturalidad e interculturalidad; microempresas; cooperativas de desarrollo; inclusión de género en proyectos productivos; comunicación eficiente; respeto y responsabilidad; participación social; auditoría social; cultura de paz; mantenimiento de caminos rurales; mantenimiento de sitios turísticos; y recuperación de tradiciones como parte del patrimonio cultural. Estos temas pueden variar de acuerdo a las necesidades que surjan del trabajo de campo en el proceso de organización, ya que la realidad es cambiante y se debe trabajar de acuerdo a necesidades sentidas por la población y a las observadas por el técnico especialista en el área de sensibilización social. Para impartir estas capacitaciones, se considera prudente realizarlas de manera mensual en cada sitio, o bien, convocar a una reunión mensual donde se integren todos los comités para compartir experiencias y conocimientos que sirvan a otros.

FASE III. Empoderamiento: esta es la etapa cúspide de la estrategia de sensibilización, ya que se logra después del proceso de sensibilización cuando los actores toman conciencia de la importancia de trabajar en forma mancomunada por medio de la Mancomunidad Huista. Es en esta fase donde se vuelve auto-sostenible, pues la población ya comienza a ver al turismo de manera beneficiosa y comienza a dar marcha al producto final que serán los paquetes turísticos. Con anterioridad ya se aplicó el arreglo de la infraestructura y la organización de habitantes. Se plantean las siguientes acciones en ésta fase: coordinar talleres inter-departamentales, coordinados con instancias que trabajan el turismo en lugares ya reconocidos, pues será beneficio el intercambio de ideas; implementar personal técnico especializado en turismo como desarrollo regional, que sea el responsable de coordinar las acciones dirigidas al turismo. Esto debe ser financiado por la mancomunidad; crear las alianzas estratégicas necesarias

para la consecución del proyecto; reuniones mensuales de coordinación con la persona responsable de turismo en la mancomunidad. Continuar el proceso de sensibilización, el cual debe estar dirigido de acuerdo a las necesidades surgidas después de la segunda fase.

FASE IV. Monitoreo y evaluación: esta fase sirve como control de la mancomunidad y evaluación de parte de todos los involucrados en este plan de turismo ya que se debe supervisar que la infraestructura implementada y las estrategias propuestas en el presente plan, estén siendo generadores de cambios positivos y cumplan los objetivos por lo cual fue creado, tales como la autosostenibilidad de la Mancomunidad Huista y la generación de ingresos y empleo. Esto se podrá hacer por medio de trabajo de campo, creación de herramientas para evaluar el proceso evolutivo del trabajo y el conocimiento necesario del técnico que será el responsable de monitorear el proceso de implementación y funcionamiento de los paquetes turísticos. La evaluación será realizada por dos partes involucradas en este proyecto turístico: La Mancomunidad Huista y los habitantes de las comunidades incluidas y que forman parte del proyecto, esto por medio del comité de turismo. Se evaluarán las acciones planteadas en cada estrategia y las acciones planteadas desde los grupos realizados en el proceso de sensibilización. Se recomienda hacer evaluaciones bimensuales.

1.2.3. Estrategia de mejoramiento de los sitios turísticos y poblados cercanos.

Para que los sitios turísticos sean visitados deben de contar con los servicios necesarios para que los turistas tengan seguridad de bienestar y confort. En la visita realizada a los sitios turísticos de la Mancomunidad Huista se observaron los aspectos necesarios sobre los servicios básicos, vías de acceso, saneamiento y vivienda con el fin de proponer mejoras a los mismos para que los sitios sean readecuados y estén en las condiciones de funcionar como lugares turísticos. En la Tabla I se presenta la

información sobre los servicios básicos existentes en las aldeas o pueblos en donde se localizan los sitios turísticos visitados de la Mancomunidad Huista.

Tabla I. Servicios básicos en municipios y sitios turísticos visitados de la Mancomunidad Huista

MUNICIPIO	LUGARES TURÍSTICOS	UBICACIÓN	Servicios básicos			
			Agua Potable	Drenajes	Energía Eléctrica	Salud
SAN ANTONIO HUISTA	Catarata de Yalancú	Cantón Reforma	Si, por conexiones domiciliarias	Si existe	Si hay	Centro de salud y dos clínicas privadas en la cabecera municipal.
	Cataratas Las Canoas					
	Catarata La Cieneguita					
	La Ermita de Hipaná	Cantón Norte				
SANTA ANA HUISTA	La Cueva del Limonar	Aldea Agua Escondida	Si, por conexiones domiciliarias	No existe	No hay, utilizan baterías de carro	No existe puesto de salud. Utilizan el puesto de salud de la aldea Cuatro Caminos.
	La Cueva de Agua					
	El Sumidero	Aldea El Tabacal	Si, por conexiones domiciliarias	Si existe	Si hay	
JACALTENANGO	Centro Ceremonial Q'anil	El Rancho	Si, por conexiones domiciliarias (cabecera municipal)	Si existe (cabecera mun.)	Si hay (cabecera mun.)	Existen centro y puestos de salud
	Cabecera municipal	Cabecera municipal de Jacaltenango				
CONCEPCIÓN HUISTA	Ruinas de Yulá	Aldea Yulá	Si, por conexiones domiciliarias (cabecera municipal)	Si existe (cabecera mun.)	Si hay (cabecera mun.)	Existe puesto de salud (cabecera municipal)
TODOS SANTOS CUCHUMATÁN	La Torre	Sierra Los Cuchumatanes	Si, por conexiones domiciliarias (cabecera municipal)	Si existe (cabecera mun.)	Si hay (cabecera mun.)	Existen centro y puestos de salud
	Balam Museum	Cabecera municipal				
NENTÓN	Laguna Brava	Aldea Yalambojoch	No existe	No existe	No existe	No existe

En la Tabla II se describen las vías de acceso, saneamiento y tipo de vivienda que hay en los sitios turísticos, aldeas y cabeceras municipales visitadas.

Tabla II. Vías de acceso, saneamiento y vivienda en municipios y sitios turísticos visitados de la Mancomunidad Huista

MUNICIPIO	LUGARES TURÍSTICOS	UBICACIÓN	Vías de Acceso	Saneamiento	Vivienda
SAN ANTONIO HUISTA	Catarata de Yalancú	Cantón Reforma	Del Cantón Central de San Antonio hasta el Car Wash Lenyn, Cantón Reforma, es carretera pavimentada, el resto del camino es de terracería y veredas.	En la cabecera municipal existe un tren de aseo, dos veces por semana. La basura se deposita y quema en un lugar camino a Rancho Viejo. Los que no cuentan con este servicio tiran la basura en sus terrenos. No existen plantas de tratamiento de aguas residuales.	Existen viviendas de adobe y de mampostería (block)
	Cataratas Las Canoas				
	Catarata La Cieneguita				
	La Ermita de Hipaná	Cantón Norte			
SANTA ANA HUISTA	La Cueva del Limonar	Aldea Agua Escondida	De la carretera RD-12 al entronque con el camino hacia la aldea Agua Escondida, el camino es de terracería en buen estado. De la aldea hacia las cuevas se debe caminar por veredas.	La basura es quemada en cada casa	Las viviendas son de adobe con piso de tierra y techo de lámina. La escuela está construida con block.
	La Cueva de Agua				
	El Sumidero	Aldea El Tabacal	Vereda entre el cafetal (propiedad privada).	Queman la basura o es depositada en algún sitio abandonado o en los arroyos	Existen viviendas de adobe y de mampostería (block)
JACALTENANGO	Centro Ceremonial Q'anil	El Rancho	Carretera pavimentada desde San Antonio Huista hacia Jacaltenango	No existe tren de aseo	Viviendas de block y de adobe
	Cabecera municipal	Cabecera municipal de Jacaltenango			
CONCEPCIÓN HUISTA	Ruinas de Yulá	Aldea Yulá	Carretera de terracería en mal estado	No existe tren de aseo en la cabecera municipal	Viviendas de block o ladrillo con techo de lámina y piso de granito; y viviendas de de adobe o madera con techo de teja y piso de tierra.
TODOS SANTOS	La Torre	Los Cuchumatanes	Camino de terracería desde la cabecera municipal hasta la aldea La Ventosa. Veredas.	No existe tren de aseo en la cabecera municipal	Viviendas de block y de adobe
NENTÓN	La Laguna Brava	Aldea Yalambojoch	La mitad del camino es carretera pavimentada y el resto es de terracería. Después se baja por una vereda amplia.	La basura es depositada en fosas. Existe una letrina	Cabañas de madera con techo de lámina

Después de conocer la situación actual de los sitios turísticos, de las aldeas y de los pueblos cercanos a éstos, se proponen mejoras a realizar referentes a la

infraestructura y servicios básicos observados. Las mejoras a realizar se pueden dividir en dos aspectos:

a) Mejoras a los sitios turísticos y vías de acceso. Incluyen aspectos a mejorar en los sitios turísticos y sus vías de acceso, entre ellas están: limpieza, ampliación y mejoramiento de veredas; rehabilitación y mejoramiento de caminos rurales; señalización de caminos y veredas; colocación de depósitos de basura; tratamiento adecuado de desechos sólidos e implementación de senderos interpretativos.

b) Mejoras a los pueblos y aldeas que se encuentran cerca de los sitios turísticos. Ya sea porque influyen en ellos directamente, como en el caso de San Antonio Huista que contamina las aguas del río de la catarata Yalancú; o porque se pueden ver beneficiados por el turismo que llegue a la zona y necesitan contar con servicios básicos, como la aldea Agua Escondida, en donde no existe energía eléctrica ni drenajes.

En la Tabla III, se presentan los aspectos a mejorar en cada sitio turístico, aldea o pueblo relacionado con éste.

Tabla III. Mejoras a realizar en los sitios turísticos y poblados cercanos.

MUNICIPIO	LUGARES TURÍSTICOS	UBICACIÓN	Mejoras a realizar en el sitio turístico	Mejoras a realizar en los poblados cercanos
SAN ANTONIO HUISTA	Catarata de Yalancú	Cantón Reforma	Limpieza, ampliación y mejoramiento de veredas. Señalización de caminos y veredas. Colocación de depósitos de basura. Tratamiento adecuado de desechos sólidos.	Tratamiento de aguas residuales y de desechos sólidos de la cabecera municipal de San Antonio Huista.
	Cataratas Las Canoas Catarata La Cieneguita	Cantón Norte		
	La Ermita de Hipaná			
SANTA ANA HUISTA	La Cueva del Limonar	Aldea Agua Escondida	Limpieza, ampliación y mejoramiento de veredas. Señalización de caminos y veredas. Colocación de depósitos de basura.	Tratamiento adecuado de los desechos sólidos. Introducción de energía eléctrica y drenajes.
	La Cueva de Agua			
	El Sumidero	Aldea El Tabacal	Limpieza y mejoramiento de veredas. Señalización de caminos y veredas. Colocación de depósitos de basura.	Tratamiento adecuado de los desechos sólidos.
JACALTENANGO	Centro Ceremonial Q'anil	El Rancho	Limpieza, ampliación y mejoramiento de veredas. Señalización de caminos y veredas. Colocación de depósitos de basura. Implementación de senderos interpretativos	Limpieza de la cabecera municipal. Colocación de depósitos de basura y tratamiento adecuado de desechos sólidos.
	Cabecera municipal	Cabecera municipal de Jacaltenango		
CONCEPCIÓN HUISTA	Ruinas de Yulá	Aldea Yulá	Rehabilitación del camino de Concepción Huista hacia las ruinas de Yulá, señalización y colocación de depósitos de basura. Implementación de senderos interpretativos.	
TODOS SANTOS CUCHUMATAN	La Torre	Los Cuchumatanes	Mejoramiento de veredas e implementación de senderos interpretativos. Colocación de depósitos de basura. Mantener en buen estado los caminos de terracería para llegar a la aldea La Ventosa desde el pueblo.	Limpieza de la cabecera municipal. Colocación de depósitos de basura.
NENTÓN	La Laguna Brava	Aldea Yalambojoch	Limpieza, ampliación y mejoramiento de veredas. Señalización de caminos y veredas. Colocación de depósitos de basura. Ampliación y mejoramiento de cabañas.	

Para poder realizar estas mejoras es fundamental contar con la sensibilización y organización de la población vecina al sitio turístico, como ya se mencionó en la estrategia de sensibilización, para que ellos mismos sean los que le den mantenimiento a los lugares. Para ésto la Mancomunidad Huista tiene que actuar como ente regulador, dando capacitaciones en temas de mantenimiento físico de los sitios y conservación de los recursos naturales a los comités formados para el turismo. También es necesario que el equipo técnico de la Mancomunidad Huista realice el seguimiento y mantenga actualizada la información de los sitios turísticos por medio de un monitoreo constante, para que se tenga un control continuo de estos sitios y su estado actual y con esto se puedan tomar decisiones sobre el mantenimiento de los mismos. Ya que en muchos lugares no existen centros o puestos de salud es necesario también contar con un comité en el poblado cercano que se encargue en temas de salud y primeros auxilios. Todo esto debe realizarse en cuatro etapas: sensibilización a comités de turismo, capacitación de los mismos, implementación de mejoras a sitios turísticos y, monitoreo y control de los sitios turísticos.

1.2.4. Propuesta de estrategia de comunicación para el corredor turístico de la Mancomunidad Huista.

Para iniciar un proceso de estrategia de comunicación para el corredor ecoturístico de la Mancomunidad Huista fue necesaria una pequeña investigación para el control de actividades publicitarias. En ella se procuró el análisis de los anuncios o campañas y la eficacia que han tenido para promover los centros ecoturístico de la Mancomunidad Huista. Según diagnósticos, no se le ha dado la importancia necesaria para que estos lugares ecoturísticos tengan una estrategia de comunicación y puedan ser conocidos, no hay anuncios ya sea por radio, televisión, de prensa ni de ningún otro tipo en donde se promocionen los sitios. A través del canal de televisión nacional “Guatavisión” y de medios escritos nacionales se han transmitido y publicado reportajes de algunos lugares de la región Huista, ésto de alguna manera ha ayudado a que tengan

un poco de promoción, pero de una manera aislada. Aparte de la investigación publicitaria se realizó una investigación de los medios existentes en los municipios que conforman la mancomunidad, según el estudio, para empezar la estrategia de comunicación es necesario utilizar el medio más accesible y escuchado y en este caso es la radio; otra estrategia que puede ser utilizada es la comunicación alternativas (concursos de pintura, fotografía, reportajes), dando participación a la población.

Plataforma creativa

Se desarrolla en base a una serie de información acerca de la situación del mercado proporcionada por el cliente, la investigación y determinación de un público objetivo y la investigación publicitaria, previo a la realización de la actividad creativa del mensaje.

Historia de la empresa: la Mancomunidad Huista es la primera que se forma en Guatemala con la participación del pleno de los Consejos Municipales de cada municipio, en el acto formal de otorgamiento y constitución. En sus inicios, fueron cinco los municipios que la conformaban: Jacaltenango, Nentón, San Antonio Huista, y Santa Ana Huista. Sin embargo, hoy la conforman nueve municipios, pues al conocer los objetivos y finalidades de la mancomunidad, voluntariamente se integraron al proceso, pues todos estos municipios pertenecen a una misma zona geográfica natural. Un factor desencadenante de este proceso lo constituyó el liderazgo y participación de los alcaldes municipales, quienes tienen el común denominador la aspiración y voluntad de lograr el desarrollo integral y fortalecer la autonomía y la identidad de la mancomunidad, sobre la base del conocimiento de sus problemas comunes y la adopción de audaces estrategias comunitarias. En enero de 2001 se integra la primera Junta Directiva de la Mancomunidad. A partir de la organización de la Junta Directiva se realizaron reuniones mensuales en los distintos municipios que conforman la Mancomunidad, en estas, se han

venido formulando estatutos, objetivos, finalidades y el plan estratégico de la mancomunidad, así como las agendas municipales.

Brief del producto o Servicio. Cliente: “Mancomunidad Huista”. **Dirección:** Cantón Central, edificio municipal, segundo nivel, San Antonio Huista, Huehuetenango. **Producto:** recorrido ecoturístico de la Mancomunidad Huista. **Marca:** “RECOHUISTAS”. **Línea del producto:** el recorrido ecoturístico de la Mancomunidad Huista está diseñado para que los turistas se interesen en visitar los centros turísticos con los que cuentan los municipios de la Mancomunidad Huista. Este recorrido va dirigido a las personas amantes a la naturaleza, en donde se ofrecerán caminatas y recorridos a caballo a ríos, lagunas, centros ceremoniales, y cabeceras municipales de los municipios. Además se conocerá la cultura y tradiciones de los municipios del recorrido. **Ingredientes:** aire libre, bosques, lagunas, cataratas, cuevas, ríos, centros ceremoniales, artesanías, nuevas culturas. **Presentación:** se propone crear un logotipo y un slogan. **Promoción y publicidad:** para dar a conocer el producto es necesario en primer lugar definir qué beneficios se le darán al consumidor en este caso al turista. El beneficio será la distracción y descanso en un ambiente sano y natural. Lo que se ofrece es un paquete ecoturístico a los siguientes lugares: cabeceras municipales de Todos Santos Cuchumatán, Concepción Huista, Jacaltenago, San Antonio Huista, Santa Ana Huista, y Nentón; y recorridos en caminatas o a caballo a los siguientes lugares: Catarata de Yalancú, Catarata las Canoas, Catarata la Cieneguita, La Torre, La Laguna Brava, El Resumidero, La Cueva de Limón y Cueva de Agua, Centro Ceremonial Q’anil, Ruinas de Yulá y Museum Balam.

Investigación del grupo objetivo

- **Datos psicográficos. Hábitos de medios:** se recomienda hacer uso de los medios locales, spot de radioemisoras, elaboración de una revista y página web, vallas

publicitarias. Anuncios por televisión nacional y departamental. Para el presupuesto es necesario hacer alianzas con los medios locales y gestionar con organizaciones la donación o aportes para hacer posible la divulgación de los sitios turísticos de la región.

- **Determinación de la competencia:** a) **Competencia directa:** no tiene competencia directa. b) **Competencia indirecta:** Unicornio Azul.
- **Establecimiento de los objetivos de comunicación:** a) Crear una imagen de que la región Huista puede ser visitado y admirada por su potencial turístico. b) Incentivar a grupos de turistas a visitar los sitios turísticos de la región Huista.
- **Determinación de la estrategia publicitaria:** se plantea utilizar la de posicionamiento que propone, que la marca (recorrido turístico) debe situarse en un nivel preferencial de la mente del consumidor (turista).
- **Determinación de la técnica publicitaria en el contenido del mensaje:** a) **El tono publicitario:** dinámico. b) **La manera:** descriptiva y competitiva.

2. SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL: REHABILITACIÓN, MEJORAMIENTO Y DISEÑO DE PAVIMENTO DEL TRAMO CARRETERO DE GUAJAQUEÑO, MUNICIPIO SAN ANTONIO HUISTA A TRES CAMINOS, MUNICIPIO UNIÓN CANTINIL, HUEHUETENANGO.

2.1 Descripción del proyecto

La carretera inicia en la aldea Guajaqueño ubicada a pocos kilómetros de la cabecera municipal de San Antonio Huista y termina en la aldea Tres Caminos del municipio de Unión Cantinil. Es uno de los tres caminos que permite el acceso a la cabecera municipal de Unión Cantinil. Tiene una longitud de 8.4 km, la topografía es montañosa, por lo que el camino existente tiene curvas con radios pequeños y un ancho aproximado de 4.5m, además de pendientes pronunciadas. Pasa por varias aldeas y caseríos y posee tres puentes entre los que se encuentra el puente del río Limón. El camino actual es de terracería y se encuentra en malas condiciones. Por lo que el proyecto consistirá en diseñar una carretera tipo “E” para región montañosa con un ancho de calzada de 5.50m, velocidad de diseño de 30KPH, un radio mínimo de 30m y una pendiente máxima de 10%. En las Figuras 1 y 2 se puede observar el principio y fin del camino existente.

Figura 1. Inicio del camino existente, aldea Guajaqueño



Figura 2. Final del camino existente, aldea Tres caminos



2.2 Preliminar de campo

2.2.1 Reconocimiento

Antes de empezar el diseño de una carretera, se debe hacer un reconocimiento del lugar en donde se necesita construirla. Para la apertura de un camino se lleva a cabo una selección de ruta, que es la actividad en donde se determina el lugar aproximado de la línea central de la carretera. Cuando en la visita de campo no puede escogerse la ruta, se realiza una selección de ruta, por medio de mapas cartográficos (escala 1:50,000) ya que estos contienen información útil, que sirve para localizar la línea central de la carretera como: accidentes geográficos, topografía, ríos y poblados. El método aconsejable, para regiones montañosas, en la determinación de los cambios de línea obligada para mejorar el diseño geométrico, es el de conservación de pendiente. Se realiza manteniendo una pendiente constante, calculando así la distancia horizontal mínima que debe existir entre dos curvas de nivel del mapa cartográfico.

Este proyecto que es de rehabilitación y mejoramiento, se realizó una visita de campo al camino existente, para determinar los lugares con mayor pendiente, y las curvas con radios más pequeños a los aceptables; se determinaron los lugares donde podrían hacerse los cambios de línea necesarios, para darle una mayor longitud de

desarrollo a las pendientes y, mayor grado de curvatura a la geometría de la carretera, para que el diseño geométrico cumpliera con las velocidad de diseño. Además se observaron los puntos obligados del camino, que es donde no se pueden hacer cambios al eje central de la carretera, estos se localizan en donde existen estructuras que no se pueden mover, como casas y puentes, en la intersección de caminos, etc. En las figuras 3 y 4 se muestran algunas de las estructuras existentes.

Figura 3. Puente del río Limón



Figura 4. Viviendas existentes a la orilla del camino



2.2.2 Levantamiento topográfico preliminar

2.2.2.1 Planimetría

Para la realización de los trabajos de planimetría se utilizó estación total. El levantamiento topográfico se realizó con una poligonal abierta, tomando información de puntos a cada 20m aproximadamente.

2.2.2.2 Altimetría

Para la realización de los trabajos de altimetría se utilizó estación total, se midieron las alturas de la línea central del camino aproximadamente a cada 20m.

2.2.2.3 Secciones transversales del camino existente

Los trabajos de seccionamiento se realizaron con estación total, aproximadamente a cada 20m, a lo largo de todo el camino, midiendo las alturas en cada cambio de pendiente, para definir la topografía del lugar, que incluye: orilla del camino existente, cuneta, principio del talud, corona del talud, contra cuneta y el terreno natural. La información se obtuvo en una franja de 15 metros, a cada lado de la línea central y sirvió para dibujar las curvas de nivel.

2.3 Cálculo topográfico preliminar y dibujo de preliminar

2.3.1 Revisión de libretas de campo

Antes de realizar los cálculos topográficos de planimetría y altimetría, se debe revisar la libreta de campo, para ver que la información sea coherente y no existan

errores. En este caso la información de la estación total, debe ser transferida a la computadora con el programa correspondiente para poder manejarla. Posterior a la descarga de los datos se utilizaron otros programas como: hoja de cálculo (Excel), un editor de texto y finalmente se migró esta información al programa AutoDesk Land para hacer el dibujo.

2.3.2 Planimetría

Es la representación gráfica en planta de la carretera y se dibuja en un plano cartesiano por medio de las coordenadas totales de las estaciones. Ya que el levantamiento topográfico se realizó con estación total, las coordenadas totales se obtienen directamente de la memoria del aparato.

Para dibujar la planta de la carretera, se importaron los datos de la topografía, que incluían coordenadas totales al programa AutoDesk Land. El dibujo de la línea central en planta, de la carretera existente, sirve para el cálculo de los azimut y distancias de la línea de localización.

2.3.3 Altimetría

Las cotas, también se obtienen directamente de la memoria de la estación total. Se colocan 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 dibujan las curvas de nivel y los perfiles de diseño. Como la línea de localización o línea central de la carretera, no pasa exactamente por la línea preliminar de topografía con la interpolación de curvas de nivel, se puede dibujar el perfil de la línea de localización.

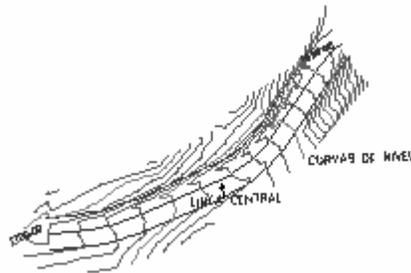
2.3.4 Secciones transversales

También se obtuvieron directamente de la memoria de la estación total.

2.3.5 Curvas de nivel

Para el dibujo de curvas de nivel se interpolan los datos de las alturas de las secciones transversales para encontrar las distancias horizontales a las que estas se encuentran. Esta interpolación se realizó por medio del programa AutoDesk Land. Las curvas de nivel del levantamiento sirven para determinar las pendientes del terreno. Estas fueron dibujadas por medio del programa para carreteras AutoDesk Land a cada metro.

Figura 5. Curvas de nivel y camino existente.



2.4 Diseño de localización

Para realizar el diseño de localización de la carretera mejorada, se deben tener en cuenta las normas o especificaciones, que rigen las características geométricas de los diferentes tipos de carreteras del país.

Primero se debe determinar qué tipo de carretera se requiere diseñar, esto según el tránsito promedio diario anual (TPDA), tomando en cuenta la composición del tránsito y la velocidad que se quiere que lleve este tránsito, pero ésta depende de varios factores entre los que se puede mencionar la topografía del lugar y el clima.

Para este proyecto se escogió una carretera Tipo “E”, ya que el tránsito promedio diario actual, es aproximadamente de 75 vehículos, la región es montañosa por lo que la velocidad de diseño será de 30 KPH. A continuación en la tabla IV se describen las características geométricas, que deben tener las diferentes clasificaciones de carreteras, según el tránsito promedio diario y el tipo de región:

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

T.P.D. DE	CARRETERA	VELOCIDAD DE DISEÑO	ANCHO DE CALZADA (mts.)	ANCHO DE TERRACERIA		DERECHO DE VÍA	RADIO MÍNIMO	PENDIENTE MÁXIMA (mts.)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA		DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PASO	
				CORTE (mts.)	RELLENO (mts.)				MÍNIMA (mts.)	RECOMEN-DADA (mts.)	MÍNIMA (mts.)	RECOMEN-DADA (mts.)
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

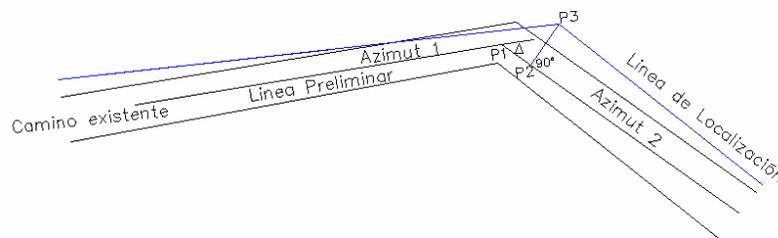
En función de lo anterior, para el tipo de carretera escogida, carretera tipo “E” región montañosa, se tendrán las siguientes características geométricas: velocidad de diseño 30KPH; ancho de calzada 5.50m; ancho de terracería: corte 9.50m, relleno 8.50m; derecho de vía 25m; radio mínimo 30m; pendiente máxima 10%; distancia de visibilidad de parada: mínima 30m, recomendada 35m; distancia de visibilidad de paso: mínima 110m, recomendada = 150m.

2.4.1 Corrimiento de línea

La línea de localización se diseña de acuerdo a la topografía del terreno, ubicando puntos fijos como puentes, casas, poblaciones, ríos, rellenos, roca, etc. La carretera deberá pasar obligatoriamente por ellos.

En los casos en que el levantamiento topográfico se hace para rehabilitar una carretera, la línea de localización coincide con la línea preliminar en algunos tramos y en otros, en donde se realizan las mejoras a la geometría de la carretera, no. En estos tramos en donde la línea de localización no coincide con la preliminar de la carretera, se establecen puntos de control que ayudan a realizar el corrimiento de línea preliminar.

Figura 6. Corrimiento de línea preliminar



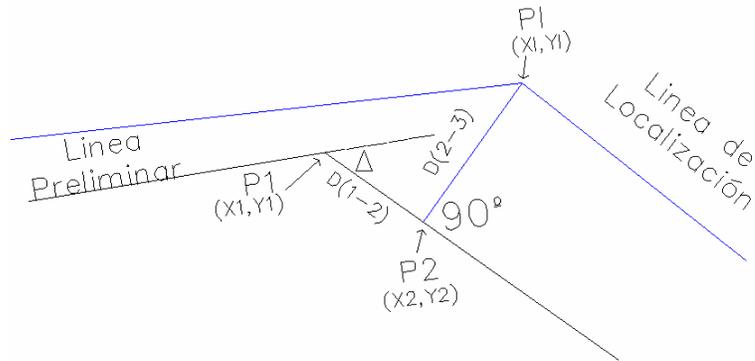
En la figura 6, se muestra un ejemplo de corrimiento de línea. La línea preliminar es la línea central del camino existente. Las coordenadas totales de los puntos de intersección (PI) de la línea de localización, se obtienen por medio de las coordenadas totales de la línea preliminar. Los cálculos de PI se realizan de la siguiente manera:

- Dibujar una línea perpendicular a la línea preliminar en el punto P2 hasta interceptarla con el PI de la línea de localización, que es el punto P3, medir la distancia entre los puntos P3 y P2 y entre los puntos P1, que es el PI de la línea preliminar y P2.
- Con la coordenadas totales ya calculadas del PI de la línea preliminar (P1), el azimut invertido y la distancia de P1 a P2, calcular las coordenadas del punto P2, ubicados en el punto P2, con el azimut invertido restar 90° para el nuevo azimut de la línea P2 -P3.
- Con la coordenadas del punto P2, el azimut de la línea P2-P3 y la distancia P2 - P3 se calculan las coordenadas del punto P3, PI de la línea de localización.

Las distancias entre P1-P2 y P2-P3, se denominan puntos de control, estas amarran las líneas de preliminar y localización y son importantes pues se pueden verificar en campo. Este procedimiento se aplica en todos los puntos de la línea de localización usando relación de triángulos y ley de senos y cosenos, se calculan coordenadas totales. Para ilustrar el cálculo se describe de forma general el procedimiento utilizado.

En este caso 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 del programa.

Figura 7. Coordenadas totales del PI de la línea de localización



En la figura 7 tenemos:

Distancia entre P1 y P2 = D (1-2)

Distancia entre P3 (PI) y P2 = D (2-3)

Coordenadas de P1 = (X1, Y1)

Coordenadas de P2 = (X2, Y2)

Coordenadas de PI = (XI, YI)

Azimut 2 – Azimut 1 = Δ

Cálculo:

Azimut invertido = $\Delta + 180^\circ$

Coordenadas totales de P2 (X2, Y2): $X2 = X1 + [D(1-2) * \text{sen}(\Delta + 180^\circ)]$

$$Y2 = Y1 + [D(1-2) * \text{cos}(\Delta + 180^\circ)]$$

Nuevo azimut = $\Delta + 180^\circ - 90^\circ = \Delta + 90^\circ$

Coordenadas totales del PI (XI, YI): $XI = X2 + [D(2-3) * \text{sen}(\Delta + 90^\circ)]$

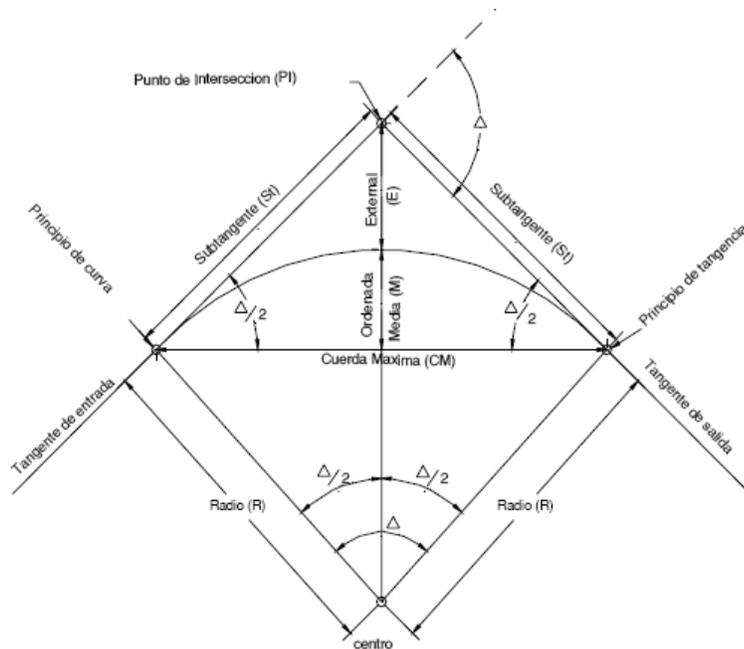
$$YI = Y2 + [D(2-3) * \text{cos}(\Delta + 90^\circ)]$$

2.4.2 Cálculos de elementos de curva horizontal

Después de realizar los cálculos de corrimiento de línea ya se cuenta con las coordenadas totales de los puntos de intersección (PI) de la línea de localización, entonces se procede a calcular las curvas horizontales.

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 (solo 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 8):

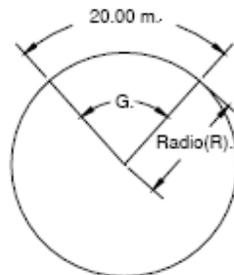
Figura 8. Elementos que componen una curva horizontal



Fuente: Alvaro Danilo Yllescas Ponce. **Diseño del tramo carretero comprendido desde el entronque del kilómetro 171+400 carretera Interamericana (CA-1), hacia el caserío Nuevo Xetinamit, del municipio de Nahualá, departamento de Sololá.** Pág. 24.

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. Ver figura 9.

Figura 9. Grado de curvatura



Fuente: Alvaro Danilo Yllescas Ponce. **Diseño del tramo carretero comprendido desde el entronque del kilómetro 171+400 carretera Interamericana (CA-1), hacia el caserío Nuevo Xetinamit, del municipio de Nahualá, departamento de Sololá.** Pág. 22.

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

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

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

$$R = \frac{1145.9156}{G}, \text{ ó } G = \frac{1145.9156}{R}$$

También es necesario tener las distancias entre los puntos de intersección (PI) de localización y el azimut. De acuerdo a Δ (diferencia entre el azimut 1 y azimut 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 V Especificaciones para curvas circulares
Especificaciones para caminos de penetración
sección típica E-1

G	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				
40	28.65	6.40	21	41.50	1.69	9.9	35	70.60	1.87				
41	27.95	6.50	21	43.40	1.73	10.00	35	72.60	1.92				
42	27.28	6.60	22	45.20	1.76	10.00	36	74.60	1.96				
43	26.65	6.70	22	47.10	1.80	10.00	36	76.50	2.00				

Fuente: Dirección General de Caminos.

En la tabla V, se encuentran 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 utilizado deberá ser de 30m, pero habrá dificultad en algunas curvas para utilizar este radio, ya que los puntos obligados no lo permitirán. A continuación se describe el cálculo de cada una de las componentes de las curvas circulares:

- **Longitud de curva (LC):** es la longitud del arco comprendida entre el principio de curva (PC) y el principio de tangencia (PT). Ver figura No. 8. Se calcula de la siguiente manera:

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

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

$$LC = \frac{2\pi \Delta * \frac{1145.9156}{G}}{360}$$

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

- **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.

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

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

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

$$\text{Sen}\left(\frac{\Delta}{2}\right) = \frac{Cm/2}{R}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right) &= \frac{R - Om}{R} \\ R * \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right) &= R - Om \\ Om &= R - R * \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right) \\ Om &= R \left(1 - \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)\right) \end{aligned}$$

Para el cálculo de los estacionamientos de la línea de localización, se utilizan los datos de subtangente y longitud de curva, para obtener el PC, se restan la sub tangente del punto de intersección, luego para obtener el principio de tangencia se suma la longitud de curva y así sucesivamente.

Además de los elementos descritos anteriormente, las curvas horizontales deben contar con los siguientes:

- **Peralte (e%):** es la sobre elevación que se le da a las curvas horizontales para contrarrestar una parte de la fuerza producida en el vehículo en movimiento alrededor de la curva. Este está en función de la velocidad del vehículo y del radio de la curva.
- **Sobre ancho (SA):** ancho adicional proporcionado en las curvas, para mantener al vehículo en el centro del carril, debido a que al circular en ellas los vehículos ocupan mayor espacio que el ocupado en tangente.
- **Corrimiento:** se utiliza para convertir curvas espiraladas a partir de curvas circulares.

Curvas de transición: es un tramo en forma de espiral que se localiza entre las tangentes y las curvas horizontales. Se utilizan para que el vehículo pase de forma

gradual de la tangente a la curva circular, tanto en la dirección como en la sobre elevación y ampliación necesaria de la curva. La característica principal de las curvas de transición, es que a través de su longitud, se efectúa de manera continua el cambio en el valor de radio de curvatura, desde el infinito para la tangente hasta el que corresponde para la curva circular. A la longitud de las curvas de transición se le llama longitud de espiral (LS) y a lo largo de ésta se realiza el cambio de radio, peralte, sobre ancho y corrimiento. La curva de transición más utilizada es la Clotoide o Espiral de Euler, que cumple con la condición de que el producto del radio y la longitud a un punto cualquiera es constante.

Cálculo de peralte y sobre ancho: En la tabla V se especifican los valores máximos de peralte y sobre ancho para cada curva, según su grado de curvatura y radio. Ambos son repartidos proporcionalmente en la longitud de espiral (LS) también especificada en la tabla, tomándose la mitad a partir del PC y PT hacia fuera, y la otra mitad hacia dentro de la curva, hasta que la curva se vuelve circular en su centro. Ya que se reparte proporcionalmente en el PC y PT, el peralte y sobre ancho tendrán la mitad del valor máximo en dichos puntos. Y en el inicio de la curva de transición su valor será cero.

Para determinar la longitud de las tangentes se debe tomar en cuenta la longitud de espiral, ya que la tangente debe tener la longitud suficiente para las curvas de transición que se encuentran antes y después de ellas, por lo que la longitud de tangente mínima debe ser igual a la suma de la mitad de longitud de espiral de la curva que la precede y la mitad de la longitud de espiral de la curva posterior.

También se debe de tomar en cuenta que la longitud de la curva horizontal debe ser como igual a la longitud de tangente.

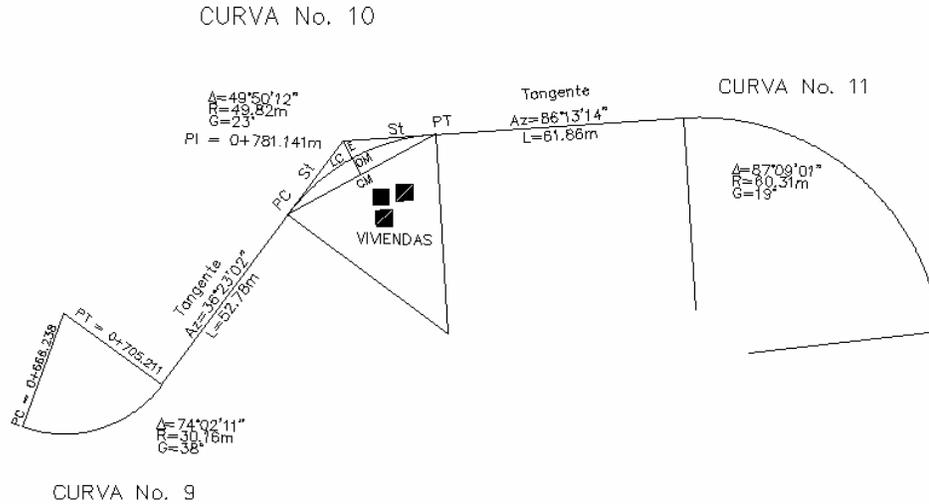
Lecturas de corrimiento: por facilidad, los corrimientos son leídos en tablas o gráficas hechas por la Dirección General de Caminos, según las velocidades de diseño y la distancia a que esté la estación deseada del PC o PT.

Ejemplo de cálculo de elementos de curva horizontal: para calcular los elementos de la curva horizontal hay que tomar en cuenta lo siguiente: Se escoge el grado de curvatura para la curva, esto se hace por medio del ángulo de deflexión (Δ) que se tiene, en este caso para la curva No. 10 (ver figura 9) se tiene un $\Delta=49^{\circ}50'12''$; se busca un valor en la tabla No. V que se aproxime a éste, y se escoge el posible valor de G. También se debe tomar en cuenta la longitud de la tangente mínima, para esto hay que conocer las longitudes de espiral de la curva anterior y de la curva de la que se quieren calcular sus elementos. Además, en este proyecto que es de rehabilitación, en donde hay puntos obligados, se debe hacer coincidir la línea central del camino existente con la nueva línea de localización, se escogen grados de curvatura parecidos o iguales a los que tienen las curvas del camino existente. Tomando en cuenta esto se escogió un grado de curvatura $G=23^{\circ}$ con este valor se tiene un radio:

$$R = \frac{1145.9156}{G} = \frac{1145.9156}{23} = 49.82m.$$

Se pudo haber escogido un grado de curvatura más grande, para que la curva fuera menos cerrada, pero en este caso existen viviendas a un lado del camino, por lo que se debe tomar un valor de G que haga coincidir la línea preliminar con la línea de localización. Ver figura 10.

Figura 10. Cálculo de elementos de curva horizontal



Para esta curva se tiene una tangente mínima de:

$$Tg \text{ min} = \frac{Ls_1}{2} + \frac{Ls_2}{2}$$

En donde:

$Tg \text{ min.}$ = longitud de tangente mínima.

Ls_1 = longitud de espiral de la curva anterior (curva No. 9) = 35m. (Ver Tabla No. V).

Ls_2 = longitud de espiral de la curva para la que se están realizando los cálculos (curva No. 10) = 39m. (Ver tabla No. V).

$$Tg \text{ min} = 17.5m + 19.5m$$

$$Tg \text{ min} = 37m$$

Si cumple, ya que la tangente es mayor ($L=52.78m$). Cuando se calculen los elementos de la curva No. 11, se debe verificar que la tangente tenga la longitud mínima también, si no se tiene la longitud mínima se le debe cambiar el grado de curvatura a la curva No. 10 y 11 hasta obtener la longitud mínima.

Con los datos de G y R se calculan los elementos de la curva:

Longitud de curva (LC):

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

$$LC = \frac{20(49.8367^\circ)}{23^\circ}$$

$$LC = 43.33m$$

External (E):

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

$$E = 49.82m * \left[\text{Sec}\left(\frac{49.8367^\circ}{2}\right) - 1 \right]$$

$$E = 5.11m$$

Sub-tangente (St):

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

$$St = 49.82m * Tg\left(\frac{49.8367^\circ}{2}\right)$$

$$St = 23.15m$$

Ordenada media (Om):

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

$$Om = 49.82m \left(1 - \text{Cos}\left(\frac{49.8367^\circ}{2}\right) \right)$$

$$Om = 4.64m$$

Cuerda máxima (Cm):

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

$$Cm = 2 * 49.82m * \text{Sen}\left(\frac{49.8367^\circ}{2}\right)$$

$$Cm = 41.98m$$

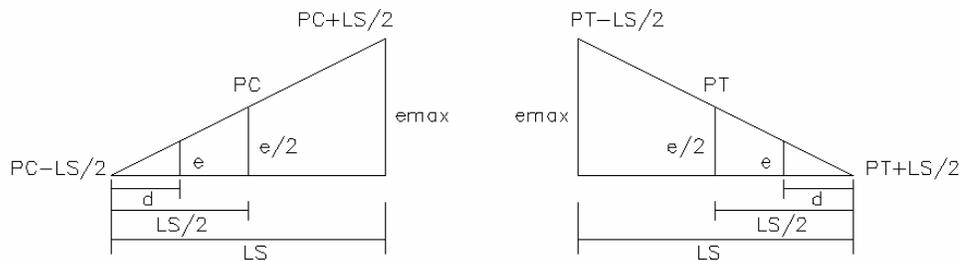
Los estacionamientos del PC y PT de la línea de localización se calculan de la siguiente manera:

$$PC = PI - St = 781.14m - 23.15m = 757.99m$$

$$PT = PC + LC = 757.99m + 43.33m = 801.32m$$

Ahora se calculan los peraltes, sobre anchos y corrimientos para la curva, estos cambian proporcionalmente con la longitud de espiral, para esta curva la longitud de espiral (LS) es 39m. Entonces los cambios en el peralte, sobre ancho y corrimiento empezarán en la estación: $PC - LS/2 = 757.99 - 19.5 = 738.49$ y terminarán en la estación: $PT + LS/2 = 801.32 + 19.5 = 820.82$. Como estos elementos se reparten proporcionalmente, tomando como punto intermedio el PC y PT, el peralte, sobre ancho y corrimiento tendrán la mitad de su valor máximo en estos puntos; y en los puntos: $PC + LS/2 = 757.99 + 19.5 = 777.49$ y $PT - LS/2 = 801.32 - 19.5 = 781.82$, tendrán su valor máximo. Cuando alcancen su valor máximo se mantiene este valor hasta que empiece a decrecer, no puede existir un valor mayor. En la figura 11, se ilustra el cambio proporcional del peralte, cuando se entra y sale de la curva horizontal.

Figura 11. Cambio proporcional del peralte



Por medio de relación de triángulos se calcula el peralte a una distancia cualquiera (d).

$$\frac{e}{d} = \frac{e_{max}}{LS}$$

$$e = \frac{d * e_{max}}{LS}$$

Para el cálculo de sobre ancho se tiene la misma relación de triángulos, entonces para una distancia cualquiera (d) se tiene un sobre ancho:

$$\frac{SA}{d} = \frac{SA_{max}}{LS}$$

$$SA = \frac{d * SA_{max}}{LS}$$

En la tabla VI se muestran los cálculos de peralte, sobre ancho y las lecturas de corrimiento obtenidas de las gráficas de la Dirección General de Caminos para la curva No. 10.

Tabla VI. Ejemplo de cálculo de elementos de curva horizontal

No. Curva	G	RADIO	Vel KPH	ESPECIFICACIONES				LS/2	e%/LS	SA/LS
				e%	LS	Δ	SA			
10	23	49.82	40	10	39	44.5	1.32	20	0.256	0.034

Curva	EST.	Peralte	Sobre Ancho	Corr.
10	730.000	BN	AN	
	738.491	0.00	0.00	0.02
	740.000	0.39	0.05	
	750.000	2.95	0.39	
	PC 757.991	5.00	0.66	1.1
	760.000	5.52	0.73	
	770.000	8.08	1.07	
	777.491	10.00	1.32	2.16
	780.000	10.00	1.32	
	781.826	10.00	1.32	2.16
	790.000	7.90	1.04	
	800.000	5.34	0.70	
	PT 801.326	5.00	0.66	1.1
	810.000	2.78	0.37	
	820.000	0.21	0.03	
	820.826	0.00	0.00	0.02
	825.000	BN	AN	

Es importante mencionar que en muchas curvas no se cumplió con el radio mínimo (30m) y las tangentes mínimas, ya que existían viviendas a un lado o a ambos

lados del camino, puentes o intersecciones. Para estos lugares se utilizaron radios más pequeños a 30m (radio mínimo según especificaciones para el tipo de carretera), que ayudaron a que la línea de localización coincidiera aproximadamente con la línea preliminar.

2.4.3 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 pendiente de la tangente de entrada a la tangente de salida, proporcionando una operación segura y confortable en el manejo del vehículo y características de drenaje adecuadas. Si la diferencia de pendientes es menor al 0.5%, no es necesario proyectar una curva vertical, pues el cambio de pendiente es muy pequeño y se pierde durante la construcción. El tipo de curva vertical utilizada por la Dirección General de Caminos de Guatemala, es la parabólica simple, debido a la facilidad del cálculo y adaptabilidad a las condiciones necesarias de operación.

Para diseñar las curvas verticales se deben considerarse sus longitudes mínimas permisibles, con el fin de evitar traslape entre las mismas y permitir mejor visibilidad al conductor. Para el cálculo se debe tomar en cuenta la **visibilidad de parada**, que es la longitud mínima de las curvas verticales, en ningún caso la longitud de la curva debe ser menor a este valor:

$$L = K * A$$

Donde:

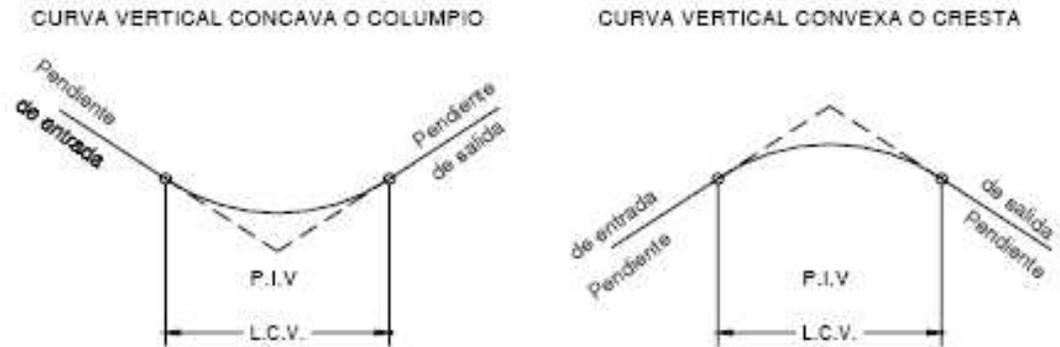
L = longitud mínima de la curva vertical en metros.

A = diferencia algebraica de las pendientes de las tangentes verticales, en porcentaje.

K = parámetro de la curva. Los valores de K se definen según el tipo de curva y la velocidad de diseño.

En la figura 12 se muestran los dos tipos de curvas existentes:

Figura 12. Tipos de curvas verticales



Fuente: Alvaro Danilo Yllescas Ponce. **Diseño del tramo carretero comprendido desde el entronque del kilómetro 171+400 carretera Interamericana (CA-1), hacia el caserío Nuevo Xetnamit, del municipio de Nahualá, departamento de Sololá.** Pág. 30.

En la Tabla VII se muestran los diferentes valores de K para visibilidad de parada, según la Dirección General de Caminos:

Tabla VII. 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
100	36	60

Fuente: Jorge Félix Valladares. **Guía teórica práctica del curso de Vías Terrestres 1.** Pág. 31

Además existen cuatro criterios que ayudan a determinar la longitud de las curvas verticales, estos son:

Criterio de apariencia: para curvas verticales con visibilidad completa, cóncavas, sirve para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito de pendiente.

Este es: $K = \frac{LCV}{\Delta} \geq 30$, $\Delta = P_s - P_e$

En donde: P_s = pendiente de salida y P_e = pendiente de entrada

Criterio de comodidad: para curvas verticales cóncavas en donde la fuerza centrífuga que aparece en el vehículo, al cambiar de dirección, se suma al peso propio del vehículo. Este es:

$$K = \frac{LCV}{\Delta} \geq \frac{V^2}{395}$$

Criterio de drenaje: para curvas verticales convexas y cóncavas, alojadas en corte. Se utiliza para que la pendiente en cualquier punto de la curva sea adecuada para que el agua pueda escurrir fácilmente. Este es:

$$K = \frac{LCV}{\Delta} \leq 43$$

Criterio de seguridad: que es la visibilidad de parada, la longitud de curva debe permitir que a lo largo de ella la distancia de visibilidad sea mayor o igual que la de parada. Se aplica a curvas cóncavas y convexas.

En la Tabla VIII se muestra algunos ejemplos de las longitudes de curva escogidas según los diferentes criterios.

Tabla VIII. Ejemplo de determinación de longitud de curvas verticales

Nº. CURVA VERTICAL	Pendiente	$\Delta = P_s - P_e$	TIPO DE CURVA	K de Visibilidad		LCV por criterio de SEGURIDAD	$k = LCV/\Delta$	Criterio de apariencia (curvas conc.)	Criterio de comodidad (curvas conc.)	Criterio de drenaje (curvas conc. o conv. en corte)	LCV escogida
				CONC	CONV	$LCV = \Delta * k$		$k \geq 30$	$k \geq V^2/395$	$k \leq 43$	
0	-12.971										
1	1.092	14.063	conc	4	2	57	4.053	no cumple	cumple	cumple	60
2	-4.766	5.858	conv	4	2	30	5.121	no se aplica el criterio	no se aplica el criterio	cumple	30
3	3.72	8.486	conc	4	2	34	4.007	no cumple	cumple	cumple	35
4	-3.711	7.431	conv	4	2	30	4.037	no se aplica el criterio	no se aplica el criterio	cumple	31
5	-11.389	7.678	conv	4	2	30	3.907	no se aplica el criterio	no se aplica el criterio	cumple	40

2.5 Movimiento de tierras

En la construcción de carreteras, esta es una de las actividades de mayor importancia, ya que afecta considerablemente en el costo de la misma. Por esto el movimiento de tierras debe ser lo más económico posible, dentro de los requerimientos que el tipo de camino especifique.

2.5.1 Subrasante

La subrasante es la que define el volumen del movimiento de tierras, por lo que se debe seleccionar la subrasante que ocasione el menor costo de construcción, es decir que provoque el menor movimiento de tierras. El diseño de la subrasante, en el perfil de localización, se realiza por tanteos, que disminuyen únicamente de acuerdo con la experiencia del diseñador. Uno de los criterios que se debe utilizar es el balance de masas, con éste se busca, en un tramo de 500 metros, balancear los cortes con los rellenos para no tener material de préstamo, pero en este caso como el terreno es montañoso, no es posible utilizar este método, pues los volúmenes de corte superan por mucho a los de relleno. Además es recomendable que los cortes queden pendiente arriba

de los rellenos, para facilitar el transporte del material. Entre los aspectos que hay que tener en cuenta para diseñar la subrasante están:

Definición del ancho de la carretera: para la carretera Tipo “E” de la Dirección General de Caminos, se tiene un ancho de 5.50m, también se tiene un ancho de terracería de corte y de relleno de 9.50m y 8.50m respectivamente, con esta información se podrán determinar los lugares en donde los taludes no se pueden hacer debido a viviendas, roca, monumentos, postes etc.

Alineamiento horizontal y perfil longitudinal del tramo: a partir del alineamiento horizontal se dibuja el perfil actual de la carretera. En el alineamiento horizontal se indican los azimut, distancias, curvas horizontales, principios de curvas, principios de tangencia, longitudes de curva etc., que son los que definen el caminamiento de la carretera.

Puntos obligatorios: existen puntos obligatorios en los alineamientos horizontal y vertical, son las elevaciones obligatorias que debe tener un estacionamiento, como en este camino que existen tres puentes, la subrasante deberá pasar por estos puntos ya que no se pueden cambiar de posición los puentes. Otros puntos obligatorios son nacimientos de agua, para los cuales se deben construir las obras de protección necesarias, terreno rocoso, casas a la orilla de la carretera, etc.

Pendiente mínima: cuando la sección transversal sea de corte se recomienda una pendiente mínima de 0.5%, para que el agua que cae en la cuneta pueda ser drenada hasta el cabezal de descarga. En tramos de relleno no hay una pendiente mínima, pues el agua se drena por el bombeo de la carretera.

Pendiente máxima: es la mayor pendiente que puede ser utilizada en el diseño de la subrasante, está determinada por el tránsito previsto y por la topografía del terreno, en este caso es del 10%. Pero como se observará en los planos, en algunas secciones no fue posible cumplir con esta pendiente, ya que debido a los puntos obligados (puentes, casas e intersecciones) y a los cortes excesivos y peligrosos (secciones en trinchera con cortes aproximados de 30m de altura de los dos lados) fue necesario utilizar pendientes mayores, hasta del 15%. En los tramos en donde se presenta una pendiente grande, es recomendable que se deje la mayor pendiente al principio de la cuesta, para tratar de suavizarla en el final, evitando que los vehículos pierdan velocidad al estar cargados. Si la pendiente es larga se recomienda hacer un descanso en medio de tangentes, para lograr avance; además es recomendable usar pendientes máximas en tramos cortos.

Tipo de suelo: es necesario conocer qué tipos de suelos existen en el derecho de vía, para poder resolver los problemas que se presentan en puntos específicos de la carretera y darle la solución necesaria. En este caso existe material rocoso para el cual se necesitará hacer corte en roca, además se realizará prevención de derrumbes para hacer la carretera más segura.

Condiciones topográficas: la Dirección General de Caminos (D.G.C.) clasifica los tipos de carreteras por regiones, de acuerdo con la topografía, éstas son: llanas, onduladas y montañosas. En este caso se tiene una región montañosa, por lo que existirán grandes movimientos de tierra y se emplearán pendientes máximas en la mayoría de tramos.

Curvas verticales: debe evitarse curvas verticales cóncavas en corte, pues en éstas se forman depósitos de agua que será difícil drenar. Se deben evitar depresiones pequeñas en la subrasante que puedan ocultar los vehículos, es recomendable que los cambios sean graduales. Para simplificar los cálculos es aconsejable colocar los puntos de intersección verticales en estaciones exactas.

2.5.2 Corrección por curva vertical a subrasante

Las curvas verticales pueden ser cóncavas o convexas, véase figura 12. Para realizar las correcciones máximas en las curvas verticales se debe calcular la ordenada media de la siguiente manera:

$$OM = \frac{Ps - Pe}{800} * LCV$$

En donde:

OM = ordenada media

Pe = pendiente de entrada

Ps = pendiente de salida

LCV = longitud de curva vertical.

Para corregir cualquier punto en una curva vertical se utiliza la fórmula siguiente:

$$Y = \frac{OM}{\left(\frac{LCV}{2}\right)^2} * D^2$$

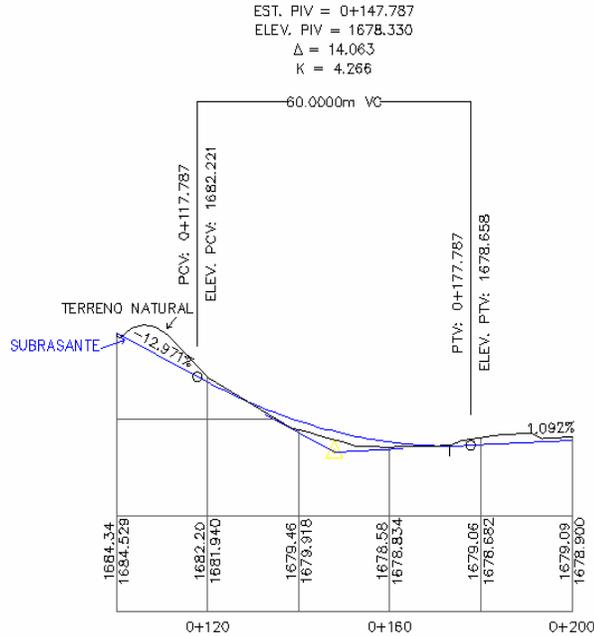
En donde:

Y = corrección en cualquier punto de la curva

D = distancia del punto intermedio de la curva (PIV) a la estación deseada.

Ejemplo de corrección por curva vertical de la subrasante: para la curva vertical No. 1, ver figura 13, en donde se escogió una longitud de curva vertical LCV = 60m (Ver Tabla VIII), se tiene un $\Delta = Ps - Pe = 1.092\% - (-12.971) = 14.063\%$. Entonces la ordenada media es: $OM = \frac{Ps - Pe}{800} * LCV = \frac{14.063}{800} * 60 = 1.055$

Figura 13. Curva vertical



Las correcciones se calculan de la siguiente manera (tomando como ejemplo la estación 0+120):

$$Y = \frac{1.055}{\left(\frac{60}{2}\right)^2} * [120 - 147.787]^2 = 0.0057$$

$$\text{subrasante.corregida} = \text{subrasante} + Y$$

$$\text{subrasante.corregida} = 1681.93 + 0.0057 = 1681.94$$

En la tabla IX, se observan las correcciones calculadas con OM=1.055 y los valores de subrasante corregida para cada estación:

Tabla IX. Corrección de subrasante por curva vertical.

ESTACIÓN		PENDIENTE	SUBRASANTE	CORRECCIÓN (Y)	SUBRASANTE CORREGIDA (sub-rasante + Y)
0+100		-12.971	1684.53	0.0000	1684.53
0+117.787	PCV	-12.971	1682.22	0.0000	1682.22
0+120		-12.971	1681.93	0.0057	1681.94
0+140		-12.971	1679.34	0.5784	1679.92
0+147.787	PIV	OM	1677.28	1.0550	1678.33
0+160		1.092	1678.46	0.3709	1678.83
0+177.787	PTV	1.092	1678.66	0.0000	1678.66
0+180		1.092	1678.68	0.0000	1678.68
0+200		1.092	1678.90	0.0000	1678.90

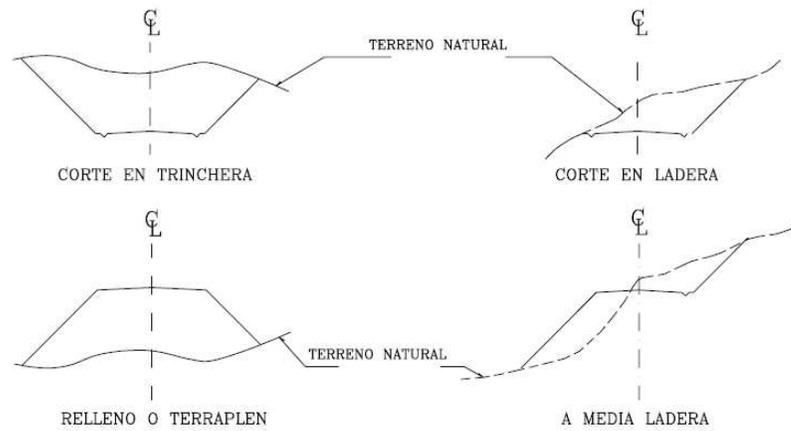
2.5.3 Áreas de secciones transversales

Para el cálculo de las áreas de las secciones transversales, de la línea de localización, primero se dibujan éstas a cada 20m, con la sección típica de la carretera Tipo “E” para regiones montañosas. Para esta sección se tienen establecidos los taludes de corte y relleno según su altura. Se puede utilizar el método gráfico, el cual permite medir las áreas por medio de un planímetro graduado, para la realización de la medida de las secciones que deben estar dibujadas en papel milimetrado. Otro método utilizado para el cálculo de área es el de determinantes, en el que con las coordenadas de los puntos que delimitan las áreas de corte y relleno se calcula el área, éste fue el método utilizado con el programa AutoDesk Land.

2.5.4 Volúmenes de tierra

Este se realiza a partir de secciones transversales tomadas perpendicularmente a lo largo del eje central a cada 20m. Las secciones transversales pueden ser: corte en trinchera, corte en ladera, en relleno o terraplén y a media ladera. En la figura 14 se tienen gráficamente los diferentes tipos de secciones transversales.

Figura 14. Tipos de secciones transversales.

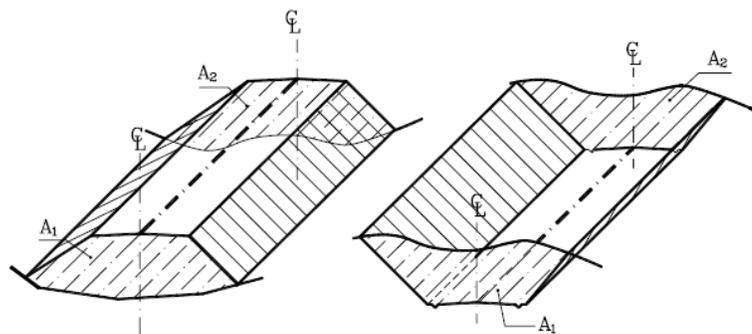


Fuente: Leonardo Casanova M. **Elementos de Geometría.** Pág. 1-24

Los métodos más utilizados para el cálculo de los volúmenes correspondientes al movimiento de tierra, son el método de las áreas medias y el método del prismoide. Se utilizó en este caso, el método de las áreas medias en donde el volumen entre dos secciones consecutivas del mismo tipo, en corte o en relleno (ver figura 15), está dado por:

$$\text{por: } V = \frac{1}{2}(A_1 + A_2) * d$$

Figura 15. Volumen entre secciones del mismo tipo.



Fuente: Leonardo Casanova M. **Elementos de Geometría.** Pág. 1-25

En donde:

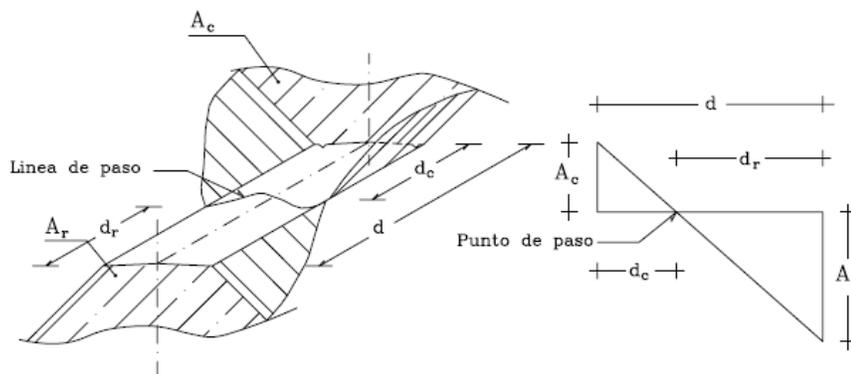
V = volumen entre ambas secciones en m³.

A_1, A_2 = áreas de secciones consecutivas en m^2 .

d = Distancia entre secciones en metros (en este caso 20m).

Cuando existen dos secciones consecutivas de diferente tipo, se genera una línea de paso a lo largo de la cual la cota del terreno coincide con la cota de la superficie de subrasante. En este caso, se generará un volumen de corte y uno de relleno entre ambas secciones (ver figura 16).

Figura 16. Volumen entre secciones de diferente tipo



Fuente: Leonardo Casanova M. **Elementos de Geometría**. Pág. 1-25

Se asume que la línea de paso es perpendicular al eje. El volumen de corte entre el área de corte " A_c " y el área de la línea de paso que es cero, y el volumen de relleno entre el área de relleno " A_r " y el área de la línea de paso, se calculan de la siguiente

manera: $V_C = \frac{1}{2}(A_C + A_0) * d_C$, $V_R = \frac{1}{2}(A_R + A_0) * d_R$. En donde:

V_C, V_R = volumen de corte y de relleno en m^3 .

A_C, A_R = áreas de las secciones en corte y relleno en m^2 .

A_0 = área de la sección en la línea de paso = 0.

d_C, d_R = distancias de corte y relleno en m.

Por medio de relación de triángulos se determinan los valores de d_C y d_R , ver figura 16, de la siguiente manera: $d_C = \frac{A_C}{A_C + A_R} * d$, $d_R = \frac{A_R}{A_C + A_R} * d$.

Ejemplo de cálculo de volumen:

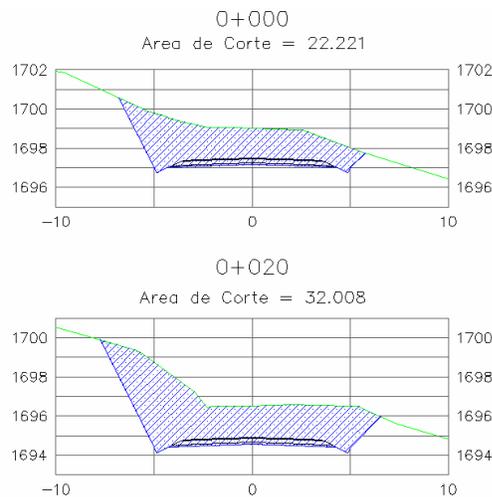
Volumen entre secciones del mismo tipo: como ejemplo se calcula el volumen entre las secciones 0+000 y 0+020, que tienen un área de corte de $22.221m^2$ y $32.008m^2$, respectivamente, ver figura 17. El volumen entre las dos secciones es:

$$V = \frac{1}{2}(A_1 + A_2) * d$$

$$V = \frac{1}{2}(22.221m^2 + 32.008m^2) * 20m$$

$$V = 542.29m^3$$

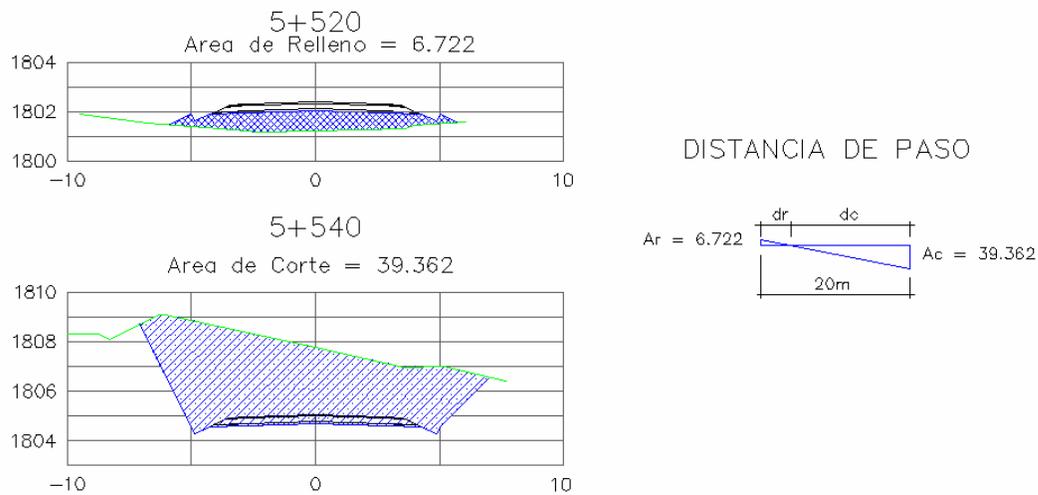
Figura 17. Áreas de corte de secciones transversales



Volumen entre secciones de diferente tipo: como ejemplo se calcula el volumen entre las secciones 5+520 y 5+540, que tienen un área de relleno de $6.722m^2$ y un área de

corte de 39.362m^2 , respectivamente, ver la figura 18. Entonces para calcular el volumen se halla primero la distancia de paso entre las dos secciones:

Figura 18. Áreas de corte y relleno de secciones transversales



$$d_C = \frac{39.362}{39.362 + 6.722m} * 20m$$

$$d_C = 17.083m$$

$$d_R = \frac{6.722m}{39.362m + 6.722m} * 20$$

$$d_R = 2.917m$$

Con las distancias de paso se calculan los volúmenes de corte y relleno de la siguiente forma:

$$V_C = \frac{1}{2}(39.362 + 0) * 17.083$$

$$V_C = 336.21\text{m}^3$$

$$V_R = \frac{1}{2}(6.722 + 0) * 2.917$$

$$V_R = 9.804\text{m}^3$$

En los apéndices se presenta un resumen del cálculo de volúmenes de corte y relleno.

2.6 Determinación de la calidad del suelo

El suelo es el soporte último de todas las obras de infraestructura, se comporta como una estructura más con características físicas propias (densidad, porosidad, ángulo de fricción interna, etc.) que le otorgan ciertas propiedades resistentes ante diversas sollicitaciones (compresión, corte, etc.); por ésto, es necesario estudiar su comportamiento ante la perturbación que supone cualquier asentamiento antrópico; en este caso, una carretera.

2.6.1 Pruebas de laboratorio

Las pruebas de laboratorio son procedimientos científicos que permiten caracterizar los suelos en función de sus propiedades físicas, químicas o mecánicas, con el fin de establecer una división sistemática, según similitud de caracteres físicos y propiedades mecánicas. Una clasificación adecuada permite tener una idea del comportamiento del suelo como cimiento del pavimento.

Los ensayos que definen las principales propiedades de los suelos en carreteras son:

- Análisis granulométrico
- Límites de Atterberg
- Equivalente arena
- Proctor normal y modificado
- Determinación de la capacidad portante mediante el índice de CBR

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 éstos 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 de esta forma tener una idea del suelo en estudio y sus propiedades mecánicas. Estos dos límites están definidos de la siguiente manera:

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.

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 y es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. Los resultados de los ensayos realizados se muestran en la tabla X.

Tabla X. Resultado de los ensayos de límites de Atterberg

<i>ENSAYO No.</i>	<i>MUESTRA No.</i>	<i>L.L. (%)</i>	<i>I.P. (%)</i>	<i>C.S.U. *</i>	<i>DESCRIPCION DEL SUELO</i>
1	1	37.1	11.5	ML	Limo arcilloso color café claro

Norma: AASHTO T-89 Y T-90

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

Según los resultados se observa que el suelo, con índice de plasticidad de 11.5% y límite líquido de 37.1 %, es plástico; con estos valores y el análisis granulométrico se clasificará el suelo.

2.7.1.2. Análisis granulométrico

Determina las proporciones de los distintos tamaños de grano existentes en el suelo. Con este ensayo, se establece una clasificación genérica de suelos atendiendo a su granulometría. Existen varias formas y escalas para clasificar los suelos, entre ellas están: la del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), ver tabla No. XI, que por su carácter versátil y sencillo se emplea para todo tipo de obras de ingeniería; y la del sistema de clasificación de la AASHTO, que es uno de los más populares en carreteras. En este sistema se clasifica el suelo en siete grupos básicos, ver tabla XII.

Tabla XI. Tipología de suelos SUCS

SÍMBOLO	Características generales		
GW	GRAVAS (>50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos<5%)	Bien graduadas
GP			Pobremente graduadas
GM		Con finos (Finos>12%)	Componente limoso
GC			Componente arcilloso
SW	ARENAS (<50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos<5%)	Bien graduadas
SP			Pobremente graduadas
SM		Con finos (Finos>12%)	Componente limoso
SC			Componente arcilloso
ML	LIMOS	Baja plasticidad (LL<50)	
MH		Alta plasticidad (LL>50)	
CL	ARCILLAS	Baja plasticidad (LL<50)	
CH		Alta plasticidad (LL>50)	
OL	SUELOS ORGÁNICOS	Baja plasticidad (LL<50)	
OH		Alta plasticidad (LL>50)	
Pt	TURBA	Suelos altamente orgánicos	

Fuente: Luis Bañón Blázquez y José F. Beviá García. **Manual de carreteras, Tomo 2.** Pág. 15-21.

Tabla XII. Clasificación de suelos AASHTO

DIVISIÓN GENERAL		Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)						Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)					
GRUPO		A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7		
Subgrupo		A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)													
Serie ASTM	#10	≤ 50											
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51									
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)													
Límite líquido			NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	>41 (IP<11-30)	>41 (IP>11-30)	
Índice de plasticidad	≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	0	≤ 4	≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos			Suelos arcillosos		
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA						

Fuente: Luis Bañón Blázquez y José F. Beviá García. **Manual de carreteras, Tomo 2.** Pág. 15-25.

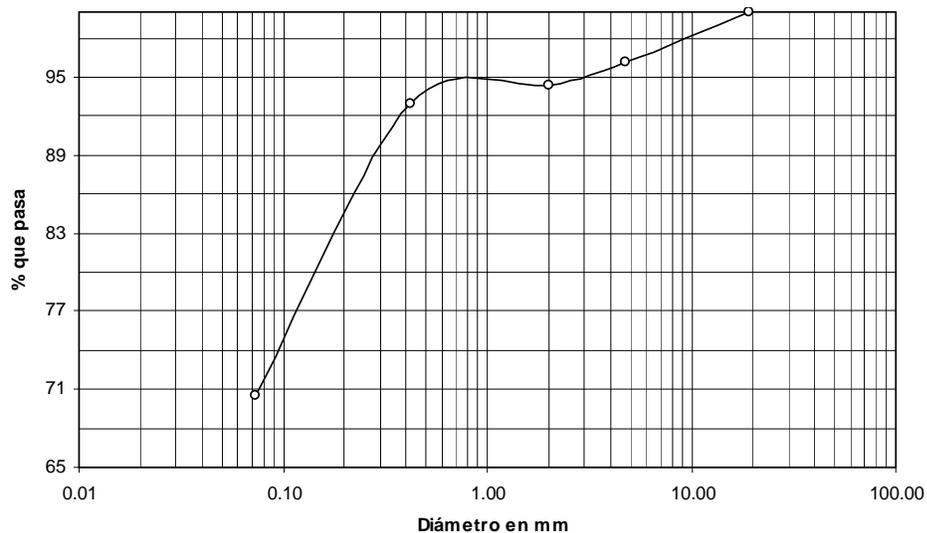
A continuación se presenta la curva granulométrica (figura 19), en donde se visualiza el porcentaje que pasa en cada tamiz. En la Tabla XIII se encuentran los resultados del ensayo de análisis granulométrico.

Tabla XIII. 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:		
Tamiz	Abertura (Mm.)	% que pasa
2"	50.8	100.00
3/4"	19.00	100.00
4	4.76	96.11
10	2.00	94.35
40	0.42	92.97
200	0.074	70.53
Descripción del suelo:		Limo arcilloso color café claro
Clasificación: S.C.U.:	ML	P.R.A.: A-6

% de Grava: 3.89
 % de Arena: 25.59
 % de Finos: 70.53

Figura 19. Porcentaje que pasa en cada tamiz



Con los resultados de la granulometría se determina que el suelo posee un porcentaje de gravas de 3.89, 25.59 de arena y 70.53 de finos, con estos valores y los del ensayo

anterior, se clasifica el suelo como ML, según el sistema de clasificación SUCS., y A-6, según el sistema de clasificación AASHTO, y se describe como un limo arcilloso color café claro.

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 cinco veces mayor que el estándar. Para el proyecto se utilizará el ensayo de proctor modificado. En la tabla XIV se da un ejemplo de los cálculos realizados.

Tabla XIV. Ejemplo de cálculos para el ensayo de proctor modificado

No. de Columna:	1		4		Para la TARA P.B.H. = Peso bruto húmedo TARA = Peso de la Tara sin collar P.N.H. = Peso neto húmedo = P.B.H. – TARA P.U.H. = Peso unitario húmedo = P.N.H. / Volumen de Tara Volumen de Tara = 944cm ³ ó 1/30 pie ³
Intervalo de Humedad (%)	3		12		
P.B.H. (gramos)	5950		6270		
TARA (gramos)	4240		4240		
P.N.H. (gramos)	1710		2030		
P.U.H. (lb./pie ³)	113.0		134.1		
Tarro	s-1	s-I	G-5	G-18	Para el Tarro: pbh= peso bruto húmedo pbs= peso bruto seco Peso-tarro = Peso del tarro utilizado para calcular la humedad del suelo Dif = pbh – pbs pns = pbs - peso tarro % DE HUMEDAD = dif/pns*100 % DE H. PROMEDIO = PROMEDIO DE % DE HUMEDAD P.U.S.= Peso Unitario Seco = P.U.H. / (1+(% DE H. PROMEDIO/100)
pbh	70.6	66.3	110.9	78.1	
pbs	68.6	64.4	101.7	73.2	
peso-tarro	32.8	32.3	39.3	38.7	
Dif.	2	1.9	9.2	4.9	
pns	35.8	32.1	62.4	34.5	
% DE HUMEDAD	5.59	5.92	14.74	14.20	
% DE H. PROMEDIO	5.8		14.5		
P.U.S.	106.8		117.2		

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 20 y Tabla XV.

Figura 20. Gráfica de densidad seca - contenido de humedad.

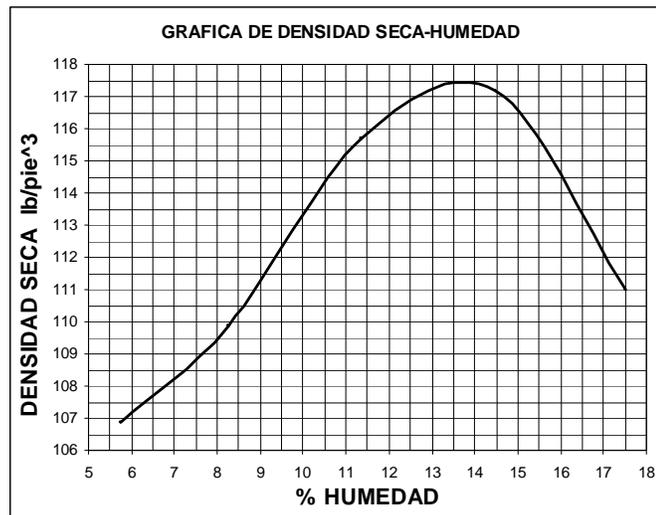


Tabla XV. Resultados del ensayo proctor modificado

ENSAYO DE COMPACTACIÓN.		
Proctor modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-180		
Descripción del suelo:	Limo arcilloso color café claro	
Densidad seca máxima:	1882 Kg./m ³	117.5 lb./pie ³
Humedad óptima Hop.:	13.7 %	

Estos resultados indican que con una humedad de 13.7%, el suelo llega a su densidad seca máxima, que es de 1882 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 2.5mm pero si el valor de CBR a una penetración de 5mm 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 XVI.

Tabla XVI. Valores de carga unitaria para calcular el CBR

PENETRACIÓN		CARGA UNITARIA PATRÓN	
Mm.	pulg.	MPa	psi
2.5	0.1	6.9	1,000
5	0.2	10.3	1,500
7.5	0.3	13	1,900
10	0.4	16	2,300
12.7	0.5	18	2,600

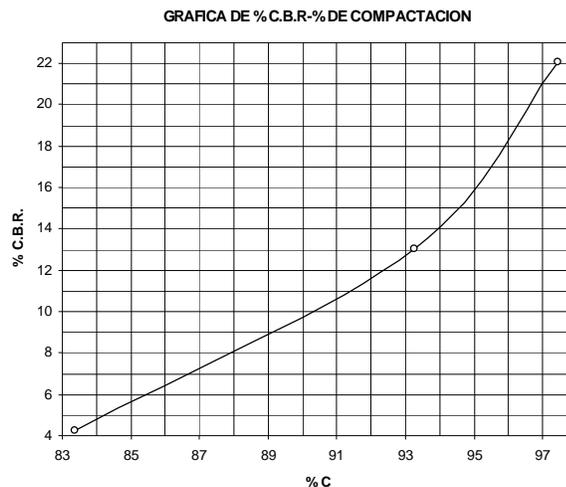
Fuente: Joseph E. Bowles. **Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil**. Pág. 190.

A continuación, en la Tabla XVII y la figura 21, se muestran los resultados obtenidos en el ensayo:

Tabla XVII. 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 COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	γ_d (Lb./pie ³)			
1	10	13.70	98.0	83.4	1.85	4.2
2	30	13.70	109.6	93.3	1.83	13.0
3	65	13.70	114.5	97.4	1.78	22.1

Figura 21. Gráfica de CBR – porcentaje de compactación



Según los resultados el suelo posee un índice de C.B.R. de 16, al 95% de compactación, este valor es utilizado para determinar las propiedades mecánicas del suelo.

2.6.2 Criterios para definir la capa de rodadura

Las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la subrasante actual 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 un limo arcilloso color café claro, con una clasificación ML, un limo con baja plasticidad según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, A-6, material limo arcilloso, según la clasificación del método AASHTO. Su densidad seca máxima es de $1882.35 \text{ kg/m}^3 = 117.5 \text{ lb/pie}^3$ con una humedad óptima de 13.7 %. Además tiene un límite líquido (L.L.) = 37.11 %, índice de plasticidad (I.P.) = 11.47%, el índice de C.B.R. al 95% de compactación se encuentra entre 13 y 22. 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.

Además, se debe tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la influencia de ésta sobre la resistencia mecánica del suelo como a las eventuales variaciones de volumen producidas por la presencia intermitente del agua, que pueden producir fracturas en el pavimento, por esto es necesario la construcción de un drenaje adecuado del suelo, que ayude a que el agua no llegue a las capas del pavimento ni a la subrasante.

2.7 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, éstas se dimensionan con base a diversos métodos y procedimientos de cálculo. Los métodos 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 cálculo 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 75 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 13 y 22, por lo que se puede utilizar como una subrasante y hasta como sub-base regular (Ver Tabla XVIII).

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

No. CBR	CLASIFICACIÓN GENERAL	USOS	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN	
			UNIFICADO	AASHTO
0 - 3	Muy pobre	Sub-rasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3 - 7	Pobre a regular	Sub-rasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7 - 20	Regular	Sub-base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20 - 50	Bueno	Base, Sub-base	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**. Pág. 191.

Las principales funciones de la capa subrasante son: 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), evitar que los materiales finos plásticos que formen el cuerpo del terraplén contaminen el pavimento, el tamaño de las partículas debe estar entre las finas correspondientes al cuerpo del terraplén y las granulares del

pavimento, evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes se reflejen en la superficie de rodamiento y uniformar los espesores de pavimento, en especial cuando los materiales de las terracerías requieren un espesor grande.

El objetivo principal de la subrasante es adecuar la superficie de la sección típica y con ello obtener las elevaciones del proyecto establecidas en los planos, por medio de su reacondicionamiento, efectuando cortes y rellenos con un espesor no mayor de 200 milímetros, con el objeto de regularizar y mejorar, mediante estas operaciones, las condiciones de la superficie que servirá de cimiento a la estructura del pavimento. La capa superior de la capa subrasante, coincide con la subrasante o línea subrasante del proyecto geométrico, la cual debe cumplir con las especificaciones de pendiente longitudinal para la obra.

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 se halla 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.

Cuando los materiales encontrados en las zonas cercanas a la obra, no cumplen con las características marcadas en las normas, se requiere estabilizarlos mecánica o químicamente. En otras ocasiones, para construir las terracerías es necesario formar una caja y sustituir el material extraído, por otro de características adecuadas; este procedimiento se utiliza a menudo para construir la capa subrasante en cortes. A veces, el material de los cortes es adecuado para la capa subrasante, por lo mismo no debe

acarrear material de préstamos de banco, sino utilizarse el que ya existe, para no tener salientes en la cama de los cortes y que la compactación sea constante. Para esto se escarifican 15 cm de material, se humedecen en forma homogénea, se extienden dando el bombeo o sobre elevación del proyecto y se compactan al 95% de su peso volumétrico seco máximo. La estabilización es la operación que consiste en escarificar o pulverizar, incorporar materiales estabilizadores, homogenizar, mezclar, uniformizar, conformar y compactar la mezcla de la subrasante, con materiales que mejoren sus características mecánicas y su función como cimiento de la estructura del pavimento, adecuando su superficie a la sección típica y elevaciones de subrasante establecidas en los planos, efectuando cortes y rellenos con un espesor no mayor de 200 milímetros. Los materiales estabilizadores pueden ser: cal hidratada, cemento hidráulico, productos químicos y otros más, que cumplan con los requisitos establecidos en AASHTO M 216, ASTM C 977, NGO 41018, ASTM C 206 y ASTM C 207 con la finalidad de mejorar las condiciones mecánicas de la capa subrasante.

En este proyecto es necesaria la capa de subbase, para el pavimento flexible, pues el terreno de fundación es un suelo fino (limo arcilloso). Ya que la subrasante cumple con las condiciones mecánicas necesarias no será estabilizado.

2.8.1.3. El clima

Se tiene en cuenta sobre todo en la elección de materiales y en algunos aspectos constructivos, como en el dimensionamiento del drenaje. En el diseño puro y simple de la estructura del pavimento no tiene especial influencia.

2.8.1.4. Los materiales a utilizar en cada capa

Confieren un determinado comportamiento mecánico al pavimento, de su correcta combinación depende la obtención de la sección del pavimento más adecuada técnica y económicamente. Según los materiales y capas que componen el pavimento y la forma de éstos de resistir los esfuerzos, éste puede ser rígido (con una carpeta de rodadura de concreto hidráulico) o flexible (formado por capas bituminosas y granulares). A continuación se describen los materiales que se utilizan en las capas que forman el pavimento rígido y flexible y las funciones de cada una de ellas.

Sub-base

Es la capa de material seleccionado que se coloca encima de la subrasante. Tiene una razón económica, ya que reduce el espesor de la capa de base, colocando una capa de menor calidad, que es más barata. El utilizar un material con baja calidad, conlleva aumentar el espesor total del pavimento, pues menor calidad necesita mayor cantidad de espesor para soportar los esfuerzos transmitidos. Los espesores de sub-base dependen y varían de acuerdo a cada tramo, lugar y proyecto; sin embargo, se considera un mínimo de 10 centímetros y un máximo de 70 centímetros de espesor en una capa de subbase. Se debe entender que al decir material de menor calidad, éste debe mantener propiedades y cualidades como resistencia friccionante y la capacidad de drenaje y deberá llenar los requisitos mínimos.

La sub-base tiene por objeto: servir de capa de drenaje al pavimento; servir de transición entre el material de la base y la sub-rasante (es más fina que la base y actúa como filtro de ésta e impide su incrustación en la sub-rasante); soportar, transmitir y distribuir con uniformidad el efecto de las cargas del tránsito, proveniente de las capas superiores del pavimento, de tal manera que el suelo de sub-rasante las pueda soportar; controlar o eliminar los cambios de volumen, elasticidad y plasticidad perjudiciales que

podiera tener el material del terreno de fundación; y controlar la ascensión capilar del agua proveniente de las napas freáticas cercanas o de otras fuentes, protegiendo el pavimento contra los hinchamientos que se producen en época de helada.

La capa de sub-base común, debe estar constituida por materiales de tipo granular en su estado natural o mezclados, que formen y produzcan un material que llene los requisitos siguientes:

Tabla XIX. Requisitos a cumplir por la capa de sub-base

Valor soporte	CBR \geq 30
Tamaño de las partículas	Tamaño máximo de piedras \leq 70 mm. Tamaño máximo de piedras \leq ½ de espesor de la capa. Partículas que pasen el tamiz 0.425 mm \leq 50% en peso. Partículas que pasen el tamiz 0.075 mm \leq 25% en peso.
Plasticidad	Índice de plasticidad \leq 6 Límite líquido \leq 25
Equivalente arena	$>$ 25
Impurezas	Debe estar exento de materias vegetales, basura, terrones de arcilla, o sustancias que puedan causar fallas en el pavimento.

Base

Capa del pavimento compuesta de material selecto colocada sobre la sub-base o sub-rasante, tiene por finalidad absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos, repartiéndolos a la sub-base y al terreno de fundación. Tendrá un espesor máximo de 35 cm y mínimo de 10 cm. Las bases pueden ser granulares o bien estar formadas por mezclas bituminosas o mezclas con cemento u otro material ligante. Por lo

general, para la capa de base se emplea piedra triturada, grava o mezcla estabilizadas de suelo cemento, suelo bituminoso, etc. El material de base granular debe consistir de preferencia en piedra o grava clasificadas sin triturar, o solamente con trituración parcial cuando sea necesario para cumplir con los requisitos de graduación establecidos, combinada con arena y material de relleno para formar un material de base granular que llene los requisitos siguientes:

Tabla XX. Requisitos a cumplir por la capa de base

Valor soporte	CBR ≥ 70 hinchamiento $\leq 0.5\%$
Abrasión	Porcentaje de desgaste por abrasión > 50
Partículas planas o alargadas	Partículas planas o alargadas $\leq 25\%$ en peso del material retenido en el tamiz 4.75 mm. Longitud > 5 veces el espesor promedio del material retenido en el tamiz 4.75 mm.
Plasticidad	Índice de plasticidad ≤ 6 Límite líquido ≤ 25 (En el momento de ser colocado en la carretera)
Equivalente arena	≥ 30
Impurezas	Debe estar exento de materias vegetales, basura, terrones de arcilla, o sustancias que puedan causar fallas en el pavimento.
Material de relleno	Debe estar libre de impurezas y consistir en un suelo arenoso, polvo de roca, limo inorgánico u otro material con alto porcentaje de partículas que pasan el tamiz 2.00 mm.

El material debe llenar los requisitos de graduación, determinada por los métodos AASHTO T 27 y AASHTO T 11, para el tipo que se indique en la siguiente tabla (Tabla XXI):

Tabla XXI. Tipos de graduación para material de subbase o base granular

Standard mm	Tamiz N°	Porcentaje por peso que pasa un tamiz de abertura cuadrada (AASHTO T 27)					
		TIPO "A" (Subbase) 50 mm (2") máximo	TIPO "A" (Base) 50 mm (2") máximo		TIPO "B" (Subbase y Base) 38.1 mm (1 ½") máximo		TIPO "C" (Subbase y Base) 25 mm (1") máximo
		A-1	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1
50.0	2"	100	100	100			
38.1	1 ½"	-	-	-	100	100	
25.0	1"	60-90	65-90	60-85	-	-	100
19.0	¾"	-	-	-	60-90	-	-
9.5	⅜"	-	-	-	-	-	50-85
4.75	N° 4	20-60	25-60	20-50	30-60	20-50	35-65
2.00	N° 10	-	-	-	-	-	25-50
0.425	N° 40	-	-	-	-	-	12-30
0.075	N° 200	3-12	3-12	3-10	5-15	3-10	5-15

Fuente: Dirección General de Caminos. **Especificaciones Generales para Carreteras y Puentes.** Pág.304-2.

El porcentaje que pasa el tamiz 0.075 mm (N° 200), debe ser menor que la mitad del porcentaje que pasa el tamiz 0.425 mm (N° 40).

Carpeta de rodadura para un pavimento flexible

Está formada por una mezcla bituminosa, de asfalto o alquitrán, su función primordial será proteger la base impermeabilizando la superficie, para evitar así posibles infiltraciones del agua de lluvia, que podría saturar parcial o totalmente las capas

inferiores. Además, evita que se desgaste o se desintegre la base debido al tránsito de los vehículos. La capa de rodamiento contribuye, en cierto modo, a aumentar la capacidad soporte del pavimento especialmente si su espesor es apreciable (mayor de 3”). Generalmente se emplean para las capas de rodamiento los siguientes tipos de mezclas bituminosas:

- a) Tratamientos superficiales en una o varias capas con o sin carpeta de sello: los asfaltos y alquitranes que se emplean son los llamados líquidos o diluidos (Cutbaks) del tipo de curado rápido (CR y RT). El espesor de esta capas es de 2.5 cm (1”), aproximadamente. Este tipo se emplea, comúnmente, para tránsito ligero.
- b) Mezclas “en sitio” de tipo abierto o denso: se emplean asfaltos líquidos de rápido y medio curado (RC y MC). El espesor varía, aproximadamente, entre 4 y 7,5cm (1,5” a 3”).
- c) Mezclas “en planta”, de tipo denso o abierto, aplicadas “en frío” o “en caliente”. Para láminas asfálticas (sheet asphalt), concreto bituminoso, etc., pueden usarse algunos asfaltos líquidos, así como cementos asfálticos cuya penetración está comprendida entre 85 y 200. El espesor es generalmente mayor de 5 cm. (2”). Las capas formadas por las mezclas bituminosas anteriormente indicadas no deben tener espesores menores de 2,5 cm (1”) se recomienda 12.5 cm (5”) como espesor máximo.

Carpeta de desgaste o sello: está formada por una aplicación bituminosa de asfalto, tiene por objeto sellar la superficie, impermeabilizándola a fin de evitar la infiltración de las aguas de lluvia. Además protege la capa de rodamiento contra la acción abrasiva de las ruedas de los vehículos. Los materiales bituminosos que se emplean pueden ser asfaltos líquidos emulsionados, o de penetración, y alquitranes. Los tipos generalmente empleados son: RC-3, RC-4, RC-5, MC-3, MC-4, MC-5, RS-1, penetración 85-100, 100-120 y RT-6, RT-7, RT-8. Estos materiales son aplicados por medio de un

distribuidor a presión, en cantidades que varían de 0.5 a 1.5 litros por metro cuadrado, según la característica de la capa de sello.

Riego de imprimación: es la aplicación de un asfalto líquido, por medio de riego a presión, sobre la superficie de la subbase o sobre la base y hombros de una carretera, con el fin de protegerla, impermeabilizarla, unir entre sí las partículas minerales existentes en la superficie y endurecer la misma, favoreciendo la adherencia entre la superficie imprimada y la capa inmediata superior. Los tipos de asfaltos utilizados para el riego de liga son: MC-30, MC-70 y MC-250, con una temperatura de aplicación mayor a 30, 50 y 75 grados centígrados, respectivamente; además se utiliza material secante que debe estar constituido por arena natural o de trituración.

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. Este tipo de pavimento 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:

Cemento Pórtland: debe cumplir con las normas AASHTO M 85, ASTM C 150 ó COGUANOR NG 41005 para los cementos Portland ordinarios y a las normas AASHTO M 240, ASTM C 595 ó COGUANOR NG 41001 y ASTM C 1157, para cementos hidráulicos mezclados e indicarse su clase de resistencia en MPa (mega pascales MN/m²) o en lb./pulg².

Agregados: deberán ser separados de acuerdo a su granulometría y además, si es necesario, lavados para quedar exentos de substancias 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.

Agregado fino: debe 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 y se determina de la suma de los porcentajes por masa acumulados, retenidos en los siguientes tamices de malla cuadrada 3", 1½", ¾", ¾", 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 XX):

Tabla XXII. 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 ⁽¹⁾
0.150 mm	100	2-10 ⁽¹⁾
0.075 mm	200	0- 5 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Para concreto de pavimentos estos límites pueden quedar: de 5-30 para Tamiz 0.300 mm (No. 50), y de 0-10 para Tamiz 0.150 mm (No. 100).

⁽²⁾Para concreto sujeto a desgaste superficial, estos límites se reducen a 0-3.

Fuente: Dirección General de Caminos. **Especificaciones Generales para Carreteras y Puentes.** Pág.551-3.

Agregado grueso: 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 XXI).

TABLA XXIII: Porcentaje por peso que pasa por tamices de abertura cuadrada										
GRADUACIONES AASHTO M 80		63.0 mm (2 ½")	50.0 mm (2")	38.1 mm (1 ½")	25.0 mm (1")	19.0 mm (¾")	12.5 mm (½")	9.50 mm (⅜")	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)
Nº7	12.5 a 4.75 mm (½" a N°4)	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5
Nº67	19.0 a 4.75 mm (¾" a N°4)	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5
Nº57	25.0 a 4.75 mm (1" a N°4)	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5
Nº467	38.1 a 4.75 mm (1 ½" a N°4)	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-
Nº357	50.0 a 4.75 mm (2" a N°4)	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-
Nº4	38.1 a 19.0 mm (1 ½" a ¾")	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-
Nº3	50.0 a 25.0 mm 2" a 1"	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-
El material que pasa el Tamiz 0.075 mm (N°200) no debe exceder de 1.0%, salvo el caso que consista de polvo de trituración, libre de arcilla, esquistos ó pizarras, en cuyo caso, se podrá aceptar un límite máximo de 1.5%.										

Fuente: Dirección General de Caminos. **Especificaciones Generales para Carreteras y Puentes.** Pág. 551-4.

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. El concreto a utilizar en la obra, debe ser verificado por medio de mezclas de prueba en la obra o en laboratorio por lo menos 30 días antes de su empleo en la obra.

Además 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. El diseño de la mezcla dependerá de las exigencias especiales para el concreto y entre otros también la resistencia inicial. Las clases de concreto se indican en Tabla XXII y se deben emplear de acuerdo a lo indicado en los planos y disposiciones especiales.

Tabla XXIV. Clases de concreto

CLASE DE CONCRETO	RESISTENCIA A 28 DIAS ⁽¹⁾	
	MPa	lb./pulg ²
42 (6000)	42	(6000)
38.5 (5500)	38.5	(5500)
35 (5000)	35	(5000)
31.5 (4500)	31.5	(4500)
28 (4000)	28	(4000)
24.5 (3500)	24.5	(3500)
21 (3000)	21	(3000)
17.5 (2500)	17.5	(2500)
14 (2000)	14	(2000)

⁽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**. Pág. 551-1.

El método para diseñar adecuadamente la mezcla es el proporcionamiento por volumen absoluto de los componentes del concreto del ACI. El concreto debe ser como mínimo clase 24.5 (3,500) con una resistencia a compresión AASHTO T 22 (ASTM C 39), promedio mínima de 24.5 MPa = 3,500 psi y una resistencia a la flexión AASHTO T 97 (ASTM C 78), promedio mínima de 3.8 MPa = 550 psi, determinadas sobre

especímenes preparados según AASHTO T 126 (ASTM C 192) y T 23 (ASTM C 31), ensayados a los 28 días. Cuando se diseña una mezcla se deben considerar algunos factores fundamentales para que el concreto resultante tenga las condiciones necesarias para cumplir con las exigencias a las que será sometido según sea su utilización final. Entre estos se pueden mencionar: consistencia adecuada para un fácil manejo y colocación además de una adecuada resistencia a aguas o suelos agresivos. Las proporciones del concreto deben establecerse con base en la experiencia de campo o por mezclas de prueba en el laboratorio con los materiales que hayan de utilizarse de acuerdo con la selección de una mezcla que alcance a cubrir la resistencia especificada en los planos.

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.

Relación agua cemento: la 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 1.0%. En la Tabla XXIII se describen las relaciones agua cemento con un contenido máximo de agua y mínimo de concreto.

Tabla XXV. Proporcionamiento del concreto con base en la relación agua/cemento máxima y del contenido de cemento mínimo
Concreto sin aire incluido

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 (2000)	0.71	30.0	6.5
17.5 (2500)	0.62	26.5	7
21 (3000)	0.58	24.5	7.5
24.5 (3500)	0.53	22.5	8
28 (4000) ⁽³⁾	0.44	19.0	8.5
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 (2000)	0.58	24.5	7.5
17.5 (2500)	0.53	22.5	8
21 (3000)	0.49	21	8.5
24.5 (3500)	0.44	19	9
⁽³⁾ ---	---	---	---

⁽¹⁾ Resistencia a compresión a 28 días, expresada en MPa (lb./pulg²).

⁽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**. Pág. 551-14.

2.8.2. Diseño del pavimento

Como se mencionó anteriormente, 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 la acción simultánea de 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 el diseño del pavimento se tomaron en cuenta dos opciones: pavimento rígido y flexible, con el fin de poder hacer una comparación económica y decidir cuál es el más conveniente. Se utilizaron 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.

2.8.2.1. 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.

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

El diseño se basa en las características físicas del terreno y se utilizan los espesores recomendados por el departamento Americano de Investigaciones Científicas sobre Carreteras (Highway Research Board). Las cargas utilizadas por rueda en calles son de 4,500 kg, (10,000 lb), de acuerdo a ello se diseñan los espesores del pavimento. La clasificación sugerida por Highway Research Board es una modificación a la presentada por la Public Road Administration. Los suelos son divididos en dos grandes grupos: Granulares y finos. Se dividen 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, 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. Los suelos 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 diatómico. 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 de 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 sub-base, base y capa de rodamiento mostrados en la Tabla XXIV.

Tabla XXVI. 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: Alvaro Danilo Yllescas Ponce. **Diseño del tramo carretero comprendido desde el entronque del kilómetro 171+400 carretera Interamericana (CA-1), hacia el caserío Nuevo Xetinamit, del municipio de Nahualá, departamento de Sololá.** Pág. 60

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 mas 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 ($< 1\text{m}$) 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 napa freática se encuentre cerca de la superficie. Los suelos tipo A-4 y A-4-7, A-5, A-5-7, A-6 y A-7 pierden su capacidad soporte y son inestables cuando se hallan saturados de agua. De modo que cuando haya peligro de saturación deberán emplearse los máximos espesores indicados.

Para este proyecto se tiene un material de fundación A-4-7, según los análisis de suelos realizados, que no está expuesto a heladas ni a saturarse, ya que se encuentra en un área montañosa que es posible drenar mientras que la capa freática no se encuentra cerca de la sub-rasante, por lo cual se utiliza una sub-base mínima de 10 centímetros de espesor, la base granular será de 20 centímetros y la capa de rodadura de 5 centímetros, teniendo un pavimento con espesor total de 35 centímetros.

Diseño del pavimento flexible utilizando el método de Mills

El método de Mills, fue desarrollado principalmente para equipar a los ingenieros, con un procedimiento definido y simple, en el que se aplican los resultados de los ensayos realizados, a las muestras de suelos de la subrasante y a muestras de otros materiales, que se pueden utilizar para bases y sub-bases. Este método se desarrolla en los siguientes pasos:

- a) **Determinar la clasificación del tránsito:** el espesor del pavimento flexible varía con el tránsito. Este tránsito puede ser estimado con base en los conteos actuales y la actividad del área a la que servirá el camino. No se debe hacer una

proyección a largo plazo para el tránsito futuro, ya que los pavimentos flexibles pueden ser reforzados rápida y económicamente agregándose capas de concreto asfáltico. Al diseñar y construir la capa de base, el pavimento puede ser reforzado a un precio razonable para llevar cargas mucho más pesadas. Para diseñar la estructura del pavimento el peso máximo de los vehículos es de mayor importancia que el número, ya que un sólo vehículo muy pesado puede causar más daño a un pavimento que varios vehículos ligeros; 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 XXV:

Tabla XXVII. Tránsito total durante 24 horas.

CLASIFICACIÓN TRÁNSITO	No. TOTAL DE VEHÍCULOS	CAMIONES Y AUTOBUSES	CAMIÓN PESADO	CARGA DE DISEÑO (Lb.)
Pesado	3000 min.	700 min.	150 min.	14000
Medio	1000 – 3000	250 - 700	50 - 150	12000
Liviano	1000 máx.	250 máx.	50 máx.	10000

18000 a 24000 lb. Por eje

Fuente: Fredy Benjamín Gómez Lepe. **Planificación y diseño de pavimento para la vía principal del municipio de San Juan Ostuncalco, departamento de Quetzaltenango.** Pág. 33

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 75 vehículos, con un tránsito pesado menor al 10%.

b) Determinar el tipo de material a utilizar en la subbase, 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 XXVI se muestran las clases de carpeta de

rodadura y sus espesores mínimos recomendados, según la clasificación del tránsito.

Tabla XXVIII. Clasificación del tránsito

Clasificación del tránsito	Clase de capa de superficie	Espesor mínimo (pulg.)	Observaciones
PESADO	Concreto asfáltico (Planta caliente)	3	Dos capas de adherencia, 2 pulg.
	Macadam de penetración	3	Muy duro pero tan lleno como en el concreto asfáltico
MEDIO	Concreto asfáltico (Planta caliente)	2	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	Primera capa del tratamiento sup. Agregado de 1", segunda capa de mezcla caliente en planta
LIVIANO	Concreto asfáltico (Planta caliente)	1	Una capa
	Doble tratamiento superficial	1	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: Fredy Benjamín Gómez Lepe. **Planificación y diseño de pavimento para la vía principal del municipio de San Juan Ostuncalco, departamento de Quetzaltenango.** Pág. 34

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 ésto 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 XXVII se muestran las especificaciones y espesores mínimos para bases estabilizadas o de mezcla de agregados, según el tipo de tránsito.

Tabla XXIX. Bases estabilizadas o mezcla de agregados

Clasificación del tránsito	Especificación para materiales AASHTO M-147	Espesor mínimo (pulg.)	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

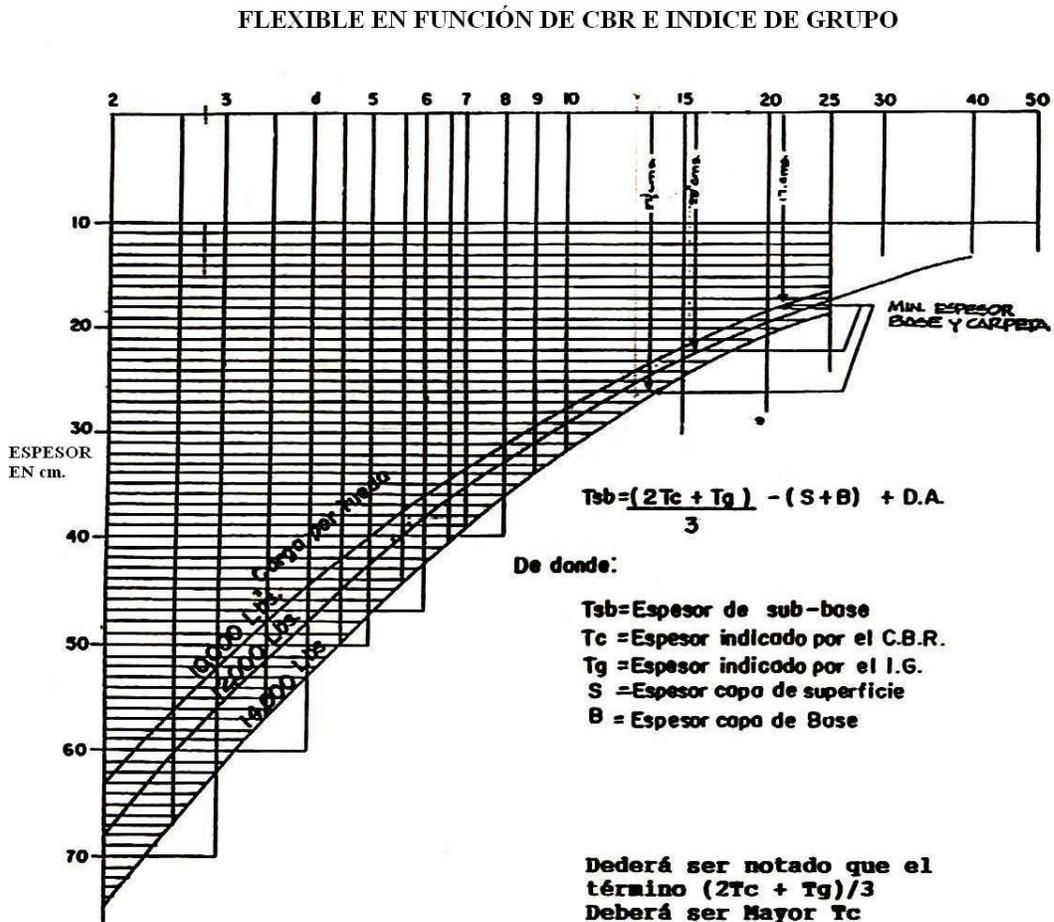
Fuente: Fredy Benjamín Gómez Lepe. **Planificación y diseño de pavimento para la vía principal del municipio de San Juan Ostuncalco, departamento de Quetzaltenango.** Pág. 35

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 espesor indicado por el índice de grupo (IG). El CBR sobre el cual se determina el espesor está basado en la densidad correspondiente a la sub-rasante. 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 13%, según los ensayos de suelos realizados. Según la figura 22 se tiene un espesor igual a 24 cm.

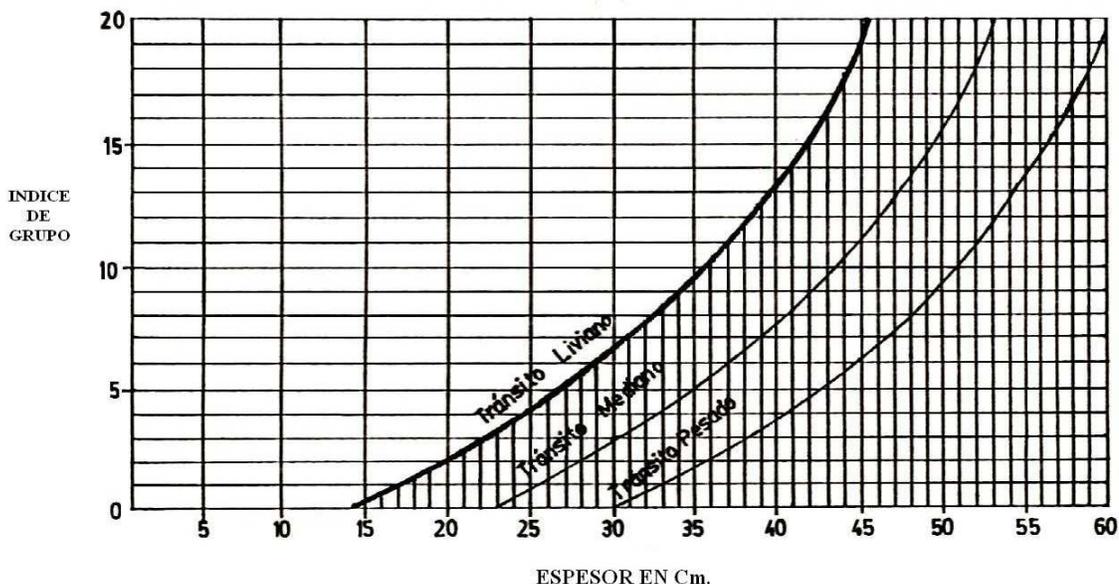
Figura 22. Espesor indicado por el CBR



Fuente: Fredy Benjamín Gómez Lepe. Planificación y diseño de pavimento para la vía principal del municipio de San Juan Ostuncalco, departamento de Quetzaltenango. Pág. 38

d) **Determinar el espesor indicado el índice de grupo (T_g):** para un índice de grupo $IG=8$ se tiene un espesor indicado por el índice de grupo (T_g) igual a 32.5cm, según la figura 23.

Figura 23. Espesor indicado por el índice de grupo (IG)



Fuente: Fredy Benjamín Gómez Lepe. **Planificación y diseño de pavimento para la vía principal del municipio de San Juan Ostuncalco, departamento de Quetzaltenango.** Pág. 39

- e) **Determinar el espesor extra de la sub-base 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 cuando la subrasante está compuesta de material de alta estabilidad y buenas propiedades de drenaje. En la carretera existe un buen drenaje drenaje del agua, por tratarse de una región montañosa por esto no se considerará un espesor extra en la sub-base.
- 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, Tablas XXVII y XXVIII respectivamente, y calcular el espesor de la sub-base con la siguiente fórmula:

$$Tsb = \frac{2Tc + Tg}{3} - (S + B) + DA$$

En donde:

Tsb = espesor de subbase

Tc = espesor indicado por CBR = 24 cm

Tg = espesor indicado por IG = 32.5cm

S = espesor de capa de superficie

B = espesor de capa de base

DA = espesor extra de subbase por mal drenaje = 0

Si $\frac{2Tc + Tg}{3} \leq Tc$, entonces se sustituye por Tc.

$$\frac{2Tc + Tg}{3} = \frac{2 * 24 + 32.5}{3} = 26.83$$

$$Tsb = 26.83 - S - B - 0$$

$$Tsb = 26.83 - S - B$$

Suponiendo los valores mínimos de S = 2.54cm y B = 15.24cm, se tiene:

$$Tsb = 26.83 - 2.54 - 15.24$$

$$Tsb = 9.05cm$$

Como el espesor mínimo de una subbase es de 10 cm, se tomará este valor, ya que el calculado es menor Tsb=10cm. Entonces se tiene el un diseño de pavimento de 10cm de espesor de subbase, 15.25cm (6 pulg.) de espesor de base y un espesor de carpeta de rodadura de 2.54cm (1 pulg.).

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 = 10cm

Espesor de base = 20cm

Espesor de carpeta de rodadura = 5cm

2.8.2.2. Diseño del pavimento rígido

Diseño del pavimento rígido utilizando el método simplificado de la PCA

La Asociación del Cemento Pórtland (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: método de capacidad, que es utilizado cuando se cuenta con la información detallada de datos de carga por eje de los vehículos que transitan por la carretera, que son obtenidos de estaciones representativas de peso de camiones y método simplificado, que se utiliza cuando no es posible obtener datos de carga por eje.

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 1.0, 1.1, 1.2 y 1.3, respectivamente para las cuatro categorías de eje de carga: 1, 2, 3 y 4. Ver Tabla XXX.

Tabla XXX. 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

Los descriptores alto, medio y bajo se refieren al peso relativo de las cargas por eje para el tipo de calle o carretera.

ADTT: Camiones dos ejes, camiones cuatro llantas excluidos

Fuente: Fredy Benjamín Gómez Lepe. **Planificación y diseño de pavimento para la vía principal del municipio de San Juan Ostuncalco, departamento de Quetzaltenango.** Pág. 28

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 determinar la categoría de la carretera es necesario obtener información del tránsito promedio ya que en la tabla No. XXX 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 3m y la junta longitudinal se encuentra a un espacio de 2.50m, según la sección típica de la carretera tipo “E” de la Dirección General de caminos.

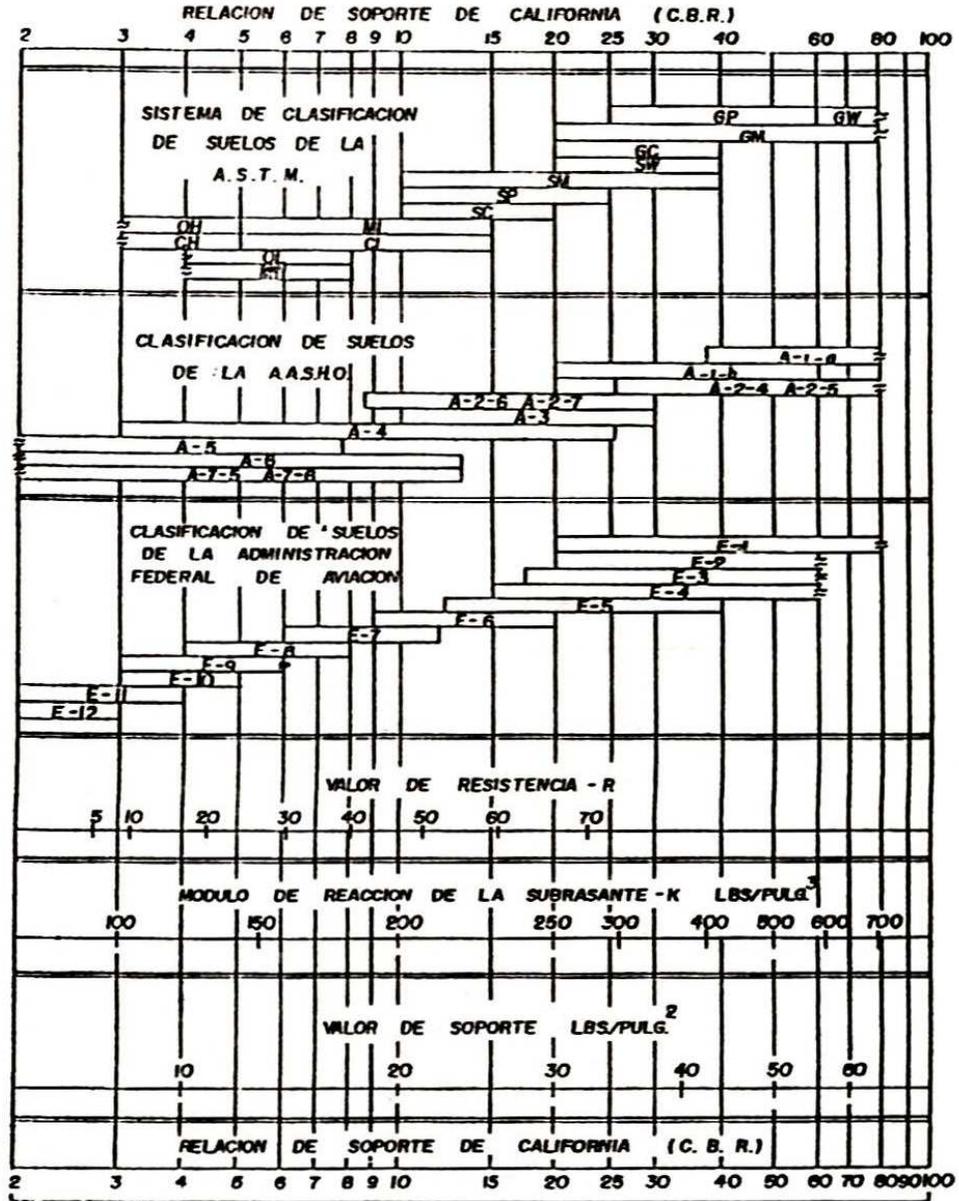
c) Determinar si la carretera lleva hombros o bordillo: la carretera utilizará hombros según la sección típica “E” de la Dirección General de Caminos.

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 valor aproximado de K (módulo de reacción del suelo), cuando se usan bases granulares y bases de suelo cemento es otro factor importante en el diseño de espesores del pavimento, se determina por medio del tipo de suelo y del índice de CBR, ver figura 24.

Figura 24. Módulo de reacción de la sub rasante



INTERRELACION APROXIMADA DE LAS CLASIFICACIONES DE SUELOS Y LOS VALORES DE SOPORTE

Fuente: Fredy Benjamín Gómez Lepe. Planificación y diseño de pavimento para la vía principal del municipio de San Juan Ostuncalco, departamento de Quetzaltenango. Pág. 27

Utilizando un CBR = 13, según los resultados de análisis de suelos, para una compactación aproximada al 95%, se obtiene un módulo de reacción de la sub-rasante $k = 200 \frac{lb}{pulg^3}$

- g) **Determinar si se utilizará base:** también son necesarios los esfuerzos combinados de la sub-rasante y base ya que mejoran la estructura de un pavimento. En la Tabla XXIX se muestra el aumento en el módulo de reacción de la sub-rasante al incluir una base granular.

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

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

Fuente: Fredy Benjamín Gómez Lepe. **Planificación y diseño de pavimento para la vía principal del municipio de San Juan Ostuncalco, departamento de Quetzaltenango.** Pág. 29

Se utilizará una base granular no tratada de 15cm. Esto aumenta el módulo de reacción k a $230 \frac{lb}{pulg^3}$.

- h) **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 XXX.

Tabla XXXII. Tipos de suelos de sub-rasante 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
Sub-base tratada con cemento	Muy alto	250-400

Fuente: Fredy Benjamín Gómez Lepe. **Planificación y diseño de pavimento para la vía principal del municipio de San Juan Ostuncalco, departamento de Quetzaltenango.** Pág. 29

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 XXXI.

El espesor de la losa de concreto será de $5.5'' = 13.97\text{cm}$. Por seguridad se especifica un espesor de losa de 15 cm.

Tabla XXXIII. 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 (pulg)	Soporte subrasante subbase			Espesor de losa (pulg)	Soporte subrasante subbase			
	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	4.5	2	8	25
	5.5	3	15	45	5.0	30	130	330
	6.0	40	160	430	5.5	320		
	6.5	330						
Módulo de Rotura de 600 PSI	5.0		0.1	0.4	4.0			0.1
	5.5	0.5	3	9	4.5	0.2	1	5.0
	6.0	8	36	98	5.0	6	27	75
	6.5	76	300	760	5.5	73	290	730
	7.0	520			6.0	610		
Módulo de Rotura de 550 PSI	5.5	0.1	0.3	1	4.5		0.2	0.6
	6.0	1	6.0	18	5.0	0.8	4.0	13.0
	6.5	13	60	160	5.5	13	57	150.0
	7.0	110	400		6.0	130	480	
	7.5	620						

Fuente: Fredy Benjamín Gómez Lepe. **Planificación y diseño de pavimento para la vía principal del municipio de San Juan Ostuncalco, departamento de Quetzaltenango.** Pág. 30

Entonces el diseño final del pavimento rígido es:

Espesor de base = 15cm

Espesor de carpeta de rodadura = 15cm

Diseño TCP. Pavimentos con espesor optimizado de hormigón

La tecnología TCP (Thin Concrete Pavements) es un método de diseño y construcción de losas delgadas de hormigón perfeccionadas para uso en pavimentación. Los cambios de temperatura y humedad en la construcción de la losa producen un alabeo que se mantendrá durante toda su vida útil. Con esta forma de diseño se optimiza el tamaño de las losas dada la geometría de los camiones que van a transitar en la carretera, para que solo una rueda o un tren de ruedas cargue una losa a la vez y así, disminuir en

forma importante las tensiones en el concreto que se producen cuando todas las ruedas del camión pasan sobre una misma losa, produciendo un efecto de planchado de la misma, que aumenta los esfuerzos en la cara superior de la losa debido a su alabeo permanente. Si solo una rueda pasa a la vez este efecto se anula y los esfuerzos en cada losa disminuyen. Se diseña para el vehículo más dañino, salvo que se conozca el tráfico y se diseñe para los tipos de vehículo que pasaran mayoritariamente por dicha vía. Además, siendo más pequeña la losa el alabeo producido en la construcción es menor.

Con este método de diseño se logra disminuir las tensiones en la parte superior de la losa que se traduce en una mayor vida útil del pavimento, o visto desde otro punto de vista, permite reducir el espesor de este para lograr las mismas tensiones y vida útil obtenidas en el diseño tradicional.

En Guatemala, desde el año 2005 se han construido 100 km de 4 carriles de autopistas que se diseñaron con este sistema. El diseño es para un alto tráfico, con un espesor de 17 cm de concreto tradicional. Todas las construcciones se han realizado para autopistas sección típica “A”.

Especificaciones técnicas para pavimentos TCP

Los materiales a utilizar y la construcción en las losas TCP deben cumplir con las siguientes especificaciones:

Espesor y dimensiones de losas: comprenden losas de tamaños de 1,35m x 1,75m hasta 2,5m x 1,75m.

Base granular: la base deberá tener un espesor de 150 mm, para espesores menores de 12 cm debe contar con un valor de CBR sobre 80%, y un CBR de 30% a

80% para espesores mayores. Deberá ser una base granular con un porcentaje de finos inferior a 6%. No se colocará ningún material impermeable entre la base y las losas de concreto. En caso que el material de sub rasante sea fino, se colocará un geotextil, que no permita el paso de finos, entre la sub rasante y la base. Si la sub rasante es arcillosa con posible alteración de su resistencia por el agua, el geotextil será impermeable. Tanto la base como el geotextil se colocarán hasta el borde de la emplanada.

Concreto: para la construcción del pavimento, el concreto tendrá una resistencia de flexo tracción con carga en los tercios de 4,5 MPa a 28 días con un 80% nivel de confianza y 40 o 20 mm de tamaño máximo del árido (40 mm para espesores iguales o mayores a 12 cm). El asentamiento de cono debe ser de 5 cm -7 cm en el caso de usar tren pavimentador y de 10 cm - 14 cm en el caso de cerchas y vibradores manuales.

Confinamiento lateral (Pines): su finalidad es evitar el desplazamiento lateral de las losas. Se colocarán 2 hierros de 16 mm de diámetro por losa de pavimento, colocados verticales al costado externo de las losas; su longitud será de al menos 40 cm, pero de largo tal que asegure un buen anclaje en la base (la longitud dependerá del tipo de base). La ubicación será a 50 cm de la junta pegados al concreto de la losa.

Terminación Superficial: la terminación deberá asegurar la menor rugosidad posible, y preferentemente lograr una rugosidad inicial (IRI) de 2.0 m/km de media y 2,8 m/km máxima. Se sugiere que el sentido del rayado sea longitudinal.

Curado: una vez realizado el rayado de la superficie del hormigón, este se deberá curar. La especificación del Diseño TCP contempla un curado en dos etapas: primero se debe colocar Retardador de fraguado: este producto se debe colocar una vez realizada la terminación superficial del concreto, con el hormigón fresco. Este producto evitara las primeras fisuras por retracción plástica y disminuirá el alabeo de construcción

por secado de la superficie. Después se colocará una membrana de curado Tradicional, una vez realizados los cortes al pavimento, es decir una vez endurecido éste, se aplicara la membrana de curado tradicional protegiendo el hormigón de la evaporación de la superficie con efectos similares descritos en el punto anterior

En caso de que la temperatura en la noche sufra descensos importantes (mayor a 10°C) se recomienda complementar este curado, mediante la colocación de una aislación térmica superficial como geotextil grueso o polietileno con burbujas (las burbujas tocando la superficie del pavimento), materiales que deberán cubrir el concreto por lo menos la primera noche, colocado 1 hora después de realizada la última etapa de curado. Esta aislación permite disminuir el alabeo inicial de las losas, además de acelerar la apertura al tráfico.

Corte de Juntas: Se deberá cortar las juntas de contracción longitudinal y transversal en el pavimento a partir del momento en que se pueda colocar una máquina de corte sobre la superficie de rodado sin dejar marcadas las huellas (aproximadamente 6 horas). Deberá realizarse lo antes posible para evitar fisuras por retraso de corte y disminuir tensiones de alabeo en las losas. Se deberá contar con la cantidad de recursos, equipos y sierras de corte necesarios para realizar esta tarea. En el caso, de que no se pueda disponer de una cantidad suficiente de equipos, se deberá comenzar cortando la junta o juntas longitudinales más cercanas a los bordes del pavimento construido (cuando se pavimenta a dos carriles a la vez) y transversales por lo menos una por medio, y luego el corte longitudinal restante y realizándose el resto de los cortes intermedios, tan pronto como sea posible. La secuencia de los cortes es importante para el comportamiento futuro. Se deberá disponer de por lo menos 6 equipos de corte para efectuar la faena de corte del concreto. El corte se deberá realizar con sierra delgada de 1,9 mm de ancho para evitar el ingreso de partículas dañinas al interior de la junta.

Juntas de construcción: las juntas de construcción, no llevarán barras de traspaso de carga. Se deberá tratar la junta puntereando la superficie lateral del hormigón endurecido, aumentando la rugosidad y la transferencia de carga. Luego se colocará el hormigón procurando vibrar el bordo contiguo a la junta realizada. Se debe cortar la parte superior junta con la cierra descrita en el punto anterior.

Sello de juntas: el diseño de pavimentos TCP no contempla sello de juntas. El corte de 2 mm evita el ingreso de partículas incompresibles y la base con menor de 6% de finos generalmente es drenante, por lo que saca el agua bajo las losas. Esta base debe continuarse hasta el borde del camino y conectarla a los drenajes y en calles urbanas conectarla a las alcantarillas.

Para que el pavimento diseñado tenga un tiempo de vida mayor se propone utilizar la tecnología TCP, dimensionando losas pequeñas para que los esfuerzos que actúen sobre ellas sean menores. Se propone una losa de 2.50m por 1.75m, para que los efectos de alabeo sean menos dañinos. Se considera que los vehículos más dañinos serán los camiones tipo C2 que transitan por la carretera y que por lo general llevan una mayor carga que los demás vehículos, su largo total es de 12m, por lo que se determina que sí pasará solo un tren de ruedas a la vez sobre la losa. Se deben tomar en cuenta todas las especificaciones técnicas arriba mencionadas para su construcción. Como en este caso se trata de un suelo fino, se utilizará una maya geotextil entre la sub-rasante y la base del pavimento con el fin de evitar el paso del material fino del suelo de la sub-rasante a la base; el geotextil será impermeable pues la sub-rasante es arcillosa con posible alteración de su resistencia por el agua.

2.8 Cálculo de localización

2.8.1 Cálculo de PI de localización: se realizan mediante el corrimiento de línea. Ver sección 2.5.1.

2.8.2 Cálculo de elementos de curva y estacionamientos: los estacionamientos son a cada 20m, también se calcularon para los principios de curva y principios de tangente como se muestra en la sección 2.5.2, los cálculos de elementos de curva horizontal también se desarrollaron en esa sección.

2.9 Drenajes

Los drenajes son colocados en la carretera para evitar que el agua se filtre en el pavimento, ya que al filtrarse dañará el material existente en la subrasante provocándole daños. Las acumulaciones de agua son perjudiciales, la forma de que no afecten a la carretera es evacuándola o conduciéndola por medio de drenajes. La vida útil de la carretera depende mucho de los drenajes, estos evitan derrumbes o deslizamientos, para que funcionen eficientemente deben de tener mantenimiento constante.

En carreteras existen los drenajes transversales (tuberías, puentes, badenes, etc.) y longitudinales (cunetas y contra cunetas). Para determinar la necesidad de obras de arte de la carretera como: puentes, alcantarillas, bóvedas, cunetas y contra cunetas, lo más recomendable es realizar un estudio hidrológico, para lo cual se deberá realizar una inspección de campo ubicando con exactitud los puntos donde será necesario colocar los drenajes. En la inspección de campo se deberá anotar todos los pasos de agua existentes con sus coordenadas y anotar lo siguiente: creciente máxima (visual), condiciones del lecho (ancho, angosto, rocoso, arenoso, piedra suelta, tamaño), vegetación de la cuenca

(clase de cultivos, monte bajo o alto, bosque), esviaje con respecto de la carretera, parámetros cuantificables como longitud, perímetro, área y un dibujo de forma del lecho, socavación, si se lleva rocas grandes y árboles y los puntos en donde el paso del agua provoca erosión.

2.9.1 Drenaje longitudinal

Diseño de 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 del escurrimiento y acción destructiva del agua por medio de disipadores de energía. Las cunetas pueden tener diferentes formas y dimensiones, para este proyecto se utilizarán cunetas con las dimensiones establecidas por la sección típica Tipo “E”. Ver detalle de sección en planos de detalles.

Contra cunetas: son canales destinados a evitar que el agua llegue a los taludes y cause 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 contra cunetas, 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 que no corra longitudinalmente sobre la superficie. 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 sub-base y sub-rasante, provocando saturación del terreno y

ablandándolo; lo cual generará daños al pavimento. El bombeo utilizado en caminos pavimentados varía desde 1/2 % 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 periodo 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 / seg.

A = área drenada de la cuenca en hectáreas.

I = intensidad de lluvia en mm/hora.

C = coeficiente de escorrentía (consultar Tabla).

La intensidad de lluvia la proporciona el INSIVUMEH, según la región en estudio. La intensidad de lluvia está dada por la fórmula siguiente: $I = \frac{a}{t+b}$

En donde:

I = intensidad de lluvia en mm/hora.

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

$$t = \text{tiempo de concentración en minutos} = t = \left[\frac{0.886 * L^3}{H} \right]^{0.385} * 60.$$

En donde:

L = longitud del cauce principal en km.

H = diferencia de elevación entre los puntos extremos del cauce principal en metros.

Fórmulas auxiliares: para calcular el diámetro de los drenajes transversales se utiliza la fórmula de Manning:

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2}; V = \text{velocidad}; R = \text{radio hidráulico}; S = \text{pendiente}$$

$$Q = V * A \Rightarrow Q = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2} * A; Q = \text{caudal}; A = \text{área de tubería circular (m}^2\text{)}.$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}; \text{ para tubería circular}; D = \text{Diámetro}; n = \text{coeficiente de rugosidad}.$$

$$R = \frac{D}{4}; \text{ para tubería circular}.$$

Coeficiente de rugosidad para tuberías de concreto: $n = 0.013$ $\Phi > 24''$, $n = 0.015$ $\Phi < 24''$. Coeficiente de rugosidad para tuberías de P.V.C.: $n = 0.009$

Ejemplo de cálculo del diámetro de la tubería a utilizar (kilómetro 775)

Datos:

A = área a drenar 91.617 hectáreas. Fue calculada por medio del mapa cartográfico, utilizando el programa Arc View, delimitando el área que contribuye con el caudal en el kilómetro 775. Ver figura 25.

L = longitud del cauce = 1.90 km. También fue medida por medio del mapa cartográfico, utilizando el programa Arc View.

H = diferencia de elevaciones = 1800m-1220m = 580m. Las elevaciones se obtienen con la ayuda de las curvas de nivel dibujadas en el mapa cartográfico a cada 20m.

P = pendiente = 0.3 (pendiente promedio).

C = coeficiente de escorrentía = 0.2. Que es el coeficiente de escorrentía indicado para regiones con cultivos agrícolas y árboles.

Figura 25. Área a drenar por la tubería del kilómetro 775



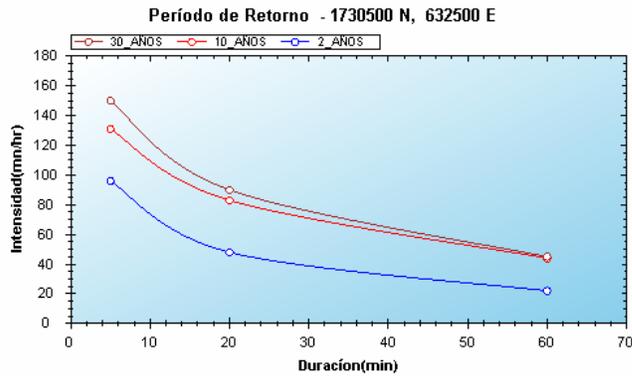
Tiempo de concentración en minutos (t).

$$t = \left[\frac{0.886 * 1.90^3}{580} \right]^{0.385} * 60$$

$$t = 10.37 \text{ min}$$

Para un tiempo de concentración de la cuenca de 10.37 minutos, se tiene una intensidad de lluvia (I) de: 105 mm/hr para un período de retorno de 10 años y de 115 mm/hr para un período de retorno de 30 años, según la figura 26 que fue obtenida de la página del INSIVUMEH.

Figura 26. Gráfica de intensidad de lluvia-duración, para San Antonio Huista.



El caudal que pasa por el punto en estudio es:

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

$$Q = \frac{0.2 * 115 \text{ mm/hr} * 91.617 \text{ Ha}}{360}$$

$$Q = 5.853 \text{ m}^3/\text{s}$$

El diámetro de la tubería necesario para desfogar el caudal es el siguiente:

$$Q = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2} * A = \frac{1}{n} * \frac{D^{2/3}}{4^{2/3}} * S^{1/2} * \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D = \left[\frac{Q * 4^{5/3} * n}{S^{1/2} * \pi} \right]^{3/8} = \left[\frac{5.853 * 4^{5/3} * 0.013}{0.3^{1/2} * \pi} \right]^{3/8}$$

$$D = 0.7386m$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0.7386m)^2}{4}$$

$$A = 0.43m^2$$

El área necesaria para drenar la cuenca es de $0.43m^2$, una tubería de 30" tiene un área de desfogue de $0.45m^2$, pero para asegurar que las tuberías no trabajen a sección llena se utilizarán tuberías de 36".

2.10 Elaboración de planos del proyecto

Se elaboraron los siguientes planos:

- **Planta de conjunto:** contiene la planta general del proyecto
- **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.
- **Secciones transversales:** se dibujaron las áreas de las secciones transversales cada 20m.
- **Tablas y detalles:** se dibujaron los detalles de drenaje y de los pavimentos rígido y flexible, las cunetas y el corte de taludes y se incluyeron las tablas de resumen de volúmenes de corte y relleno y de localización de drenajes y cunetas.

2.11 Presupuesto

Para el cálculo del presupuesto se consideraron los siguientes aspectos: materiales y mano de obra, maquinaria y combustible, transporte de materiales y

maquinaria, prestaciones y los 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 Cuantificación de materiales y mano de obra

La cuantificación de los materiales se resume en las Tablas No. XXXII y XXXIII. Estos fueron calculados con ayuda de los planos y especificaciones.

2.11.2 Integración de presupuesto

Primero se integraron los costos por renglón para determinar el costo unitario de cada renglón; se realiza con base a rendimientos, precios de materiales, mano de obra, equipo, herramienta y maquinaria, aplicando también factores de costos indirectos para los cuales se utilizaron los siguiente factores: factor de mano de obra indirecta, que es aplicado al valor de la mano de obra directa = 40%; factor de prestaciones, que es aplicado a la mano de obra total = 65%; factor de herramientas, que es aplicado al total de mano de obra = 5% y el factor de indirectos, que se aplica al subtotal = 30%. En la tabla No. XXXIV se presenta un ejemplo de integración de costos por renglón:

Tabla XXXIV. Ejemplos de integración de costos por renglón

ACTIVIDAD: REPLANTEO TOPOGRÁFICO

Cantidad a ejecutar: **8.39 km**

MAQUINARIA Y EQUIPO

Cantidad	Descripción	Costo/día	No. Días	Sub-Total	Total
1	Teodolito	Q200.00	15	Q3,000.00	
1	Nivel	Q100.00	15	Q1,500.00	
				Costo Equipo	Q4,500.00

MANO DE OBRA

Cantidad	Descripción	Costo/día	No. Días	Sub-Total	Total
1	Topógrafo	175	15	Q2,625.00	
1	Nivelador	125	15	Q1,875.00	
4	Cadeneros	100	15	Q6,000.00	
				Costo Mano de Obra	Q10,500.00
				Prestaciones (65%)	Q6,825.00
				Total Mano de obra	Q17,325.00

MATERIALES

Cantidad	Descripción	Costo/unidad	Unidad	Sub-Total	Total
4	Hilo plástico	Q25.00	rollos	Q100.00	
2	Cinta métrica	Q100.00	cinta	Q200.00	
20	Clavos	Q5.75	libras	Q115.00	
1	Metro de mano	Q35.00	metro	Q35.00	
				Costo Materiales	Q450.00

				Costos Directos	Q22,275.00
				Costos Indirectos (30%)	Q6,682.50

				TOTAL	Q28,957.50
				PRECIO UNITARIO	Q3,453.08

ACTIVIDAD: LIMPIA CHAPEO Y DESTRONQUECantidad a ejecutar: **7.66 Ha**Duración: **12.77 días**Rendimiento **0.60 Ha/día****MAQUINARIA Y EQUIPO**

Cantidad	Descripción	Costo/hora	Horas trabajadas	Sub-Total	Total
1	Tractor D6	Q350.00	102	Q35,746.67	
2	Sierra para corte	Q30.00	31	Q1,838.40	
2	Azadones	Q90.00		Q180.00	
2	Palas	Q90.00		Q180.00	
2	Carretas	Q371.75	0	Q743.50	
Costo Equipo					Q38,688.57

COMBUSTIBLE

Cantidad	Descripción	gal/hora	precio diesel	Horas trab.	Total
1	Tractor D6	5	Q35.00	102.13	Q17,873.33
Costo Combustible					Q17,873.33

MANO DE OBRA

Cantidad	Descripción	Costo/hora	Horas	Sub-Total	Total
3	Peones	10	31	Q919.20	
Costo Mano de Obra					Q919.20
Prestaciones (65%)					Q597.48
Total Mano de obra					Q1,516.68

MATERIALES

Cantidad	Descripción	Costo/unidad	unidad	Sub-Total	Total
1	Madera y pintura	Q600.00	unidad	Q600.00	
Costo Materiales					Q600.00

Costos Directos					Q58,678.58
Costos Indirectos (30%)					Q17,603.57

TOTAL					Q76,282.15
PRECIO UNITARIO					Q9,958.51

ACTIVIDAD: BASE ESPESOR COMPACTADO (15 cm) PAVIMENTO RÍGIDO

Cantidad a ejecutar: **6792.66 metros cúbicos**

EQUIPO

Cantidad	Descripción	Costo/hora	Horas trabajadas	Sub-Total	Total
1	Motoniveladora	Q400.00	359	Q143,760.00	
1	Rodo	Q200.00	180	Q35,940.00	
1	Pipa de agua	Q100.00	270	Q26,955.00	
1	Equipo de Topografía	Q40.00	359	Q14,376.00	
2	Camión de Volteo	Q150.00	359	Q107,820.00	
1	Equipo para Lab. Suelos	Q100.00	180	Q17,970.00	
Costo Equipo					Q346,821.00

COMBUSTIBLE

Cantidad	Descripción	gal/hora	precio diesel	horas trab.	Sub-Total
1	Motoniveladora	5	Q35.00	359	Q62,895.00
1	Rodo	4	Q35.00	180	Q25,158.00
1	Pipa de agua	3	Q35.00	270	Q28,302.75
2	Camión de Volteo	3	Q35.00	359	Q75,474.00
Costo Combustible					Q191,829.75

MATERIALES

Cantidad	Descripción	Precio	Unidad	Sub-Total	Total
12024	Base	Q72.00	m3	Q865,728.00	
1	Madera y pintura para trompos	Q900.00	global	Q900.00	
Costo Materiales					Q866,628.00

MANO DE OBRA

Cantidad	Descripción	Costo/hora	Horas	Sub-Total	Total
1	Laboratorista	30	269	Q8,070.00	
1	Topógrafo	21.875	539	Q11,790.63	
4	Cadenero	12.5	539	Q26,950.00	
1	Nivelador	15.625	359	Q5,615.63	
Costo Mano de Obra					Q52,426.25
Prestaciones (65%)					Q34,077.06
Total mano de obra					Q86,503.31

Costos Directos	Q1,491,782.06
Costos Indirectos (30%)	Q447,534.62

TOTAL	Q1,939,316.68
PRECIO UNITARIO	Q285.50

**ACTIVIDAD: SUB BASE ESPESOR COMPACTADO (10 cm)
PAVIMENTO FLEXIBLE**

Cantidad a ejecutar: **6926.84 metros cúbicos**
Rendimiento **201.60 m3/día**

EQUIPO

Cantidad	Descripción	Costo/hora	Horas trabajadas	Sub-Total	Total
1	Motoniveladora	Q400.00	275	Q109,949.78	
1	Rodo	Q200.00	137	Q27,487.44	
1	Pipa de agua	Q100.00	206	Q20,615.58	
1	Equipo de Topografía	Q40.00	275	Q10,994.98	
2	Camión de Volteo	Q150.00	275	Q82,462.33	
1	Equipo para Lab. Suelos	Q100.00	137	Q13,743.72	
				Costo Equipo	Q265,253.84

COMBUSTIBLE

Cantidad	Descripción	gal/hora	precio diesel	horas trab.	Sub-Total
1	Motoniveladora	5	Q35.00	275	Q48,103.03
1	Rodo	4	Q35.00	137	Q19,241.21
1	Pipa de agua	3	Q35.00	206	Q21,646.36
2	Camión de Volteo	3	Q35.00	275	Q57,723.63
				Costo Combustible	Q146,714.23

MATERIALES

Cantidad	Descripción	Precio	Unidad	Sub-Total	Total
12261	Sub-base	Q30.00	m3	Q367,830.00	
	Madera y pintura	Q900	global	Q900.00	
				Costo Materiales	Q368,730.00

MANO DE OBRA

Cantidad	Descripción	Costo/hora	Horas	Sub-Total	Total
1	Laboratorista	30	137	Q4,123.12	
1	Topógrafo	21.875	275	Q6,012.88	
4	Cadenero	12.5	275	Q13,743.72	
1	Nivelador	15.625	275	Q4,294.91	
				Costo Mano de Obra	Q28,174.63
				Prestaciones (65%)	Q18,313.51
				Total mano de obra	Q46,488.14

				Costos Directos	Q827,186.21
				Costos Indirectos (30%)	Q248,155.86

				TOTAL	Q1,075,342.08
				PRECIO UNITARIO	Q155.24

ACTIVIDAD: BASE ESPESOR COMPACTADO (20 cm) PAVIMENTO FLEXIBLE

Cantidad a ejecutar: **12729.95 metros cúbicos**

Rendimiento **151.20 m3/día**

EQUIPO

Cantidad	Descripción	Costo/hora	Horas trabajadas	Sub-Total	Total
1	Motoniveladora	Q400.00	674	Q269,416.89	
1	Rodo	Q200.00	337	Q67,354.22	
1	Pipa de agua	Q100.00	505	Q50,515.67	
1	Equipo de Topografía	Q40.00	674	Q26,941.69	
2	Camión de Volteo	Q150.00	674	Q202,062.67	
1	Equipo para Lab. Suelos	Q100.00	337	Q33,677.11	
				Costo Equipo	Q649,968.24

COMBUSTIBLE

Cantidad	Descripción	gal/hora	precio diesel	Horas trab.	Sub-Total
1	Motoniveladora	5	Q35.00	674	Q117,869.89
1	Rodo	4	Q35.00	337	Q47,147.96
1	Pipa de agua	3	Q35.00	505	Q53,041.45
2	Camión de Volteo	3	Q35.00	674	Q141,443.87
				Costo Combustible	Q359,503.16

MATERIALES

Cantidad	Descripción	Precio(m3)	Unidad	Sub-Total	Total
22533	Base	Q72.00	m3	Q1,622,376.00	
1	Madera y pintura	Q900	global	Q900.00	
				Costo Materiales	Q1,623,276.00

MANO DE OBRA

Cantidad	Descripción	Costo/hora	Horas	Sub-Total	Total
1	Laboratorista	Q30.00	337	Q10,103.13	
1	Topógrafo	Q21.88	674	Q14,733.74	
4	Cadenero	Q12.50	674	Q33,677.11	
1	Nivelador	Q15.63	674	Q10,524.10	
				Costo Mano de Obra	Q69,038.08
				Prestaciones (65%)	Q44,874.75
				Total mano de obra	Q113,912.83

Costos Directos	Q2,746,660.23
Costos Indirectos (30%)	Q823,998.07

TOTAL	Q3,570,658.30
PRECIO UNITARIO	Q280.49

ACTIVIDAD: EXCAVACIÓN ESTRUCTURALCantidad a ejecutar: **1845.26 metros cúbicos**Duración: **36.91 horas****MAQUINARIA Y EQUIPO**

Cantidad	Descripción	Costo/hora	Rendimiento m3/h	Sub-Total	Total
1	Excavadora	Q450.00	50		Q16,607.32
1	Bailarina	Q187.50	50		Q6,919.72
				Costo Equipo	Q23,527.04

COMBUSTIBLE

Cantidad	Descripción	gal/hora	precio diesel	Horas trab.	Sub-Total
1	Excavadora	5	Q35.00	37	Q6,458.40
1	Bailarina	10%			Q645.84
				Costo Combustible	Q7,104.24

MANO DE OBRA

Cantidad	Descripción	Costo/día	No. Días	Sub-Total	Total
1	Peón	100	5	Q500.00	
				Costo Mano de Obra	Q500.00
				Prestaciones (65%)	Q325.00
				Total mano de obra	Q825.00

				Costos Directos	Q31,456.29
				Costos Indirectos (30%)	Q9,436.89

				TOTAL	Q40,893.17
				PRECIO UNITARIO	Q22.16

En las Tablas XXXV y XXXVI se presenta la integración del presupuesto para el pavimento rígido y el pavimento flexible:

Tabla XXXV. Costo total de la carretera utilizando pavimento rígido

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	U	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Replanteo topográfico	16.77	Km.	Q3,453.08	Q57,915.00
Limpia, chapeo y destronque	7.66	Ha	Q9,958.51	Q76,278.28
Relleno compactado	1982.43	Metros cúbicos	Q32.99	Q65,400.37
Excavación no clasificada	197537.56	Metros cúbicos	Q27.95	Q5,521,174.80
Excavación estructural	1845.26	Metros cúbicos	Q22.16	Q40,893.17
Reacondicionamiento subrasante	88053	Metros cuadrados	Q10.90	Q960,012.51
Base espesor compactado, 15 cm.	6792.66	Metros cúbicos	Q285.50	Q1,930,745.68
Carpeta de rodadura 15 cm., concreto	32244.17	Metros cuadrados	Q392.44	Q12,653,941.44
Cunetas revestidas	14575.8	Metros lineales	Q129.02	Q1,880,639.72
Mampostería de piedra cabezales y cajas	524.84	Metros cúbicos	Q737.34	Q386,983.73
Alcantarillado de diámetro 36" de concreto	442	Metros lineales	Q261.51	Q115,585.48
Monumentos de kilometraje	8	Unidades	Q200.00	Q1,600.00
Señalización preventiva	45	Unidades	Q550.00	Q24,750.00
Corte en roca	3833.76	Metros cúbicos	Q200.00	Q766,752.00
Fletes	1	Global	Q62,550.00	Q62,550.00
			TOTAL	Q24,545,222.18

Tabla XXXVI. Costo total de la carretera utilizando pavimento flexible

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	U	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Replanteo topográfico	16.77	a.m.	Q3,453.08	Q57,915.00
Limpia, chapeo y destronque	7.66	Ha	Q9,958.51	Q76,278.28
Relleno compactado	9948.18	Metros cúbicos	Q32.99	Q328,165.42
Excavación no clasificada	205503.31	Metros cúbicos	Q27.95	Q5,743,817.43
Excavación estructural	1845.26	Metros cúbicos	Q22.16	Q40,893.17
Reacondicionamiento subrasante	88053.00	Metros cuadrados	Q10.90	Q960,012.51
Sub base espesor compactado 10 cm.	6926.84	Metros cúbicos	Q155.54	Q959,377.01
Base espesor compactado 20 cm.	12729.95	Metros cúbicos	Q280.49	Q3,618,053.00
Carpeta de rodadura 5 cm., concreto asfáltico	7002.31	Toneladas	Q1,200.00	Q8,402,772.00
Riego de imprimación	35221.2	Galones	Q30.00	Q1,056,636.00
Cunetas revestidas	14575.80	Metros lineales	Q129.02	Q1,880,639.72
Mampostería de piedra cabezales y cajas	524.84	Metros cúbicos	Q737.34	Q386,983.73
Alcantarillado de diámetro 36" de concreto	442.00	Metros lineales	Q261.51	Q115,585.48
Monumentos de kilometraje	8.00	Unidades	Q200.00	Q1,600.00
Señalización preventiva	45.00	Unidades	Q550.00	Q24,750.00
Corte en roca	3833.76	Metros cúbicos	Q200.00	Q766,752.00
Fletes	1	Global	Q62,550.00	Q62,550.00
			TOTAL	Q24,482,780.76

Se consideraron los dos tipos de pavimento con el fin de establecer la mejor opción tanto económica como técnica. En este caso la opción más económica, tratándose únicamente de la construcción, es la del pavimento flexible que tiene un costo total de veinticuatro millones cuatrocientos ochenta y dos mil setecientos ochenta quetzales con setenta y seis centavos, comparada con el costo total del pavimento rígido que es de veinticuatro millones quinientos cuarenta y cinco mil doscientos veintidós quetzales con dieciocho centavos. Sin embargo, el costo del pavimento flexible sólo es un 0.25% más barato que el pavimento rígido y tomando en cuenta el mantenimiento que se le debe dar a lo largo de su vida útil, resulta más 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. El proyecto de rehabilitación, mejoramiento y diseño del pavimento del tramo carretero Guajaqueño-Tres Caminos, es importante porque contribuye al desarrollo del municipio de Unión Cantinil, dándole un mejor acceso para sus actividades tanto económicas como integrales de sus habitantes.
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, ya que es la que más se adaptó a las condiciones topográficas del lugar, región montañosa, y al tránsito promedio diario, para un período de diseño de 20 años. Al elegir este tipo de sección, se hicieron mejoras a la geometría del camino, que tenía una geometría de una carretera tipo “F”, con curvas muy cerradas y un ancho promedio de 4.5m, obteniendo mejores grados de curvatura y pendientes menores, lo que da una mayor seguridad para los usuarios de la vía, manteniendo una velocidad promedio de 30KPH.
3. Es importante mencionar que existen diversos puntos obligados en la carretera, como casas, intersecciones y puentes y que al ser una región montañosa, cumplir con la pendiente máxima del 10% acarrea grandes cortes en trinchera que pueden ser peligrosos para los usuarios de la carretera. Por estas razones, algunas curvas horizontales no cumplieron con el radio mínimo de 30m y existen tramos con pendientes mayores al 10%.
4. Los estudios de suelos resultan fundamentales para el diseño del pavimento, ya que con ellos se puede hacer una clasificación del suelo y conocer sus propiedades físicas y mecánicas, escogiendo con ellas los espesores adecuados

del pavimento y las medidas de seguridad que se deben llevar a cabo si el suelo no es adecuado para funcionar como sub-rasante. En este caso, el suelo, que es un limo arcilloso color café claro, sí cuenta con la capacidad de carga necesaria para ser utilizado como subrasante, según el su índice de CBR que es de 16%, para el suelo compactado al 95%, por lo que no se sustituirá por otro ni se estabilizará.

5. 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 muy 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.
6. A partir de los sitios con riqueza natural y cultural localizados en la Mancomunidad Huista, el ámbito turístico representa una alternativa para generar el desarrollo económico y social de la población.

RECOMENDACIONES

A la Mancomunidad Huista:

1. Realizar los análisis de suelos necesarios, durante la construcción de la carretera, mantener un control de calidad permanente a los materiales de construcción utilizados y dar cumplimiento a las especificaciones.
2. Garantizar la supervisión técnica adecuada durante la construcción del pavimento, para que éste proporcione los resultados esperados durante el período de diseño.
3. Proveerle el mantenimiento y limpieza adecuada a los drenajes, tanto transversales como longitudinales, para que la carretera no sufra daños provocados por lluvias.
4. En función de los costos y elementos técnicos, implementar el proyecto utilizando la alternativa de pavimento rígido.
5. Establecer un circuito turístico en el área de la Mancomunidad Huista, llevando a la práctica las estrategias diseñadas y descritas en este documento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Barrios Morales, Williams Haroldo. Diseño y planificación del camino de penetración y unificación que conduce de Guastatoya hacia la aldea El Callejón, departamento de El Progreso. Trabajo de Graduación de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, julio de 2005.
2. Dirección General de Caminos, Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. **Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes.** Guatemala C.A. 2000.
3. Gómez Lepe, Fredy Benjamín. Planificación y diseño de pavimento para la vía principal del municipio de San Juan Ostuncalco, departamento de Quetzaltenango. Trabajo de Graduación de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, marzo de 1997.
4. Juárez Isem, Henry Otoniel. Diseño de la carretera hacia la comunidad San Sebastián el Refugio y sistema de alcantarillado sanitario para el barrio Vista Hermosa, municipio de San Cristóbal Verapaz, Alta Verapaz. Trabajo de Graduación de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, abril de 2007.
5. Yllescas Ponce, Álvaro Danilo. Diseño del tramo carretero comprendido desde el entronque del kilómetro 171+400 carretera Interamericana (CA-1), hacia el caserío Nuevo Xetinamit, del municipio de Nahualá, departamento de Sololá. Trabajo de Graduación de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, agosto de 2003.

APÉNDICE



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



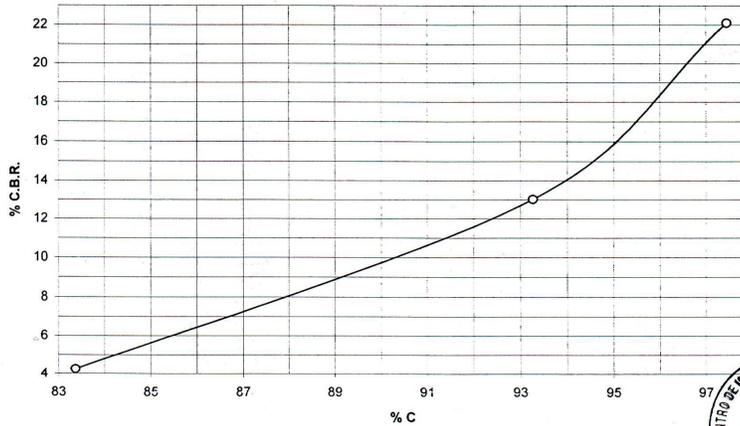
INFORME No.: 497 S.S. O.T.: 22,482

Interesado: María Soledad Ronquillo Marroquín
Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O. T-193
Proyecto: Trabajo de Graduación - EPS

Ubicación: Unión Cantinil - San Antonio Huista, Huehuetenango
Descripción del suelo: Limo arcilloso color café claro
Banco No.: 1
Fecha: 19 de noviembre de 2007

PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	γ_d (Lb/pie ³)			
1	10	13,70	98,0	83,4	1,85	4,2
2	30	13,70	109,6	93,3	1,83	13,0
3	65	13,70	114,5	97,4	1,78	22,1

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



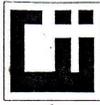
Atentamente,

Vo. Bo.:

Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez
DIRECTOR CI/USAC

Ing. Omar Enrique Medrano Mendez
Jefe Sección Mecánica de Suelos





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



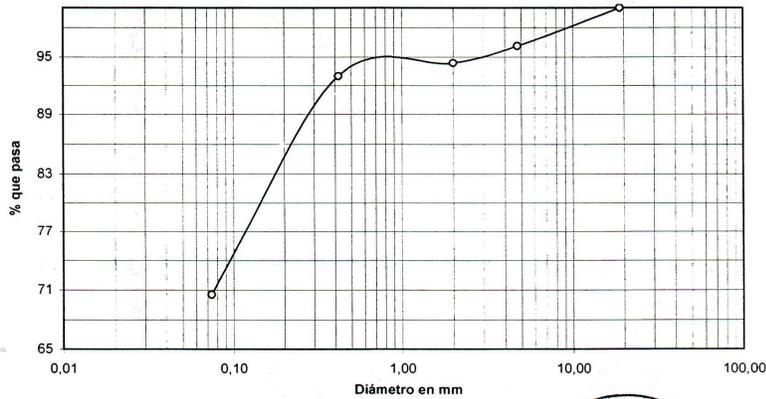
INFORME No. 498 S.S. O.T.: 22,482

Interesado: María Soledad Ronquillo Marroquín
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11
 Proyecto: Trabajo de Graduación - EPS

Procedencia: Unión Cantinil - San Antonio Huista, Huehuetenango
 Fecha: 19 de noviembre de 2007
 Banco No. 1

Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50,8	100,00
3/4"	19,00	100,00
4	4,76	96,11
10	2,00	94,35
40	0,42	92,97
200	0,074	70,53

% de Grava: 3,89
 % de Arena: 25,59
 % de Finos: 70,53



Descripción del suelo: Limo arcilloso color café claro
 Clasificación: S.C.U.: ML P.R.A.: A-6
 Observaciones: Muestra tomada por el interesado



Vo. Bo. *[Signature]*
 Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez
 DIRECTOR CII/USAC

Ayerentamente,

[Signature]
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos



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



INFORME No. 499 S. S.

O.T.: 22,482

Interesado: María Soledad Ronquillo Marroquín
Proyecto: Trabajo de Graduación - EPS

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

Banco No: 1
Ubicación: Unión Cantinil - San Antonio Huista, Huehuetenango

FECHA: 19 de noviembre de 2007

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	C.S.U. *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	37,1	11,5	ML	Limo arcilloso color café claro

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

Observaciones: Muestra tomada por el interesado

Atentamente,



Vo. Bo.

Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez
DIRECTOR CII/USAC

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos



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



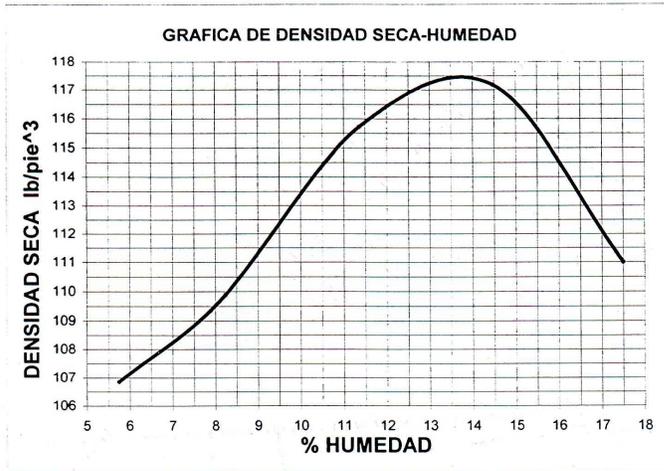
INFORME No. 496 S.S. O.T.: 22,482

Interesado: María Soledad Ronquillo Marroquín
Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN.

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

Proyecto: Trabajo de Graduación - EPS

Ubicación: Unión Cantinil - San Antonio Huista, Huehuetenango
Fecha: 19 de noviembre de 2007



Banco No. 1
Descripción del suelo: Limo arcilloso color café claro
Densidad seca máxima γ_d : 1882 Kg/m³ 117,5 lb/pe³
Humedad óptima Hop.: 13,7 %
Observaciones: Muestra tomada por el interesado

Atentamente,



Vo. Bo.:

Ing. Oswaldo Remed. Escobar Alvarez
DIRECTOR C.I.MUSAC

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

PLANTA DE CONJUNTO
 ESC. 1:2308



PLANTA DE CONJUNTO
ESC. 1:2308

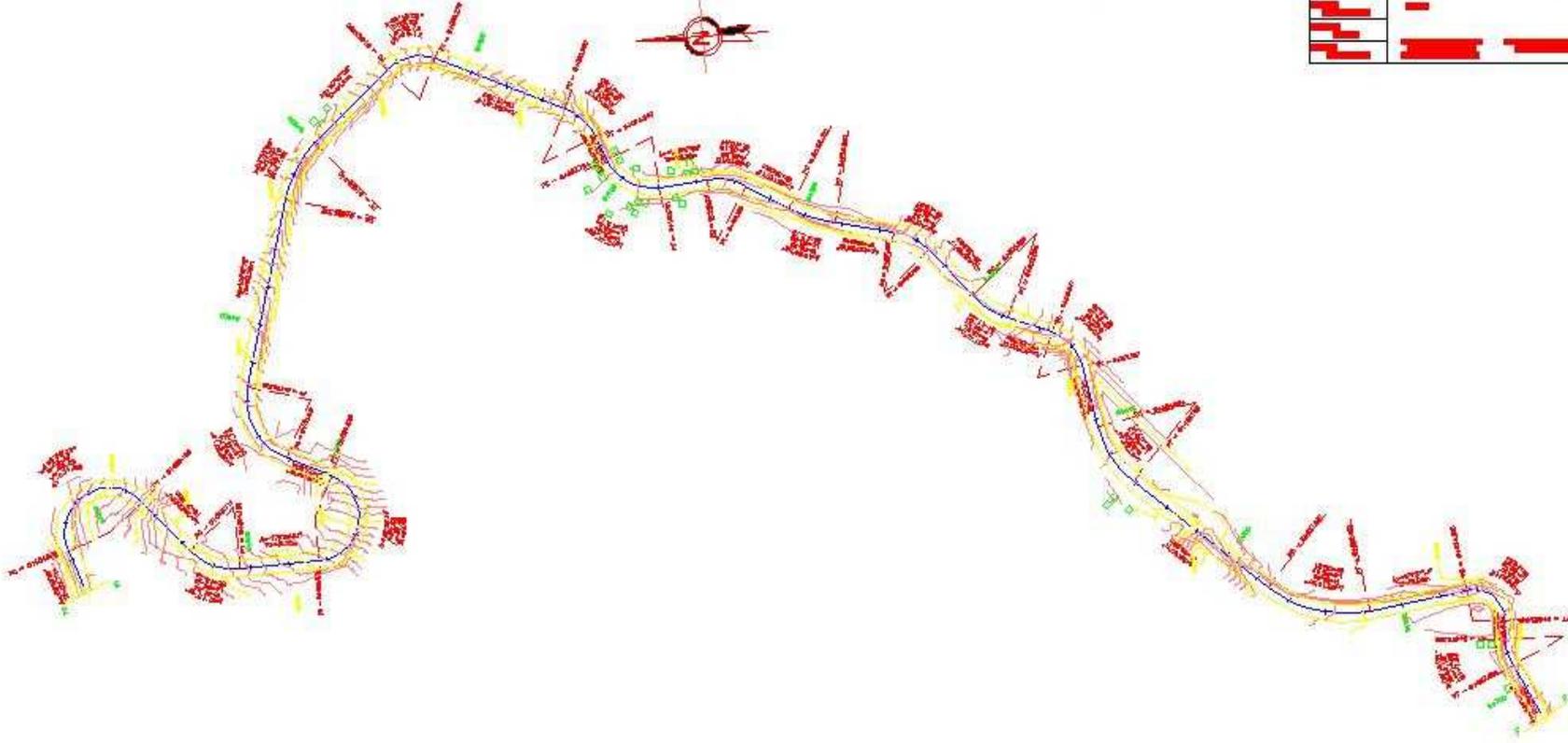
SERVICIO PROFESIONAL SUPERVISADO	
MANCOMUNIDAD HUETA	
PROYECTO: [REDACTED]	
DESCRIPCION: PLANTA DE CONJUNTO	
FECHA:	PROYECTO:
2	23



PLANTA DE CONJUNTO
 ESC. 1:2308



PLANTA DE CONJUNTO
 ESC. 1:2308

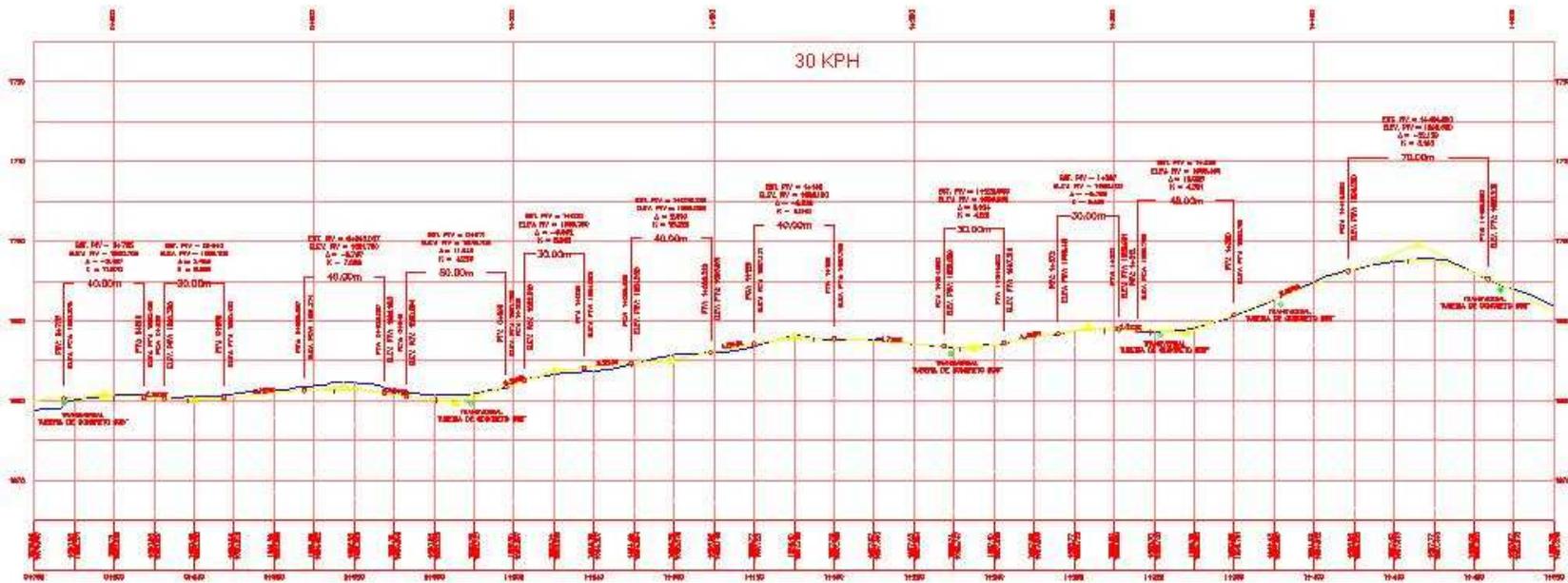


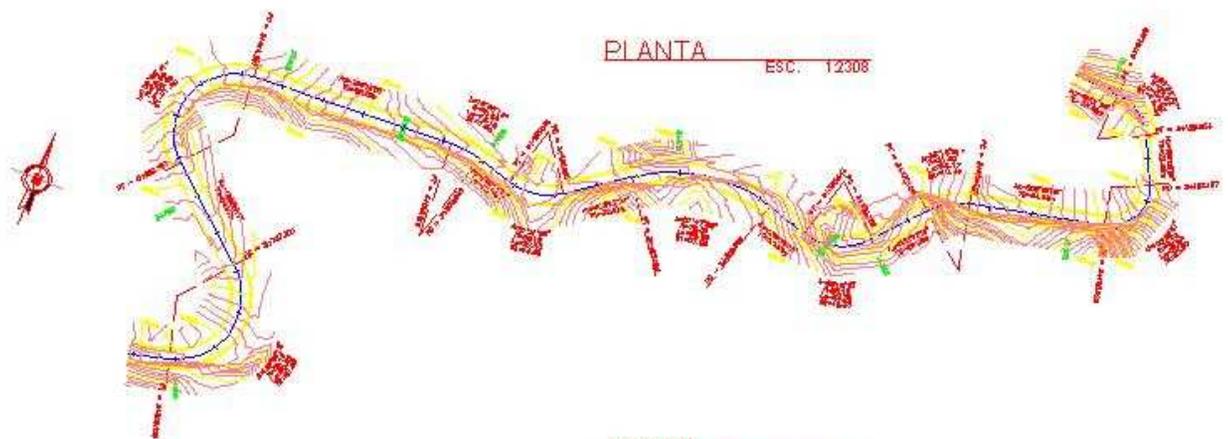
PLANTA
ESC. 1:2308



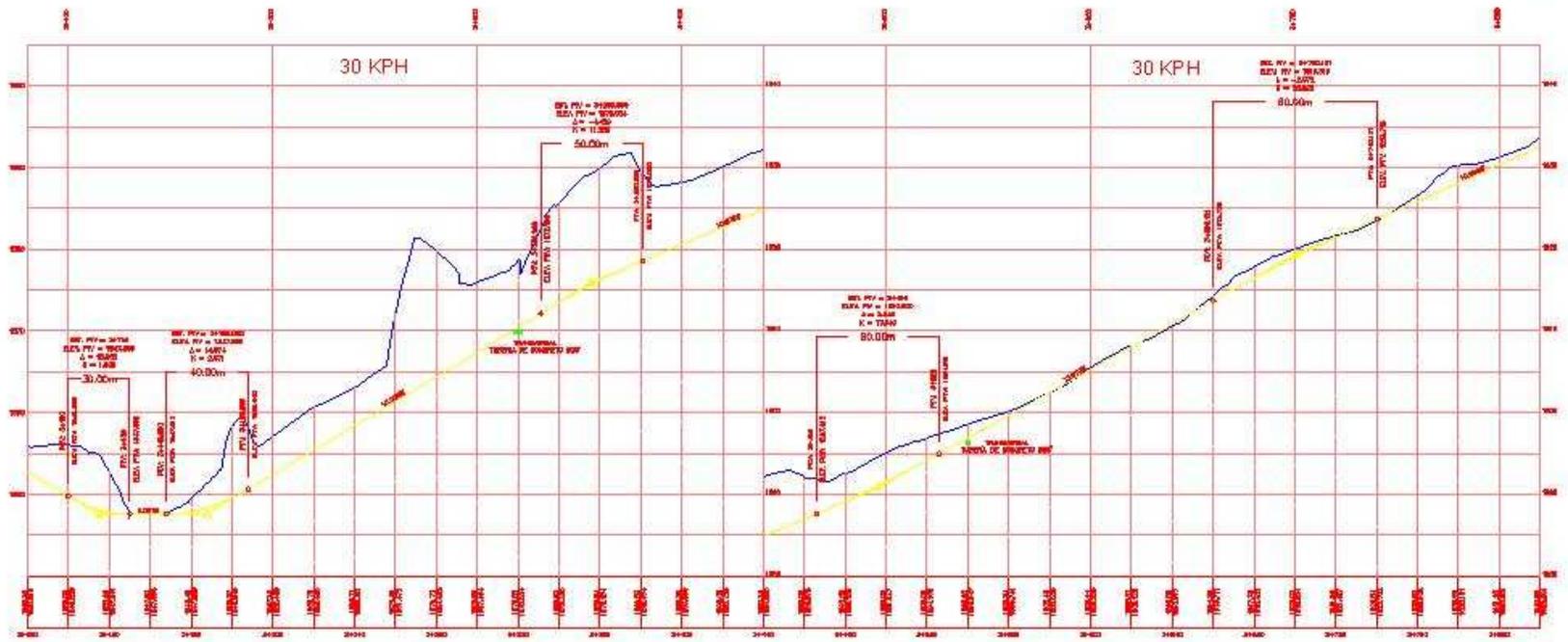
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
FACULTAD DE INGENIERIA	
BIENIO D. PRO. FEDO KAL SUPERVIZADO	
MANCOMUNIDAD HUISTA	
PLANTA PEREIL	
7/23	

PEREIL
ESC. H 1:2308
V 1:577

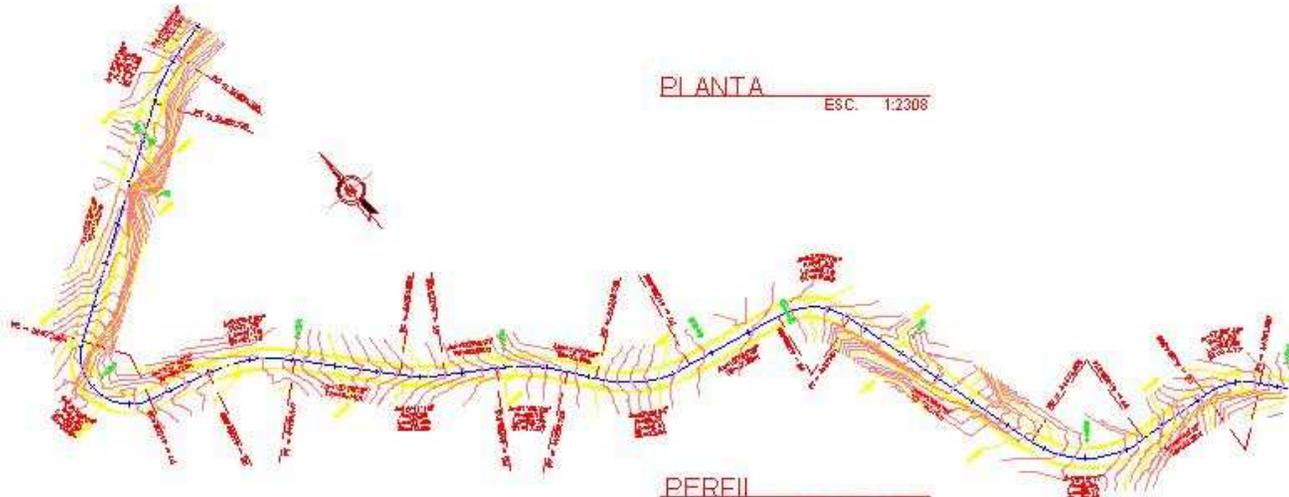




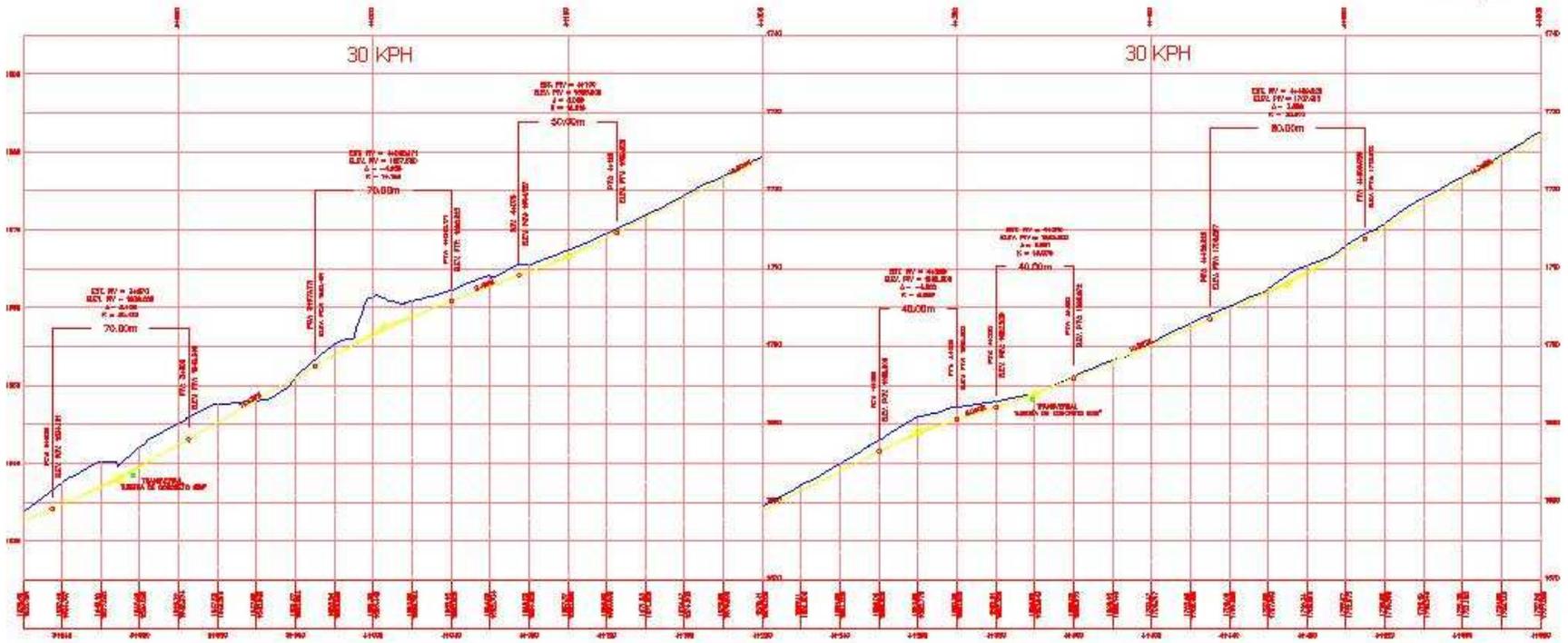
PERFIL ESC. H 1:2308
 V 1:577

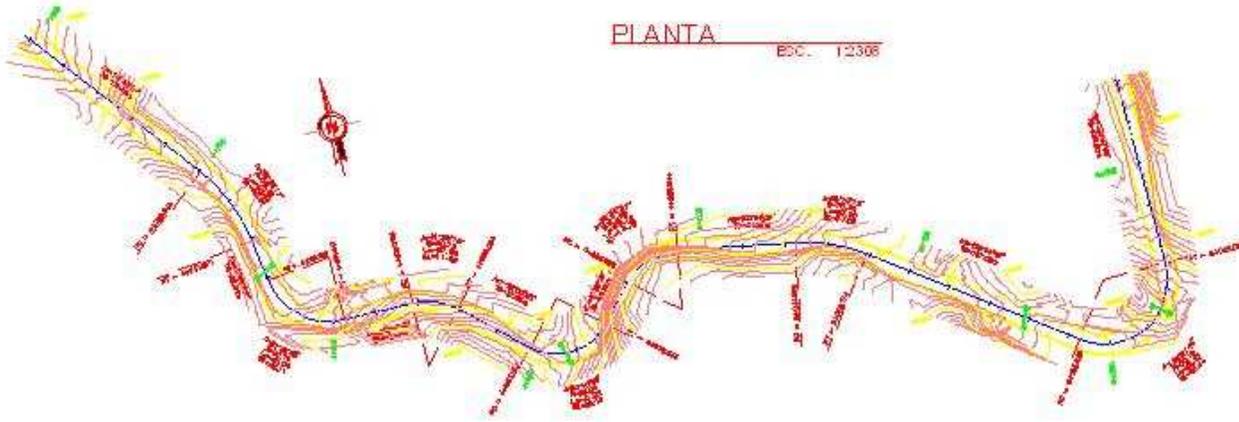


PLANTA ESC. 1:2308

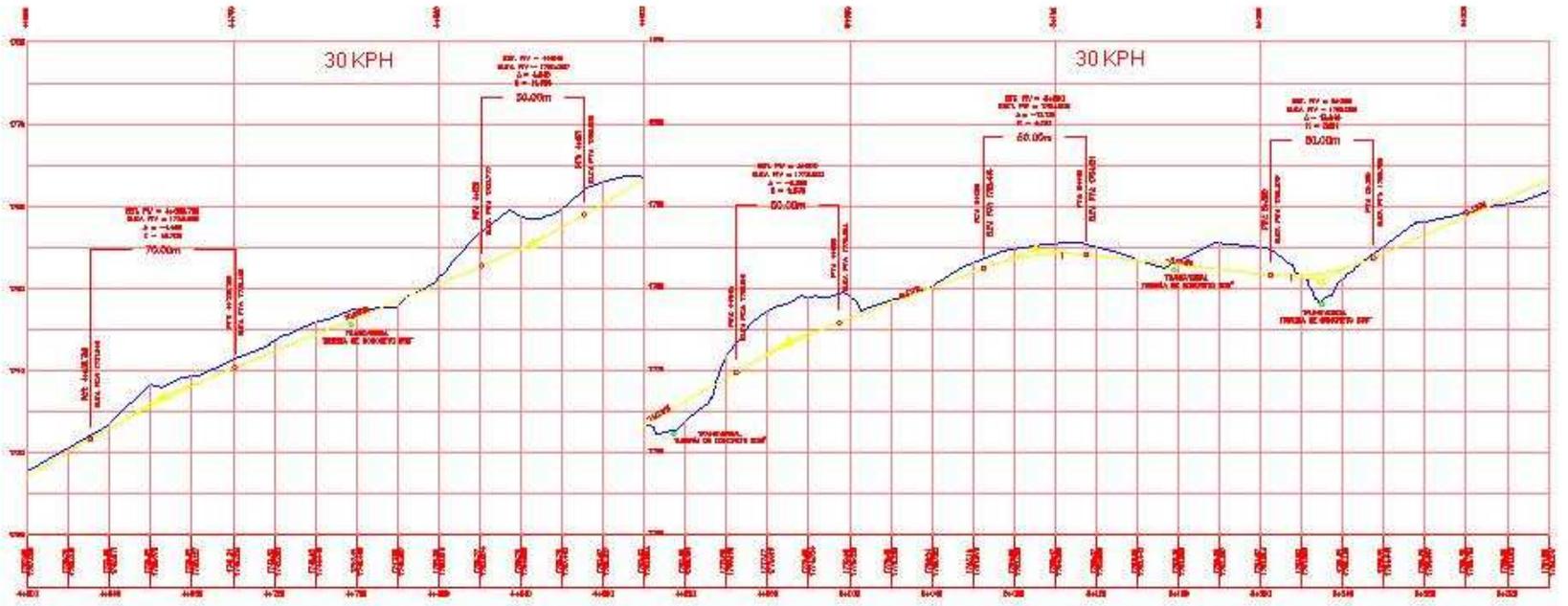


PERFIL ESC. H 1:2308
 V 1:577

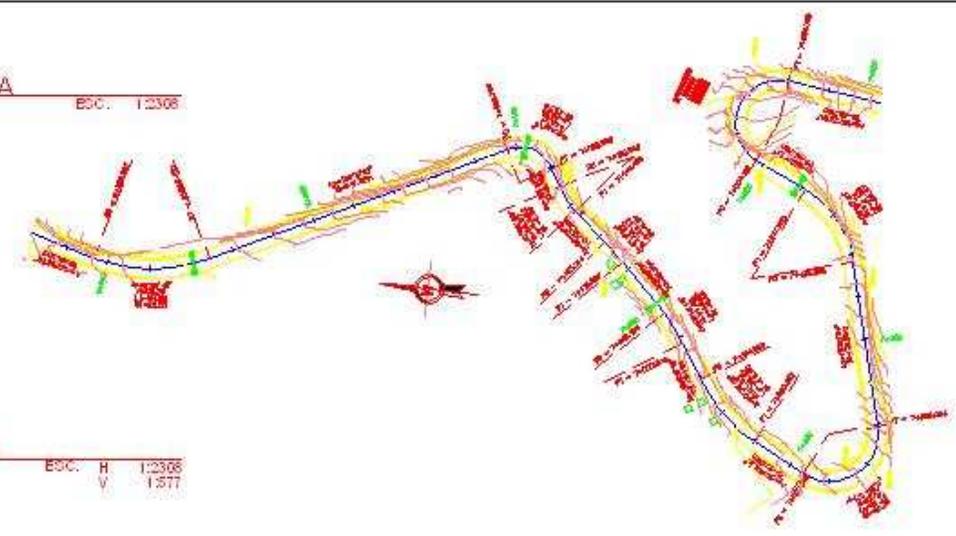




PERFIL
 ESC. H: 1:2300
 V: 1:500



PLANTA ESC. 1:2308



PERFIL ESC. H 1:2308
 V 1:577

