



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

**DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL CAMINO DE PENETRACIÓN Y
UNIFICACIÓN QUE CONDUCE DE GUASTATOYA HACIA LA
ALDEA EL CALLEJÓN, DEPARTAMENTO DE EL PROGRESO**

WILLIAMS HAROLDO BARRIOS MORALES

Asesorado por: Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta

Guatemala, julio de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**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

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

WILLIAMS HAROLDO BARRIOS MORALES

ASESORADO POR: ING. MANUEL ALFREDO ARRIVILLAGA OCHAETA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

Guatemala, julio de 2005

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuel Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazmínda Vides Leiva
SECRETARIO	

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Luis Gregorio Alfaro Velíz
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Gordillo García
EXAMINADOR	Inga. Christa Classon de Pinto
SECRETARIO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL CAMINO DE PENETRACIÓN Y UNIFICACIÓN QUE CONDUCE DE GUASTATOYA HACIA LA ALDEA EL CALLEJÓN, DEPARTAMENTO DE EL PROGRESO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 1 de junio del 2004.

WILLIAMS HAROLDO BARRIOS MORALES

ACTO QUE DEDICO

A Dios y a Santa María	Por la luz en mi formación.
A mis padres	Baudilio Aroldo Barrios y Vera Sucel Morales de Barrios, por su apoyo, en todos los momentos de mi vida.
A mis hermanos	Sucel, Rony, Evelyn, por la hermandad que siempre me han brindado.
A mis tíos	Con cariño, en especial, a Víctor Manuel Barrios, Yolanda Barrios de Orozco, Rolando Morales, Carlos Morales.
A la familia Orellana Osorio	Con especial cariño y gratitud.
A todos mis amigos	Con afecto por haber compartido conmigo los sin sabores de la vida y la comprensión que siempre me brindaron.
A la Facultad de Ingeniería	Con gratitud por la formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	XIII

1. GEOGRAFÍA HABITACIONAL Y CULTURAL DE LA ALDEA EL CALLEJÓN, DEPARTAMENTO DE EL PROGRESO

1.1. Plano geográfico.....	1
1.1.1. Localización.....	2
1.1.2. Situación territorial.....	1
1.1.3. Vías de comunicación.....	2
1.1.4. Clima.....	3
1.2. Sociedad.....	3
1.2.1. Etnografía.....	3
1.2.2. Razón del nombre.....	3
1.2.3. Educación.....	4
1.2.4. Salud.....	5
1.2.5. Alimentación.....	6
1.2.6. Desechos sólidos.....	6
1.3. Agricultura.....	6
1.3.1. Cultivos y sembrados.....	6

1.3.2.	Instituciones.....	7
1.3.3.	Vegetación natural.....	7
1.4.	Economía.....	7
1.4.1.	Doméstica.....	7
1.4.2.	Industria en el hogar.....	7
1.4.3.	Laboral.....	8
1.4.4.	Ecología (fauna y flora).....	8
1.5.	Comercio.....	9
1.5.1.	Mercado.....	9
1.5.2.	Tiendas.....	9

2. DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL CAMINO DE PENETRACIÓN, PARA LA ALDEA EL CALLEJÓN, DEPARTAMENTO DE EL PROGRESO

2.1.	Topografía.....	11
2.1.1.	Planimetría.....	11
2.1.2.	Altimetría.....	12
2.2.	Mecánica de suelos.....	16
2.2.1.	Tipos de suelo.....	20
2.2.2.	Ensayos de suelo.....	29
2.2.2.1.	Ensayo granulométrico.....	31
2.2.2.2.	Límites de Atterberg.....	33
2.2.2.3.	Ensayo proctor.....	36
2.2.2.4.	Ensayo razón soporte California.....	38

2.2.3. Valores de compactación y soporte para bases y sub bases.....	41
2.3. Concepto y objetivo de un camino balastado.....	42
2.3.1. Concepto de balasto.....	42
2.3.2. Objetivo de un camino balastado.....	43
2.4. Capas que componen el pavimento.....	44
2.4.1. Terreno natural	44
2.4.2. Subrasante.....	46
2.4.3. Sub base.....	49
2.4.4. Base.....	50
2.4.5. Carpeta de rodadura	53
2.5. Análisis del volumen de tránsito.....	54
2.5.1. Volumen de tránsito.....	54
2.5.2. Especificaciones para ejes de camiones.....	56
2.5.3. Carga máxima utilizada en Guatemala.....	57
2.6. Pavimento rígido.....	59
2.6.1. Pavimento de concreto de cemento Portland.....	59
2.6.1.1. Especificaciones para materiales del concreto.....	60
2.6.2. Calidad del concreto.....	68
2.6.3. Diseño de mezclas para concreto.....	69
2.6.4. Control en campo de relación agua cemento.....	72

3.1 DISEÑO DEL CAMINO DE PENETRACIÓN QUE CONDUCEDE GUASTATOYA HACIA LA ALDEA EL CALLEJÓN, DEPARTAMENTO DE EL PROGRESO

3.1. Trabajo topográfico.....	75
3.1.1. Cálculo topográfico.....	75
3.2. Diseño estructural.....	83
3.2.1. Estudio de mecánica de suelos.....	84
3.2.2. Ensayos de suelo.....	85
3.2.1.1. Ensayo granulométrico.....	85
3.2.1.2. Límites de Atterberg.....	86
3.2.1.3. Ensayo proctor.....	87
3.2.1.4. Ensayo razón soporte California.....	88
3.3. Dimensionamiento final	89
3.3.1. Estructura final del pavimento.....	89
3.4. Riesgo y vulnerabilidad.....	94
3.5. Medidas de mitigación.....	95
CONCLUSIONES.....	96
RECOMENDACIONES.....	97
BIBLIOGRAFÍA.....	98
ANEXOS.....	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Plano geográfico del departamento de El Progreso.....	2
2. Aparato Casagrande.....	34
3. Resultado de amasado.....	35
4. Martilladora automática.....	38
5. Instrumentos necesarios para ensayo CBR.....	39
6. Extensómetro.....	40
7. Capas del pavimento.....	54
8. Interrelación de esfuerzos.....	57
9. Curva de frecuencia de posición del vehículo.....	58
10. Curva de frecuencia para dos tipos de vehículo.....	58
11. Sección transversal.....	83
12. Ensayo granulométrico.....	85
13. Ensayo límites de Atterberg.....	86
14. Ensayo Proctor.....	87
15. Ensayo CBR.....	88
16. Diseño del tramo 0+000 a 0+800.....	102
17. Diseño del tramo 0+800 a 1+590.....	103
18. Diseño del tramo 1+590 a 2+320.....	104
19. Diseño del tramo 2+320 a 3+000.....	105
20. Diseño del tramo 3+000 a 3+800.....	106
21. Diseño del tramo 3+800 a 4+580.....	107

22. Diseño del tramo 4+580 a 5+380.....	108
23. Diseño del tramo 5+380 a 5+551.42.....	109
24. Detalles de obras de alivio en drenajes.....	110

TABLAS

I. Escolaridad en el municipio.....	5
II. Distribución de actividades laborales en el lugar.....	8
III. Principales minerales de coras y suelos.....	21
IV. Tamaño de abertura de los tamices más utilizados.....	32
V. Clasificación de los suelos.....	46
VI. Clasificación de los vehículos.....	55
VII. Agregados para concreto normal.....	61
VIII. Graduación de los agregados.....	62
IX. Graduación del agregado grueso.....	63
X. Efecto y denominación de los aditivos.....	64
XI. Composición del concreto.....	68
XII. Clases de concreto.....	69
XIII. Proporcionamiento del concreto.....	71
XIV. Valores de K para visibilidad de parada.....	79
XV. Categorías de carga por eje.....	91
XVI. Tráfico promedio diario de camiones permisible.....	92
XVII. Presupuesto del camino de penetración.....	100

LISTA DE SÍMBOLOS

Psi	Libra sobre pulgada cuadrada
AASHTO	Asociación Americana de autopistas estatales y transportes oficiales
f'c	Resistencia del concreto
K	Constante que depende de la velocidad de diseño
a_c	Aceleración centrífuga
AC	Área de corte
PCA	Asociación del cemento Portland
ASTM	Asociación Americana de ensayos en materiales
F	Ligera efervescencia con ácido clorhídrico frío
t	Efervescencia con ácido clorhídrico frío
TPD	Tráfico promedio diario
TPDC	Tráfico promedio diario de camiones
ACI	Instituto Americano del Concreto
PV	Punto de vuelta
VA	Vista atrás
VI	Vista intermedia
PCV	Principio de curva vertical
PIV	Punto de intersección de subtangentes verticales
PTV	Principio de tangente vertical
PCH	Principio de curva horizontal
PI	Punto de intersección subtangentes horizontales
PT	Principio de tangentes horizontales

Io	Lectura inicial sobre el banco de marca
LC	Longitud de curva
EST	Estación
P.O.	Punto observado
HS	Hilo superior
HM	Hilo medio
Hi	Hilo inferior
BM	Banco de marca
R	Radio de giro
Kph	Kilómetro por hora
G	Grado máximo de curvatura
LS	Longitud espiralada
ST	Subtangente
Tmin	Tangente mínima
KN	Kilonewton
N/mm²	Newton por milímetro al cuadrado
Kg/m³	Kilogramo por metro cúbico
A/C	Relación agua y cemento
Δ	Diferencia algebraica de pendientes
L	Longitud mínima de curva vertical
P.U.	Precio unitario
M.O.	Mano de obra
MR	Módulo de ruptura del concreto
SM	Limo arenoso
C.B.R	Valor razón soporte California
MPa	milipascales
hi	altura inicial
C.S.U.	Clasificación Sistema Unificado

GLOSARIO

Balasto	Capa de grava que se tiende para mejorar las condiciones de una subrasante con materiales de baja calidad.
Banco de marca	Punto arbitrario que sirve de referencia para trabajar la parte altimétrica de un levantamiento topográfico.
Carga máxima	Es la mayor fuerza tomada en cuenta para diseñar pavimentos en Guatemala.
Casagrande	Es el aparato por medio del cual se realiza el ensayo de límites de Atterberg.
Coordenadas	Dirección de cada una de las líneas o planos de referencia que sirven para determinar la posición de un punto.
Consolidar	Es la operación que se realiza para evitar ovimientos de tierra no deseados, como resquebrajaduras.
Curvamasa	Es el nombre del diagrama que nos permite calcular los movimientos de tierra en un proyecto carretero.
Curva en cresta	Es una curva vertical que es convexa y se coloca generalmente en terreno con lomerío.

Eje	Barra horizontal dispuesta perpendicularmente a la línea de tracción de un vehículo y entra por sus extremos en los bujes de las ruedas.
Sección transversal	Es un corte en el terreno natural, donde se representa el ancho de la vía con todas las obras y mejoras que se realizarán sobre él.
Tamiz	Cedazo de malla tupida, que se utiliza para separar las partes finas de las gruesas de una masa pulverulenta.
Terraplén	Macizo de tierra que sirve para rellenar un terreno accidentado.
Topografía	Es el arte de representar un terreno en un plano, con su forma, dimensiones y relieve.
Tubería	Es el conducto formado por tubos, en los cuales se desplazará el fluido.

RESUMEN

La comunidad de El Callejón, se encuentra a seis kilómetros de la cabecera departamental y cuenta solo con el servicio de luz eléctrica y agua potable, esta última por medio de llenar cantaros, careciendo de los servicios mínimos de una población como son una vía de acceso con pavimento y drenajes entre otros. Por tal razón, es necesario la construcción de un acceso adecuado, debiendo para este propósito realizar los estudios y diseños correspondientes que den como resultado una planificación que se adapte a las necesidades y recursos disponibles para lograr realmente una solución eficaz, capaz de superar las limitaciones actuales.

Esto debido a la importancia que tienen las vías de comunicación entre las comunidades, por el desarrollo que puede tener la población para transportar sus productos y viajar de una manera más fácil hacia la cabecera municipal y de esta forma contribuir con el desarrollo del municipio y sus respectivas poblaciones.

OBJETIVOS

General

Contar con una carretera directa de la comunidad del callejón a la cabecera departamental por una vía directa y accesible durante toda época del año.

Específicos

1. Minorizar tiempo al trasladarse más rápido, tanto ellos, como los productos de su aldea a la cabecera departamental que es con quien realizan su comercio, pudiendo emplear medios motorizados para esta actividad.
2. Trasladar los enfermos con urgencia a través del camino, por entidades correspondientes. Se evita también enfermedades respiratorias producidas por el polvo.
3. Facilitará a los padres de familia enviar a sus hijos a la cabecera departamental para continuar estudios de básico y diversificado.

INTRODUCCIÓN

Al dar inicio al presente trabajo CAMINO DE PENETRACIÓN Y UNIFICACIÓN QUE CONDUCE DE GUASTATOYA HACIA LA ALDEA EL CALLEJÓN, del departamento de El Progreso, bajo un clima cálido se aprecia que el presente proyecto se llevará a cabo en las áridas tierras de Guastatoya, nombre proveniente de la lengua náhuatl, guaxhtl que significa morros, y atoyac que significa el último, o sea el punto donde se ven los últimos morros.

La razón fundamental es unir por medio de una vía más directa, la cabecera departamental con la comunidad de El Callejón, que ha permanecido carente de una ruta de comunicación, que permita el desplazamiento vehicular, entre estas poblaciones.

En el caso del comercio podrán transportar en forma más económica los productos que llegan a la aldea, los cuales son vendidos a precios altos por el costo del transporte en la región. Debido a esto es urgente la construcción de una ruta donde puedan movilizarse fácil y rápidamente de la comunidad de El Callejón a la cabecera departamental en un trayecto de varios kilómetros.

Se ha observado el deseo de sus habitantes de lograr esta obra al manifestarse no sólo oralmente sino por escrito, y la voluntad que han presentado al ofrecer su ayuda gratuita en la elaboración de esa vía.

1. GEOGRAFÍA HABITACIONAL Y CULTURAL DE LA ALDEA EL CALLEJÓN, DEPARTAMENTO DE EL PROGRESO

1.1. Plano geográfico

1.1.1. Localización

La aldea el callejón del municipio de Guastatoya del departamento de El Progreso, se encuentra localizada a seis kilómetros de la cabecera municipal, encontrándose limitada al norte con el municipio de Guastatoya, al sur con la aldea El Rancho, del municipio de San Agustín Acasaguastlán, al oeste con la aldea Santa Rita del municipio de Guastatoya y al este con la aldea Piedra Parada del mismo municipio (ver figura1).

1.1.2. Situación territorial

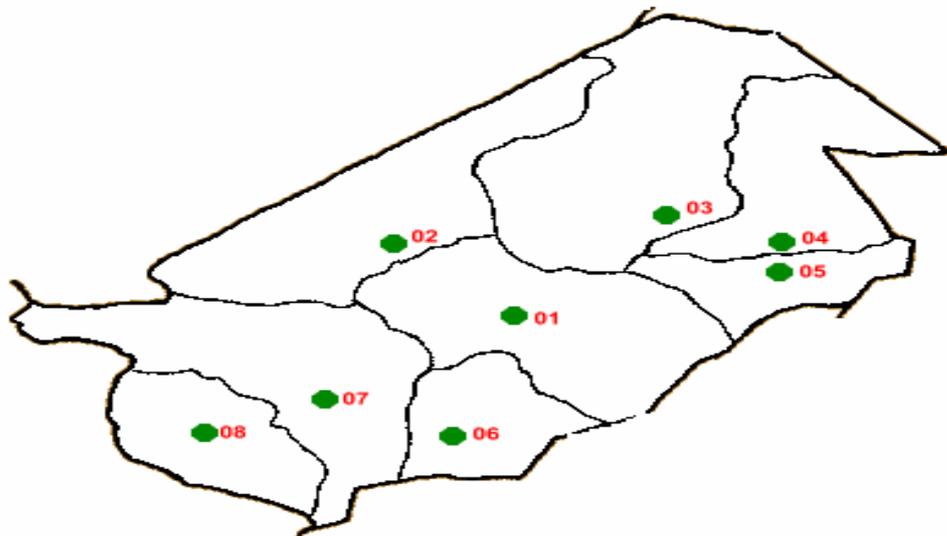
Su terreno es de una topografía bastante quebrada e irregular y se encuentra a orilla de un pequeño río que se denomina La Quebrada, encontrándose seco la mayoría de meses del año y sólo corre agua cuando la estación de invierno llega y recibe la afluencia de corrientes que van de otros lugares.

El tipo de suelo está compuesto por limos y arena, los vecinos del lugar lo utilizan para la construcción de casas, tejas y ladrillo de adobe.

1.1.3. Vías de comunicación

Para llegar a la aldea El Callejón, puede hacerse por una entrada que va desde el oeste, conectando la comunidad con la carretera CA-9 o ruta al Atlántico, esta entrada es de terracería y se encuentra en condiciones no adecuadas para el acceso de vehículos.

Figura 1. Plano geográfico del departamento de El Progreso



Fuente : Unidad técnica municipal, Guastatoya, El Progreso

1. Guastatoya
2. Morazán
3. San Agustín Acasaguastlán
4. El Jícaro
5. Santa Rita
6. Sansare
7. Las Morales
8. Sanarate

Al norte tiene comunicación con la cabecera departamental, únicamente en camino de herradura. Este acceso es el utilizado por comerciantes, estudiantes y vecinos en general, que necesitan movilizarse hacia la cabecera.

1.1.4. Clima

A pesar de encontrarse a 925 pies sobre el nivel del mar, el clima es cálido y seco, generalmente su temperatura oscila entre los 30 y 38 grados entre los meses de enero a julio.

El resto del año al no haber estación lluviosa, únicamente se puede observar ligeros cambios de temperatura unidos a vientos fuertes.

1.2. Sociedad

1.2.1. Etnografía

Cuenta con 372 habitantes que generalmente son ladinos pues su procedencia fue de la cabecera departamental, aldeas circunvecinas, municipios y lugares aledaños. Su nacimiento se remonta a la necesidad del trabajo y comercio, cuando en otra aldea del departamento de El Progreso llamada El Rancho, antiguamente llamado Punta de rieles debido a que era el fin de la vía férrea, se intercambiaba comercio con Guastatoya, dando origen así a los primeros pobladores de un terreno que se encuentra en medio de dos comunidades comercialmente activas.

1.2.2. Razón del nombre

El nombre de esta aldea se remonta a las exigencias de vida de otras poblaciones, las cuales para llevar leña para sus hogares, frutos de trueno, palma, madera rolliza para la construcción, tenían la necesidad de pasar por una vereda angosta y quebradiza que denominaban callejón que quiere decir camino estrecho y dificultoso.

Cuando principiaron a hacer las primeras viviendas a la orilla de este sendero las poblaciones vecinas les llamaban los del callejón y fue así como la municipalidad de Guastatoya lo aceptó como caserío y posteriormente aldea.

1.2.3. Educación

La educación en la aldea El Callejón, se reduce a una escuela de nivel primario donde se imparten los grados de primero a sexto con una población escolar de ciento diez estudiantes, siendo los grados de primero y segundo los más numerosos pues los grados de quinto y sexto se reducen a diez y doce niños, los cuales son atendidos por cuatro maestros que viajan diariamente de la cabecera departamental a esta población en una jornada matutina, oscilando los educandos entre las edades de 6 a 14 años.

Las familias con alguna posibilidad de seguir dando estudio a sus hijos, los inscriben en la cabecera departamental para continuar con básicos y diversificado, en otro caso, en escuelas de oficios.

En su mayoría la población de niñas sólo estudia la primaria para luego retirarse a los quehaceres domésticos. También existen campañas de alfabetización y enseñanza de la elaboración de artículos con materias primas del lugar, especialmente de palma, como escobas, respaldos para asientos, entre muchos más.

A continuación, la siguiente tabla muestra la cantidad y distribución de maestros en el municipio de Guastatoya al cual pertenece la aldea El Callejón.

Tabla I. Escolaridad en el municipio

Indicador	Preprimaria			Primaria			Básico			Diversificado		
	Total	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural
Tasa neta de escolarización	53.36			103.5			63.22			50.41		
Tasa bruta de escolarización	96.36			118.1			80.42			64.8		
Tasa de promoción				84.77			52.04			69.04		
Tasa de repitencia				7.77			5.85			0		
Tasa de deserción				16.08			3.6			0.39		
Total de maestros	25	13	12	111	54	57	64	59	5	67	67	0
Maestros del sector público	18	6	12	90	33	57	42	42	0	11	11	0
Maestros del sector privado	8	7	0	21	21	0	17	17	0	51	51	0
Maestros del sector cooperativo	0	0	0	0	0	0	5	0	5	5	5	0

Fuente: Coordinación Técnica Municipal de Educación 2002

1.2.4. Salud

Esta población cuenta con un centro de salud atendido por una enfermera y un médico que llega de dos a tres veces por semana, atendiendo únicamente urgencias pues la falta de medicina obliga a los habitantes a tener que desplazarse a otros lugares.

La aldea aún no cuenta con una farmacia, otro obstáculo a vencer, y entre sus pobladores los niños sufren de diarreas y males estomacales, debido en parte a la falta de drenajes.

1.2.5. Alimentación

Generalmente se alimentan de productos comprados, puesto que la agricultura en esta región es muy escasa. Su dieta consiste en frijoles, huevos, tortillas, agua, y algunas veces, según posibilidad, carne.

Carecen de alimentos vitales como la leche, verduras, frutas. En la escuela a través del programa de refacción escolar se le brinda un desayuno que se queda escaso para cubrir todo el ciclo escolar.

1.2.6. Desechos sólidos

La aldea no cuenta con un botadero de desechos específico y utilizan las letrinas por carecer también de drenajes sanitarios.

1.3. Agricultura

1.3.1. Cultivos y sembrados

La tierra como base esférica para la producción puede ser favorable o desfavorable para los agricultores y es el caso que en esta comunidad la tierra está formada por una gran cantidad de barro, piedra grande, arena, por lo que la siembra necesita de fertilizantes, insecticidas y lo más importante, riego, pues en los meses más calurosos el suelo alcanza temperaturas demasiado altas, siendo en su mayoría tierra árida.

Los campesinos aprovechan las partes altas para siembra de maíz, frijol, algunos árboles frutales como el jocote de trueno y la sábila, productos que comercian con los vecinos de la región. La vegetación que prolifera en el lugar son el tuno, hupay, aripin, morro y algunos otros como el conacaste y paraíso.

1.3.2. Instituciones

Las instituciones que han colaborado con los campesinos y población en general son Digebos, Segeplan, Plan Internacional, esta última que asiste económicamente proyectos de infraestructura entre otros.

1.3.3. Vegetación natural

De acuerdo al conocimiento que se tiene en instituciones, la vegetación natural de estas tierras se reduce a arbustos como ixcanal, subin, aripin, brasil, los cuales son utilizados para leña y árbol de jote, el cual es utilizado para enfermedades de la piel. La planta de tuno que da frutos de tuno o tunas y el árbol de morro con una fruta esférica de la cual se fabrican los tecomates que son utilizados para tener reservas de agua.

1.4. Economía

1.4.1. Doméstica

Esta actividad esta íntimamente relacionada con el ama de casa, quien se encarga no solo de los trabajos domésticos, hacer la alimentación, higiene de la vivienda, lavado, cuidado de la ornamentación, sino que, además contribuye al hogar llevando parte del dinero para el sustento diario de la familia.

1.4.2. Industria en el hogar

Se pueden apreciar en algunos hogares carpinterías, dedicándose a la realización de muebles encargados con una baja producción. Las mujeres realizan productos alimenticios, los cuales son vendidos en los lugares de afluencia de personas como el estacionamiento de buses extraurbanos que se detienen en el lugar denominado Las Champas, pasajeros que viajan en la ruta

a Cobán y hacia el oriente del país compran y consumen los productos elaborados por estas amas de casa.

Otra fuente de trabajo son los aserraderos y las actividades de producción en el hogar como la elaboración de productos, especialmente de palma.

1.4.3. Laboral

La actividad laboral se puede clasificar según la tabla II.

Tabla II. Distribución de actividades laborales en la aldea El Callejón

% personas	Actividad
20	Emigrado a Estados Unidos
50	Agricultura y aserraderos
15	Trabajo en la ciudad capital
15	Venta de leña

Fuente: Unidad Técnica Municipal, Guastatoya, El Progreso

1.4.4. Ecología (fauna y flora)

Debido al clima, crecimiento de zarzas y lo quebrado de los terrenos, permite que en ciertas épocas del año sea más notoria la fauna, cuyas especies habitan según su naturaleza incluyendo los ejemplares domésticos que se desarrollan en lugares preparados por el hombre, entre ellos: el asno, caballo, cerdo, ganado vacuno, cabras, gallinas, perros.

La fauna del campo en lo que corresponde a reptiles están lagartijas de diversos tipos, víbora de cascabel, coral, mazacuata o ratonera y los animales más tradicionales del lugar el garrobo o más conocido en la región como shero, mamíferos como zorros, tacuacines, coyotes, conejos. Muchas otras especies de animales existen en esta región propios del clima árido no registradas por falta de estudios y documentación al respecto.

La flora es escasa existiendo los árboles anteriormente mencionados y predominando los nopales y la planta de tuno.

1.5. Comercio

1.5.1. Mercado

La comunidad de El Callejón, no cuenta con un lugar específico que reúna las condiciones de mercado y únicamente lo realizan en la calle, donde se colocan vehículos que llevan productos de alimentación y vestuario, los cuales son ofrecidos a los pobladores.

1.5.2. Tiendas

Existen ocho tiendas en toda la comunidad que se dedican a la venta de artículos de primera necesidad, pues cuando se necesita, la mayoría de personas viajan a la cabecera a realizar sus compras, incluso para abastecer estos pequeños expendios.

2. DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE UN CAMINO DE PENETRACIÓN, PARA LA ALDEA EL CALLEJÓN, DEPARTAMENTO DE EL PROGRESO

2.1. Topografía

Esta es la parte fundamental para el trabajo del ingeniero civil, pues mediante ésta podemos medir las distancia horizontales y verticales entre puntos y objetos sobre la superficie terrestre, medir ángulos entre rectas, localizar puntos por medio de distancias y ángulos previamente determinados. Las unidades de medición angular son el grado, el minuto y el segundo.

En gran parte de los trabajos topográficos es suficiente tomar los ángulos hasta el minuto. En ciertos trabajos de precisión los ángulos se toman al segundo y a veces, hasta a la décima de segundo.

Según sea el estudio la topografía se divide en planimetría y altimetría.

2.1.1. Planimetría

La utilizamos cuando necesitamos representar el terreno en el plano horizontal o llamado también base productiva, pues es el área real del terreno disponible. Utilizamos métodos geométricos y trigonométricos tratando de formar figuras geométricas mediante líneas rectas y ángulos.

Estos puntos pueden ser transitorios, que se entienden por los que utilizamos para realizar el trabajo y que posteriormente pueden desaparecer.

También tenemos los puntos definitivos, los cuales son aquellos que no pueden desaparecer puesto que puede tratarse de un banco de marca, el cual servirá en cualquier momento como referencia.

2.1.2. Altimetría

Es la diferencia de niveles existentes entre puntos de un terreno, diferencias que podemos conocer mediante la nivelación. La nivelación consiste en medir las distancias verticales a partir de una superficie de nivel o plano de referencia arbitrario, se denominan cotas.

En esta parte es donde definimos un banco de marca o su abreviatura BM, el cual es un punto de carácter más o menos permanente, del cual se conocen su localización y su elevación. Estos datos son escogidos arbitrariamente siempre y cuando éstos se adapten a los objetivos que perseguimos en el proyecto.

2.1.2.1. Clases de nivelación

A) Nivelación geométrica

Es la más utilizada por la ingeniería civil, se basa en la mira y el nivel, puede ser simple o compuesta.

B) Nivelación geométrica simple

Es cuando desde la primer posición en la que situamos el aparato, podemos observar y medir todos los puntos del terreno que estamos nivelando.

La primer lectura se hace hacia un punto fijo y lo llamamos BM, y partiendo de este nivelamos el resto del terreno.

Denominamos **lo** a la lectura que da la vista sobre el BM que servirá para encontrar la altura del instrumento y por consiguiente la altura del plano horizontal, tendremos:

$$\text{Altura instrumento} = \text{BM} + \text{lo}$$

Las lecturas de cota del resto de puntos las obtenemos de la resta de altura del instrumento con las lecturas de vista sobre cada punto.

C) Nivelación geométrica compuesta

Es el complemento de la nivelación geométrica simple, es empleada cuando el terreno es bastante quebrado y no alcanzamos a observar todos los puntos. Procedemos a trasladar el aparato a un punto donde tendríamos una fácil identificación.

A diferencia de la geométrica simple, en esta tomamos tres lecturas, vista atrás, vista intermedia, vista adelante.

La primera es la que hacemos sobre el BM para conocer altura del aparato. La intermedia, es la que se hace sobre los puntos a nivelar para conocer su correspondiente cota y la vista adelante es la que se hace para conocer la cota del punto de cambio.

D) Nivelación trigonométrica

La nivelación trigonométrica es muy completa pues no se tienen limitaciones como en la geométrica. Esto debido a que se realiza con teodolito y cinta, puede ser un poco más trabajosa, pero tenemos la ventaja de estar trabajando con un aparato que en determinado momento puede realizar otras funciones que no tiene el nivel.

Básicamente la nivelación trigonométrica trabaja con el teodolito y cinta, para hacer más eficiente el trabajo con el teodolito medimos ángulos verticales y con la cinta las distancias horizontales. Luego con los datos obtenidos nos vamos a las fórmulas trigonométricas y obtenemos las diferencias de nivel.

E) Nivelación barométrica

Ésta se lleva a cabo mediante el cálculo de las alturas a través de las presiones atmosféricas medidas con barómetros. Entre los barómetros, encontramos el altímetro, el cual da las alturas de forma directa, tiene la desventaja de no ser de alta precisión.

2.1.2.2. Perfil de una línea

Es la intersección del terreno con el plano vertical que pasa por la línea en estudio. Lo dibujamos mediante un sistema de coordenadas que serán elevación en el orden de las ordenadas y las distancias horizontales en el orden de las abscisas.

Cuando necesitamos nivelar una faja de terreno como para una vía, procedemos a trazar una poligonal a lo largo de la zona que se desea conocer.

Se forma un caminamiento cada 20 metros dependiendo de la precisión que necesitemos y el terreno, a cada 20 metros colocamos estacas las cuales representarán cotas de terreno y en determinado lugar, estaciones.

Luego procedemos a trazar líneas perpendiculares a la línea central con una longitud de 50 metros a cada lado de la poligonal dependiendo de las libertades que tengamos en el campo. El propósito de hacer bastante largas estas líneas perpendiculares, es que podamos esquivar obstáculos cuando realicemos el diseño de la carretera.

2.1.2.3. Cálculo del chequeo de cartera y error de cierre

Los errores en la topografía, en general, son accidentales, los errores probables en la nivelación tienden a generarse cuando vamos de un punto a otro y tomamos lecturas atrás o adelante. Como un chequeo de cartera aplicamos a la libreta de nivelación la fórmula siguiente:

$$\sum VA(+) - \sum VA(-) = \text{cota final} - \text{cota inicial}$$

Para conocer si estamos dentro de un error permisible de cierre en el replanteo de un tramo cualquiera en un levantamiento para carretera tenemos esta otra fórmula.

$$\text{Error cometido} = \text{cota obtenida} - \text{cota real (del punto de llegada)}$$

Error máximo permitido en nivelación ordinaria

$$= 2.4(\text{raíz cuadrada de } k)$$

El error cometido debe ser menor que el máximo permitido para que estemos dentro de un rango de tolerancia aceptable.

2.1.2.4. Curvas de nivel

Esta es la curva suave que une los puntos de igual cota, las cuales representan el relieve del terreno. Estos puntos son llamados puntos de cota redonda. Si en el terreno se han tomado puntos determinados y se les han establecido cotas, entonces es necesario interpolar entre éstos para encontrar puntos de cotas redondas

2.2. Mecánica de suelos

La mecánica de suelos aplica el concepto de mecánica al estudio del suelo, dando como resultado que la mecánica de suelos trata la acción de fuerzas sobre la masa del suelo. Ésta tiene la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica en el trabajo que tenga relación con sedimentos y otras partículas no consolidadas provenientes de la desintegración del mismo suelo.

Como concepto fundamental se puede definir a la mecánica como la ciencia que predice y expresa el comportamiento de las masas sometidas a fuerzas externas e internas y establece fundamentos para el uso ingenieril.

El estudio del suelo generalizando en el estado actual de los conocimientos geológicos, los datos sobre la formación de la tierra son bastante imprecisos. Las opiniones más actualizadas sostienen, que todo el sistema solar se formó al unísono a partir de una nube de gas, dentro de la cual se desplazaban circularmente, moléculas que se habrían condensado, en el correr

de unos 80 millones de años, formando un núcleo aplanado o protosol y varios planetas que giran alrededor de él.

En este conjunto, el Sol, aún frío, constituiría el 90 % de la masa original, y los planetas, el resto. Con el transcurso de millones de años, los elementos de mayor peso formarían densos núcleos rodeados de gases, fundamentalmente helio e hidrogeno, a la par que el sol también iría contrayéndose.

Alcanzaría así una densidad crítica tal que produciría tremendas reacciones nucleares. Éstas, descargando violentos chorros de partículas eléctricas, habrían calentado, hasta evaporar, los gases de los planetas más cercanos. Ya el sol brillaba en nuestro sistema. En uno de estos planetas la prototierra, los elementos radiactivos productores de calor, sumados al encogimiento de ésta, habrían aumentado su temperatura hasta fundirla. Concluida, empero, la contracción y desintegrados parcialmente dichos elementos radiactivos, se inició, según esta teoría, el enfriamiento de la corteza terrestre no así el de las capas profundas, especialmente el núcleo.

Bloques macizos comenzaron a flotar en un mar de materiales fundidos que, al progresar el enfriamiento, iban a su vez consolidándose hasta formar las primeras tierras con sus respectivas cuencas y elevaciones. La corteza, sin embargo, seguía sometida a enormes temperaturas y la evaporación era permanente.

Luego, no obstante, un momento en que por las razones ya expuestas, la paulatina disminución del calor, tanto interno como externo, acabó por condensar estos vapores y gases restantes y la consecuente precipitación diluviana conformaría los mares.

Una capa superficial de la corteza terrestre, es la que denominamos suelo siendo esta superficie el resultado de la desintegración de tipo físico, químico y por actividad humana, a la que están expuestas las rocas y la materia orgánica.

En la desintegración química tenemos como principales agentes la oxidación y la hidratación.

La oxidación es la reacción química que puede ocurrir en las rocas al estar expuestas al agua, que reacciona juntamente con el aire, produciéndose el fenómeno de oxidación. La carbonatación es el resultado del ataque por ácido carbónico, ésta se da sobre las rocas que tienen hierro, calcio, magnesio, sodio o potasio. Las más vulnerables a la carbonatación son las calizas, un ejemplo de esta desintegración son las cavernas y cuevas que se encuentran formadas a través de la exposición al ácido por muchos años.

Como agente químico la hidratación, es la combinación de agua con químicos que dan como resultado la formación de nuevos minerales. La existencia de elementos químicos es la base de todo material, el cual contiene centenares de elementos fundamentales y, por consiguiente, cuando dos elementos químicos se combinan, lo hacen siguiendo una proporción definida para cada elemento según la capacidad de enlace de sus átomos. Así elementos con idéntica fórmula química pueden diferir en la configuración especial adoptada, dando así lugar a minerales distintos en cuanto a propiedades, morfología externa, utilidad, etc.

Entre los agentes causantes de erosión o meteorización tenemos: sol, viento, agua y glaciares.

La intemperie es un proceso mecánico que se produce en todo el globo, aunque con mayor intensidad en las zonas de temperaturas extremas. En las zonas desérticas, por ejemplo, donde la falta de humedad elimina el factor amortiguador de los rayos solares, las piedras calcinadas se dilatan en forma dispareja. Este fenómeno se debe a que los cuerpos oscuros absorben más luz que los claros, los que, en cambio la reflejan en alto grado.

Es así como los minerales más oscuros, se dilatan en mayor grado que los claros, creando líneas de fuerza desiguales que acaban en la desintegración de la superficie rocosa. Colabora en el proceso la contractura que el brusco bajón de la temperatura provoca durante la noche.

El viento por su parte, a pesar de la influencia que antaño se le adjudicaba en el papel erosivo, el viento contribuye al proceso de desintegración de las rocas en una forma menor que otros agentes físicos. En efecto, el poder erosivo corresponde a los materiales por él transportados, específicamente arena, ya que el polvo no posee valor abrasivo.

Ahora bien, ni aún con los vientos más fuertes las arenas se levantan más de 2 ó 3 metros y lo que es más, el verdadero impacto se establece a menos de 40 centímetros del suelo. De cualquier manera, su acción no es desechable, máxime porque las arenas no son patrimonio del desierto, sino se hallan dispersas por todo el mundo y, fundamentalmente, donde abundan las piedras areniscas en desintegración, como son el granito y otras rocas de tipo volcánico.

El agua, en zonas frías, es el factor preponderante, acumulada ésta en las grietas durante el día, la que al congelarse por las noches se expande ampliando así la brecha dentro de la cual entrará a su vez más agua al

derretirse el hielo al día siguiente, repitiéndose el ciclo hasta la total destrucción. El mar así mismo es un importante agente corrosivo de las costas, en este caso que contribuye a formar los litorales marinos, pero su papel fundamental dentro del proceso erosivo es servir de sumidero a todos los detritos traídos de tierra firme.

Obviamente, todo ese inmenso caudal de material arrastrado debe depositarse en algún sitio. Los lugares donde esto sucede se denominan cuencas sedimentarias; y a pesar de que, como vimos, las marinas son la más importantes, las continentales no son escasas.

La desintegración subterránea, se debe al arrastre de compuestos químicos inorgánicos de lo que erosiona el agua a su paso, a lo que se suma el anhídrido carbónico de los compuestos orgánicos. Este forma al encontrar zonas calizas, bicarbonato de calcio que, precipitado gota a gota, forma las estalactitas y estalagmitas en las cavernas labradas por las aguas subterráneas.

Así mismo, los brillantes coloridos se deben a que el ácido carbónico ataca los metales que han quedado expuestos transformándolos en carbonatos y oxidándolos.

2.2.1. Tipos de suelo

Como por definición el suelo incluye a todos los materiales sin consolidar, podemos suponer que se compone de muchos ingredientes diferentes que pueden encontrarse en los tres estados o fases de la materia: sólido, líquido y gaseoso. Lo mismo es aplicable a muchas rocas que, aunque consolidadas y endurecidas, casi todas contienen materia líquida y gaseosa. Dependiendo de

su origen, habiéndose producido por la desintegración física, química y de origen orgánico.

Los más importantes sólidos son de tres clases: minerales, productos de síntesis orgánica y descomposición, materiales artificiales. Las rocas y los suelos están formados como se dijo anteriormente por minerales, los cuales tienen relación con la ingeniería civil, como lo demuestra la tabla III.

Tabla III. Principales minerales de rocas y suelos

Grupo mineral	Variedad	Dureza *	Color	Exfoliación	Peso específico relativo
Sílice	Cuarzo	7	Blanco	Ninguna	2.66
	Pedernal	7	Claro	Ninguna	
Feldespato	Ortoclasa, microlina Plagioclasa	6	Blancorosa	Ángulo recto	2.56
		6	Blancogris		2.6,2.75
Mica	Moscovita	2,2.5	Plateado	Escamosa	2.75,3
	Biotita	2.5,3	Oscuro	Fina	
Ferromagnesiano	Piroxeno: augita	5,6	Negro	Angulo recto	3.1,3.6
	Anfibola:Horblenda	5,6	Negro	Oblicuo	2.9,3.8
	Olivino	6,7.5	Verdoso		3.3
Oxidos de hierro	Limonita, magnetita	5,6	Rojo, amarillo		5.4
			Negro		
Calcita Dolomita	Cristalina aterrosa	3	Blancogris	3 caras de paralelogramo	2.7
	Cristalina aterrosa	4	Blancogris		2.8

Continuación

Minerales arcillosos	Caolinita, illita	1	Blanco	Terrosa	2.2,2.6
	Montmorilonita				
Celulosa				Fibrosa	1.5,2

Fuente: Crespo, *Mecánica de suelos y cimentaciones*, página 32.

a) Sílice

La sílice es un constituyente del suelo, se presenta en forma cristalina (cuarzo) y amorfa (pedernal, sílex y calcedonia). Es insoluble al agua, aunque ligeramente soluble en un medio básico. En forma cristalina y en la mayoría de los casos de amorfa, es dura y tenaz, no presenta exfoliación y resiste la meteorización mecánica mejor que otros importantes minerales de las rocas.

b) Feldespatos

Los feldespatos están constituidos por polisilicatos de aluminio y potasio, sodio y calcio. Frágiles, con planos de exfoliaciones pronunciados y se rompen fácilmente para formar pequeñas partículas prismáticas.

Los productos de la descomposición de los feldespatos son muy variables y dependen del tipo de feldespato y de las condiciones de la meteorización, pero se pueden incluir en tres grupos: silicatos complejos de aluminio hidratados o carbonatos solubles o semisolubles de sodio y metales similares. Los silicatos de aluminio hidratados constituyen una familia que se llama minerales arcillosos, que físicamente son muy diferentes de los feldespatos de donde provienen.

c) Micas

Las micas pertenecen a los silicatos minerales, contienen hierro, magnesio y potasio, se separan fácilmente y se rompen para formar láminas más pequeñas y finas. Se descomponen químicamente igual a los feldespatos, produciendo también minerales arcillosos, carbonatos y sílice. Sin embargo, la descomposición química no es tan rápida como en los feldespatos, por ello se encuentran con frecuencia en los suelos de regiones húmedas.

d) Ferro magnésiano

Son silicatos complejos de aluminio que contienen además hierro y magnesio; son moderadamente duros y resistentes, no tienen exfoliación pronunciada y se rompen mecánicamente en fragmentos irregulares de color oscuro. Al descomponerse forman químicamente óxidos de hierro, minerales arcillosos y silicatos.

e) Óxidos de hierro

Se presentan en estado ferroso ferrico, pueden estar presentes en la roca original y resultado de la meteorización de los minerales que contienen hierro, como la biotita o el grupo ferro magnésiano. A este se debe la coloración de los materiales, desde verdosos de las formaciones de hierro ferroso profundamente sumergidas, a los rojos brillantes y púrpura de los materiales féreos intensamente oxidados.

f) Calcita y dolomita

Estos se rompen mecánicamente en fragmentos irregulares y prismáticos, dependiendo del grado de cristalización de la roca. Los fragmentos de carbonato, especialmente los pequeños, se encuentran frecuentemente en regiones áridas y glacializadas.

2.2.1.1. Suelos inorgánicos

Éstos tienen su origen en la descomposición química y/o física de la roca, éste se subdivide en suelo residual y en suelo transportado. El suelo residual es el que permanece en el lugar donde se produce la descomposición, caso contrario el transportado.

2.2.1.2. Suelos orgánicos

Son producto de la descomposición de materia orgánica ya sea en forma de humus o materia descompuesta. Éstos se encuentran en muchos suelos superficiales, particularmente, cuando el medio ambiente no es propicio a la rápida descomposición, tal como ocurre con las capas fibrosas de raíces y sobre todo la vegetación parcialmente podrida que se acumula en las regiones pantanosas donde el agua está estancada o donde los materiales están enterrados en suelos que impiden la circulación del agua y del oxígeno.

La pudrición parcial produce ácido sulfhídrico gaseoso que es un grave peligro para los obreros en los trabajos de excavación y que acelera la corrosión de los materiales de construcción. Los productos orgánicos solubles, al lixiviarse, producen las aguas carmelitazas de los pantanos. A medida que la

putrefacción prosigue, los trozos de material orgánico pierden su identidad y se convierten en turba fibrosa casi sin estructura.

Este material es mayormente celulosa, pero a menudo está mezclado con materia mineral que se deposita simultáneamente. La turba continúa descomponiéndose, si tiene acceso al agua subterránea circulante o al aire, produciéndose gas metano; lo cual provoca explosiones peligrosas en excavaciones y túneles. Los suelos contienen grandes cantidades de raíces o de turba, son tan compresibles que si es posible, no se deben usar.

También las conchas y fragmentos de conchas y las formaciones coralinas del mar son depósitos calcáreos biológicos. La putrefacción orgánica produce ácidos húmicos que reducen el hierro ferrico a ferroso y ayudan a la descomposición de los minerales de las rocas y a la formación de las arcillas caolínicas.

2.2.1.3. Tamaño de los granos de suelo

El tamaño de las partículas de suelo es ilimitado; por definición los granos mayores, son los que se pueden mover con la mano, mientras que los finos no son tan fáciles de apreciar con el ojo humano. Las partículas resultado de meteorización mecánica rara vez son de diámetro inferior a 0.001 milímetros generalmente son mucho mayores; los procesos naturales de trituración no son muy eficientes y los granos pequeños escapan a la trituración deslizándose hacia los huecos entre los granos mayores. Las partículas de meteorización química son cristales que, en ocasiones, tienen diámetros mayores que 0.005 milímetros, aunque generalmente son mucho más finos

A continuación describimos los suelos más importantes en el trabajo del ingeniero civil, de acuerdo al tamaño de sus partículas.

a) Grava

Éstas son partículas con un diámetro mayor a dos milímetros, debiendo el origen de su forma en muchos casos al acarreo de estas por las aguas superficiales y subterráneas. El arrastre provoca una fricción de cada partícula con otra, produciendo así el desgaste de sus aristas dando una forma redonda a cada partícula. Como material suelto se le encuentra en los lechos de los ríos y en otros lugares donde han sido retransportadas.

b) Arena

Es un material fino sedimentario constituida por la denudación de rocas o de su trituración artificial, y cuyas partículas varían entre 2 y 0.05 milímetros de diámetro. Presentan composiciones muy diversas, aunque las más frecuentes y abundantes son las silíceas. Se originan por meteorización de rocas preexistentes y son muy utilizadas en la construcción. Su existencia es análoga a la grava y suelen encontrarse en los mismos depósitos.

c) Limos

Éstos son depósitos sedimentarios detríticos constituido por partículas entre 0.05 y 0.005 milímetros de diámetro. Los limos están formados esencialmente por sílice y son típicos de lagos, pantanos y aguas tranquilas, aunque también pueden ser de origen eólico, como los loes.

Los limos pueden ser orgánicos e inorgánicos. El primero suele encontrarse en ríos y lugares mencionados anteriormente, el segundo en canteras y producto de la descomposición mecánica. El limo suelto y saturado es completamente inadecuado para soportar cargas por medio de zapatas.

d) Arcillas

Éstas son resultado de la descomposición de feldespatos, micas y minerales ferro magnesiano, todos los cuales son silicatos de aluminio complejos, se produce de muchas maneras. La humedad, temperatura, ambiente oxidante, iones presentes en la solución, la presión y el tiempo; son factores que producen la mencionada descomposición.

Las partículas son sólidas con un diámetro menor de 0.005 milímetros y cuya masa tiene propiedades plásticas al contacto con el agua. Hay muchas formas de minerales arcillosos, con algunas semejanzas y grandes diferencias en composición, estructura y comportamiento. Todos son de grano extremadamente fino, con grandes áreas superficiales por unidad de masa.

La estructura de estos materiales es cristalina y complicada, y sus átomos son considerados como sueltos en forma laminar.

La mayoría de los cristales de arcilla consisten en láminas atómicas: sílice y alumina. La valencia cuatro y átomos de oxígeno de valencia dos. Cada átomo de silicio está rodeado por cuatro oxígeno cada uno de los cuales contribuye con una valencia que se eslabona al silicio central.

Las láminas de sílice comparten los oxígenos no satisfechos, con láminas de aluminio, para formar un conjunto más o menos equilibrado. La complejidad

de la lámina está acrecentada por la substitución isomorfa, que es la substitución de uno o más aluminios por magnesios. Cualquier desequilibrio que quede lo pueden satisfacer los cationes suministrados por las sales del agua circundante. En algunos casos, los cationes son compartidos por placas adyacentes. De manera similar los átomos de hidrógeno pueden desplazarse entre una y otra placa. La atracción compartida llamada enlace de hidrógeno es la que une entre sí las placas y las mantiene empaquetadas.

De acuerdo con su arreglo reticular los minerales de arcilla se pueden clasificar en:

a) Caolinita

Este es un silicato de aluminio de color blanco y brillo perlado, autuosa al tacto. Es componente fundamental de ciertas arcillas, como el caolín, y se origina por la alteración de feldespatos en un proceso denominado caolinización. El caolín, es una roca sedimentaria constituida por minerales de arcilla entre los que predomina la caolinita. Es una arcilla de aspecto terroso y de color blanco que se origina por alteración de rocas ricas en feldespatos.

La caolinita está formada por láminas de alúmina y sílice que forman un mineral arcilloso, éstas están fuertemente unidas formando bloques de 0.01 milímetro de espesor.

b) Haloisita

Pertenece a las caolinitas formada por una lámina de agua entre unidades adyacentes de arcilla. Se puede deshidratar por secado, reduciendo éste su espesor; sin embargo, no vuelve a su forma al volverla a hidratar.

C) Iilitas

Están formadas por una lámina de alúmina entre dos de sílice. Están unidas por átomos de potasio compartidos de modo que forman paquetes bastante compactos. Éstas se presentan frecuentemente en las lutitas y otros depósitos que fueron sometidos a cambios ambientales.

2.2.2. Ensayos de suelo

Base fundamental en la planificación de cualquier proyecto, puesto que proporciona herramientas básicas para que el ingeniero pueda realizar su trabajo de manera eficiente al valorar técnicamente los resultados de los análisis y pruebas de los materiales que deberán emplearse. En la actualidad todo profesional responsable somete a pruebas, estudios y ensayos el suelo sobre el cual planea ejecutar un proyecto de magnitud considerable.

Haciendo mención de los resultados obtenidos en un estudio de suelo, tendremos conocimiento de las características y clases de suelo con que contamos. Esto se verá representado cuando obtengamos garantías tanto en seguridad como en economía.

Existen varios ensayos, entre los que tenemos:

- a. Pruebas de identificación preliminar
- b. Gravedad específica
- c. Análisis granulométrico
- d. Límites de Atterberg
- e. Ensayo Proctor
- f. Densidad del suelo en el campo

- g. Razón soporte California (CBR)
- h. Equivalente de arena

Para el desarrollo de nuestro trabajo desarrollaremos los siguientes: análisis granulométrico, límites de Atterberg, Proctor, CBR.

Parte fundamental del estudio de suelo son las muestras del terreno; éstas deben ser representativas del suelo a ensayar; cualquier análisis de la muestra solo será aplicable a la propia muestra y no al material del cual procede, por consiguiente es de suma importancia que sean tomadas con base en las recomendaciones de los profesionales en el ramo y libros de texto.

Las muestras pueden ser: alteradas o inalteradas. Alteradas son las muestras que no guardan las mismas propiedades que cuando estaban en el terreno, y las inalteradas son caso contrario. Existen varias formas de extraer las muestras del terreno como por ejemplo: muestras individuales de un sondeo a cielo abierto, individuales mediante perforaciones con barrena, integrales de zanja abierta o de corte, integrales procedentes de perforaciones con barrenas, inalterada de pared de sondeo a cielo abierto o pared de corte.

A continuación describimos algunas recomendaciones para toma de muestras alteradas individuales más utilizadas.

- a) Limpiar y retirar materia orgánica y tierra seca del lugar
- b) Tomar la muestra de cada capa encontrada y almacenar por separado
- c) Empacar, identificar y salvaguardar de humedad o cualquier otro agente
- d) Describir el método con el que tomamos la muestra.
- e) Limpiar y retirar materia orgánica y tierra seca del lugar

- f) Excavar una zanja en forma de círculo con un ancho aproximadamente de 30 cm. dejando en el centro un bloque, el cual será nuestra muestra
- g) Cortar el bloque dejado en el centro cuidadosamente
- h) Darle forma al bloque, como recomendación, forma de cubo
- i) Marcar el lado que estaba pegado al suelo, para conocer la posición que tenía originalmente
- j) Cubrir con tres capas de parafina para evitar pérdida de humedad
- k) Envolver la muestra con una tela blanda y sumergir en parafina fundida
- l) Empacar, identificar y salvaguardar de humedad o cualquier otro agente.

2.2.2.1. Ensayo granulométrico

El objetivo es clasificar por tamaño las partículas que componen un suelo. Debido a la gran variedad de tamaños de los componentes existen varias formas y escalas para clasificarlos, en este caso haremos mención de los establecidos por la American Society for Testing Materials (ASTM).

Las gravas corresponden a la sección de las partículas más gruesas, que incluye los granos mayores al tamiz No. 4. La arena, las partículas menores que el tamiz No.4 y mayor que el tamiz No.200. Los finos, las menores al tamiz No.200.

Los limos y las arcillas se encuentran en el rango de 0.02 milímetros. Se debe tomar en cuenta que existen suelos aún más pequeños, pero no contienen arcillas y también, caso contrario, arcillas de un tamaño mayor a 0.02 milímetros. La siguiente tabla muestra los tamices y sus tamaños.

Tabla IV. Tamaño de aberturas de los tamices normales más utilizados

No.	Diámetro (mm)
4	4.76
6	3.36
10	2.00
20	0.84
40	0.42
60	0.25
100	0.149
200	0.074

2.2.2.1.1. Desarrollo del ensayo

El ensayo granulométrico, consiste básicamente en la adecuada preparación de la muestra, debiendo estar ésta libre de humedad, para obtener un peso bruto seco real, sin terrones o material ajeno.

Al tamizar la muestra iremos obteniendo muestras de material ya separadas y por consiguiente, el peso de cada una de ellas. Con esto ya podemos calcular el porcentaje existente en la muestra de cada tipo de material por malla con relación al peso seco de la muestra original. Luego pasamos a graficar en la curva granulométrica: en las ordenadas, se anotan los porcentajes de material por malla y en las abcisas con escala logarítmica, se anotan las aberturas de las mallas.

2.2.2.2. Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg, están desarrollados para determinar el comportamiento y las propiedades de los suelos de granos finos cuando éstos entran en contacto con el agua.

Cada límite se define por la variación de humedad que produce una consistencia determinada en el suelo, siendo éstos: límite líquido, límite plástico, límite de retracción.

Un suelo fino, por ejemplo, la arcilla, al estar ésta húmeda tiene propiedades plásticas, a simple vista y mediante el tacto, nos damos cuenta que tiene una consistencia suave y con alto contenido de humedad. Al ir ésta perdiendo el agua que contiene va adquiriendo cierto grado de dureza, conforme sigue perdiendo humedad van apareciendo grietas y un cambio de color en su textura hasta llegar a ser un suelo seco y que se desmorona fácilmente al contacto.

Este proceso que sufrió el suelo en el ejemplo es un cambio que podemos medir en un rango, en el cual al principio estaba la arcilla en un límite líquido, al perder la humedad pasó a un límite plástico.

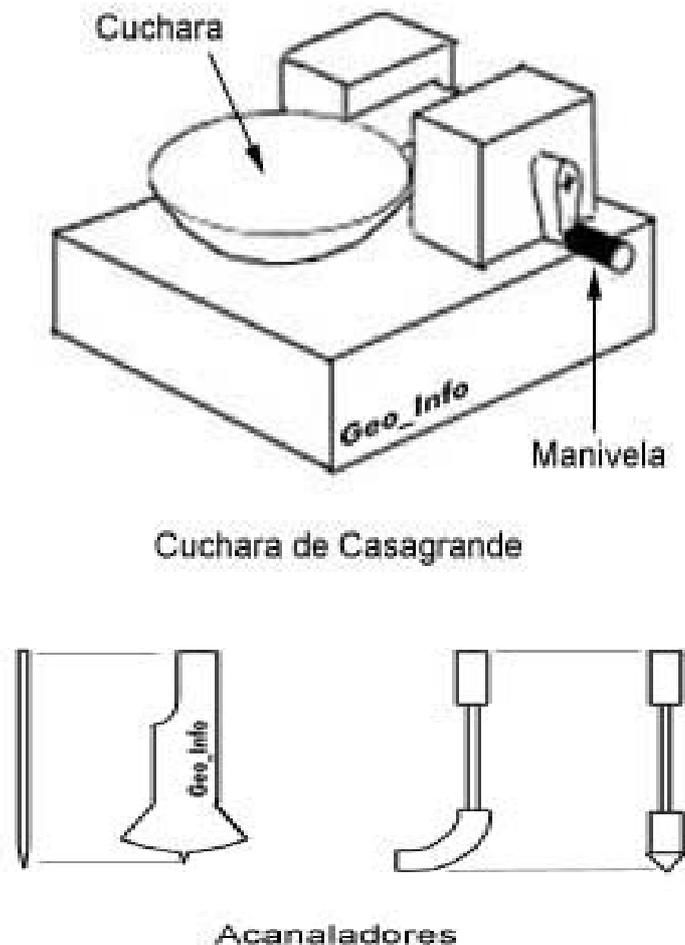
2.2.2.2.1. Desarrollo del ensayo

Pasar la muestra por el tamiz número 4 apartando unos 150 gramos en un recipiente. Luego tamizar la muestra en el número 40, desechando lo retenido, el material tamizado se coloca en un recipiente y se agrega agua mezclando bien hasta obtener una pasta homogénea.

Para este ensayo se hará uso del aparato Casagrande, siguiendo las recomendaciones del auxiliar de laboratorio.

En límite líquido, se coloca una parte de la masa en la copa del aparato Casagrande, de forma que quede al ras. Se coloca la punta del ranurador en el borde superior de la muestra, se introduce éste de manera que permanezca perpendicular a la superficie interior de la copa, dándole la forma de la cuchara como la de figura 2.

Figura 2. Aparato Casagrande y accesorios



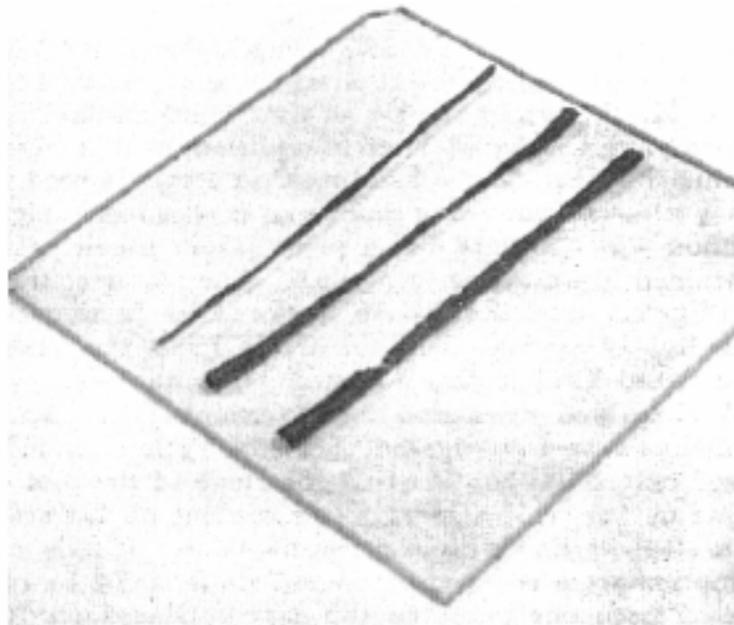
Fuente: R. Valle Rodas, Mecánica de suelos. Página 30.

Se da vuelta a la manija del aparato a razón de dos golpes por segundo, contando el número de golpes por segundo requeridos para que se cierre el fondo de la ranura. Se toma una parte de la muestra próxima a la ranura y se coloca en una tara, se pesa y se introduce al horno.

El proceso descrito anteriormente se repite aproximadamente 3 veces, incrementando cada vez la cantidad de humedad.

En límite plástico, podemos utilizar una porción de la masa utilizada en el límite líquido, seca, de forma que ésta no se adhiera a las manos. Se toma la mitad y se forma un cilindro de 1/8 pulgada de diámetro y 4 pulgadas de largo, como se muestra en la figura siguiente:

Figura 3. Resultado de amasado



Fuente: R. Valle Rodas, Mecánica de suelos. Página 31.

El objetivo de esta operación, es reducir la humedad por evaporación, hasta que el cilindro se endurezca, se agriete y se rompa; luego se parte y se coloca en el horno para obtener el contenido de humedad. Con estos datos se calcula el contenido de humedad relativa.

Lo mismo se hace con la otra mitad del rodillo formado y el promedio de estos dos datos, es el límite plástico

2.2.2.3. Ensayo proctor

Permite conocer las características de compactación del suelo: humedad óptima y densidad máxima. Estos ensayos se dividen en proctor estándar y proctor modificado.

2.2.2.3.1. Desarrollo del ensayo

Para efectos de desarrollo del proyecto, haremos el ensayo de proctor modificado.

Se pasa la muestra por el tamiz No.4, previa y cuidadosamente preparada. Se mezcla con agua hasta que esté ligeramente húmeda, se debe colocar el collar de extensión a la tara de compactación.

Se compacta el suelo dentro del molde, tratando de nivelar la superficie. Colocar el apisonador con su guía sobre el suelo en el molde y apisonar con 25 golpes, colocaremos cinco capas sucesivas de igual grosor, a manera de obtener un espesor total compactado a un nivel ligeramente arriba de la unión del molde y el collar de extensión.

Quitar el collar del molde y se enrasa la superficie de la muestra, formando una superficie plana. Se obtiene el peso del molde y la muestra compactada. Tomar parte de la muestra compactada en la parte superior e inferior, para determinar el contenido de humedad en el horno.

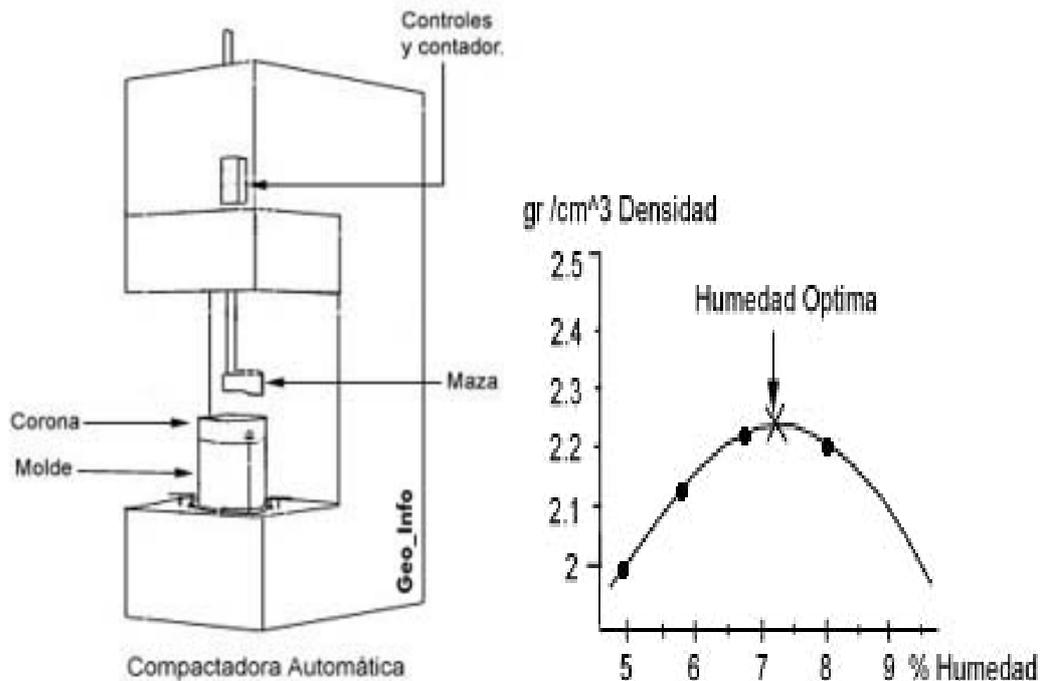
Se vuelve a colocar la muestra compactada en el molde junto con la masa en la bandeja y agregar 60 cc. de agua para suelos arenosos y 120 cc. para arcilla.

Repetimos el método anteriormente descrito hasta que el peso del espécimen del suelo compactado en el molde empiece a decrecer. Aproximadamente unas 4 determinaciones cada vez incrementando la cantidad de humedad en la masa.

Con este ensayo obtendremos el peso unitario húmedo del material, contenido de humedad y el peso unitario seco del material compactado en el molde.

A continuación, la figura 4 nos muestra una compactadora automática y una gráfica para calcular la humedad óptima.

Figura 4. Martilladora automática para ensayo proctor

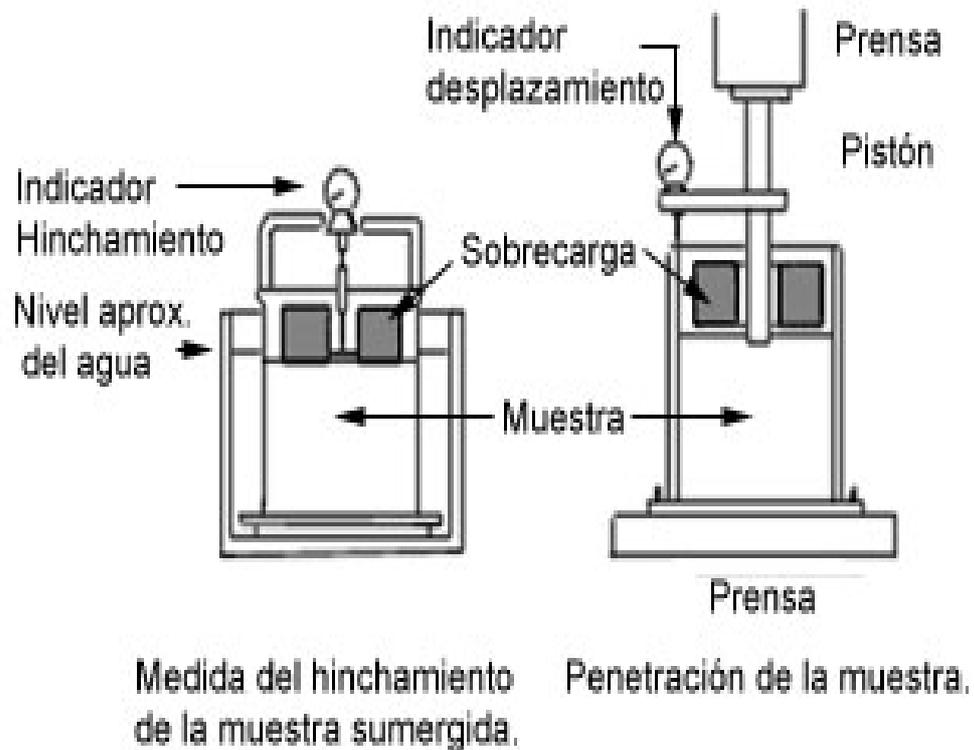


Fuente: R. Valle Rodas, Mecánica de suelos. Página 33.

2.2.2.4. Ensayo razón soporte California

Es un porcentaje del esfuerzo requerido para hacer penetrar un pistón en el suelo que se ensaya, en relación con el esfuerzo requerido para hacer penetrar el mismo pistón hasta la misma profundidad de una muestra patrón de piedra triturada bien graduada. Para el desarrollo de este ensayo utilizaremos un martillo de 18 libras, cilindro, collarín, base, espaciador y otros accesorios como los de la figura 5.

Figura 5. Instrumentos necesarios para el desarrollo del C.B.R.



Fuente: R. Valle Rodas, Mecánica de suelos. Página 33.

2.2.2.4.1. Desarrollo del C.B.R.

Utilizamos una muestra de aproximadamente 30 libras el cual se deberá pasar por el tamiz de $\frac{3}{4}$ de pulgada y rechazar el que no pase. El desechado se reemplaza por material pasado por el tamiz de $\frac{1}{4}$ de pulgada y se mezclan ambas masas para determinar la humedad óptima del material.

El sobrante del ejercicio anterior se le mezcla suficiente agua de forma de que la masa tenga el contenido de humedad necesario para tener el máximo peso unitario seco. Deberán ser conocidos los pesos de los moldes de C.B.R con sus respectivas placas soporte y discos espaciadores.

Procedemos a tomar tres muestras para ensayar de las cuales tomamos de cada una también pequeñas muestras de humedad antes de ser compactadas. Se compactan cinco capas, con el martillo de 18 pulgadas, en la primer muestra 65 golpes por capa, en el segundo, 30 golpes por cada capa y el último, 10 golpes por cada capa. La humedad de las muestras compactadas no debe ser ni mayor ni menor, en 0.5 % de la humedad óptima.

Se rasa la superficie del molde previo quitar el collarín y tomamos su peso. Colocamos un filtro de papel sobre la placa de soporte y luego se voltea el molde con la muestra compactada y lista para sumergirla en agua. Se deben tomar lecturas del hinchamiento de la muestra a diario, mediante un trípode y extensómetro, 48 horas después como mínimo se retiran los cilindros del agua y se dejan escurrir. Ver figura 6 de trípode y extensómetro sobre el molde.

Figura 6. Extensómetro para medir expansión



Fuente : Crespo, Mecánica de suelos. Página 39.

Al cilindro se le debe quitar los sobrepesos y tomar su peso, con el cual apreciaremos la cantidad de agua absorbida. Ahora está lista para la penetración en el pistón.

2.2.3. Valores de compactación y soporte para bases y sub bases

Antes de iniciar las operaciones de construcción de la sub base o base triturada, en forma continua, el contratista debe efectuar un tramo de ensayo en el ancho total de la sección típica de pavimentación, con las condiciones, equipo y maquinaria que utilizará para este efecto en la obra, con el objeto de que el delegado residente pueda determinar los valores a usar para la evaluación de la compactación.

Se deberá controlar, por medio de ensayos de laboratorio y de campo, la compactación que se debe dar al material según la maquinaria y equipo del que se dispone, para lograr la densidad especificada en el diseño de la base o sub base con una tolerancia en menos del 3% respecto al porcentaje de compactación especificado, para el control de calidad de la capa de sub base o base granular se deben efectuar ensayos representativos por cada 400 metros cuadrados de cada una de las capas que se compacten.

Las densidades de campo no deben ser efectuadas a una distancia menor de 20 metros en sentido longitudinal, sobre la superficie compactada que se esté controlando, a menos que se trate de áreas delimitadas para correcciones. De preferencia el control de compactación se debe hacer en la franja de mayor circulación del tránsito previsto y siguiendo un orden alternado de derecha, centro e izquierda del eje. Si los resultados del tramo

de prueba son satisfactorios para el Delegado Residente, la determinación de la densidad máxima, puede efectuarse por cada 10,000 metros cúbicos de material de sub base o base granular, siempre que la compactación se efectúe en idénticas condiciones que en el tramo de prueba.

La capa de sub base o base triturada debe conformarse, ajustándose a los alineamientos y secciones típicas de pavimentación y compactarse en su totalidad, hasta lograr el 100% de la densidad máxima determinada por el método AASHTO T 180; debiéndose efectuar ambas operaciones, dentro de las tolerancias establecidas por el control de calidad de los materiales y el proceso de construcción.

La densidad máxima, se debe efectuar por cada 5,000 metros cúbicos de material de sub base o base granular o cuando haya evidencia que las características del material han cambiado o se inicie la utilización de un nuevo banco y cuando el espesor de la capa a compactar, exceda de 300 milímetros, el material debe ser tendido, conformado y compactado en dos o más capas nunca menores de 100 milímetros.

La compactación en el campo se debe comprobar mediante el método AASHTO T 191; con la aprobación escrita del ingeniero, pueden utilizarse otros métodos técnicos, incluyendo los no destructivos.

2.3. Concepto y objetivo de un camino balastado

2.3.1. Concepto de balasto

Material selecto cuya función es proteger la subrasante de un camino de terracería, deberá estar colocado el contenido de humedad adecuado para

lograr una compactación mínima hasta el 95% de la densidad máxima y por consiguiente una impermeabilidad y uniformidad que sean capaces de soportar la meteorización natural y los esfuerzos por carga del tránsito vehicular. Se debe colocar la capa de balasto inmediatamente se termine la subrasante sin dejar de cubrir en una longitud mayor de 2 kilómetros.

Deberán ser retirados del proyecto los materiales provenientes de la capa vegetal y los altamente orgánicos, constituidos por materias vegetales parcialmente carbonizadas o fangosas. Cuando se encuentra este tipo de material, se deberá retirar hasta 30 centímetros por debajo de la subrasante y deberá estar libre de partículas de materiales orgánicos, raíces o cualquier otro material ajeno a éste.

Es importante verificar la calidad de los bancos de materiales de balasto en base a ensayos en laboratorio o experiencia del supervisor de obra y del contratista. Este material será de un peso unitario suelto, no menor de 1,450 Kg./metro³ (90 lb./pie³) determinado por el método AASHTO T 19.

Para el cálculo de material, dependerá de las necesidades y del criterio del constructor, puesto que para el caso de un camino de penetración, el mínimo de espesor es de 10 centímetros y un máximo de 25, debiendo considerar un porcentaje de desperdicio de acuerdo en parte a la distancia de acarreo que se tenga, pudiendo estimarlo de un 3 a un 5% del total requerido.

2.3.2. Objetivo de un camino balastado

Es difícil que un vehículo promedio pueda transitar sobre una superficie que se caracterice por tener materiales sueltos y muy vulnerables a la humedad, sobre todo cuando se intenta acceder a alguna población que se

encuentra a una elevación considerable. Principalmente el objeto de un camino balastado, es cambiar esas condiciones en la superficie del terreno protegiéndolo de la manera siguiente.

Contribuye fuertemente a la capacidad de soportar cargas de la superficie subrasante, distribuyendo dichas cargas de una mejor forma y haciendo de ésta un bloque con mejores condiciones de resistencia.

En general, forman un conjunto con partículas minerales mejor unidas con mejores condiciones impermeables y con materiales más complejos y variados. Tiene la desventaja que al no estar compactada de una manera correcta, reducimos el tiempo de utilidad que proporciona este material.

Por consiguiente, es fundamental hacer la compactación siguiendo las especificaciones necesarias, experiencia y resultados de ensayos de laboratorio para lograr la compactación que ofrezca los mejores resultados a los requerimientos y exigencias del trabajo en campo.

2.4. Capas que componen el pavimento

2.4.1. Terreno natural

Esta es la franja de terreno incluida en el derecho de vía, cuyo estado de esfuerzo original resulta afectado por la construcción de la obra vial y que recibe las cargas de tránsito distribuidas a través de la estructura.

En general, cuando la resistencia del terreno natural es mayor que 1 Kg/cm² y los terraplenes o cortes no son mayores que 3m, el comportamiento de la estructura es adecuado. Sin embargo, cuando no se tienen estas condiciones se requiere ejecutar estudios de mecánica de suelos relativos a resistencia y deformación, mediante pruebas triaxiales y de consolidación, así como estudios de estabilidad de los taludes. De todas formas, es conveniente que una vez aceptada la ruta por donde se construirá la obra se realice estudios geológicos, de la mecánica de suelos, hidráulicos e hidrológicos para hacer un mejor proyecto y ejecución de la construcción.

Como una forma más apegada al estudio del terreno lo definimos como superficie terrestre compuesta por suelos y materias variadas, así como muchas otras partículas y minerales propios del lugar sobre el cual necesitamos desarrollar un proyecto.

Como su nombre lo indica a éste lo encontramos en su estado natural por eso lo sometemos a estudios para luego darle un diseño que nos permita desarrollarnos sobre él.

El éxito del proyecto dependerá del análisis y estudio que se le realice a todos los elementos que forman el terreno natural. Debido a esto es que la exploración del suelo es indispensable de cualquier proyecto de ingeniería civil.

Este terreno natural en ciertos casos es necesario someterlo a tratamientos para mejorar sus propiedades, de manera que pueda soportar las condiciones climáticas del lugar, de manera que si tenemos un suelo en estado natural a un lado de nuestra subrasante, éste no produzca efectos negativos a nuestro proyecto.

2.4.2. 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 que corresponde al tránsito previsto. Esta subrasante deberá estar conformada de preferencia con suelos granulares con menos de 3% de hinchamiento de acuerdo con el ensayo AASHTO T 193 (CBR). Ver tabla V.

Tabla V. Clasificación del suelo según AASHTO 193

CBR	CLASIFICACIÓN CUALITATIVA DEL SUELO	USO
2 A 5	Muy mala	Sub - rasante
5 A 8	Mala	Sub - rasante
8 A 20	Regular a buena	Sub - rasante
20 A 30	Excelente	Sub - rasante
30 A 60	Buena	Sub - base
60 A 80	Buena	Base
80 A 100	Excelente	Base

Fuente: Asiss A-. 1988

Las principales funciones de la capa subrasante son:

- a) Recibir y resistir las cargas del tránsito que le son transmitidas por el pavimento.
- b) Transmitir y distribuir de modo adecuado las cargas del tránsito al cuerpo del terraplén.
- c) Estas dos funciones son estructurales y comunes a todas las capas de las secciones transversales de una vía terrestre.
- d) 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.

- e) Evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes se reflejen en la superficie de rodamiento.
- f) 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, 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. Esta línea marca la altura de las terracerías y por tanto su espesor, que la mayoría de veces es mayor que el necesario en la estructura.

En el proyecto geométrico de la subrasante económica es preciso tomar en cuenta:

- a) Las especificaciones de la pendiente longitudinal de la obra.
- b) Que la subrasante tenga la altura suficiente para dar cabida a las obras de drenaje.
- c) La altura conveniente para la subrasante, a fin de que el agua capilar no afecte el pavimento.

d) Que la subrasante provoque los acarreos más económicos posibles.

2.4.2.1. Construcción de la capa subrasante

En los procedimientos de construcción, los materiales se deben compactar con el equipo más adecuado, de acuerdo con sus características. 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 y 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.

2.2.4.2. Estabilización de la subrasante

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 estabilizadores para mejorar 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.

Este trabajo consistirá en el procesamiento e incorporación de materiales como cal hidratada, cemento hidráulico, productos químicos y otros más a la subrasante natural, 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 esta capa.

2.4.3. Sub base

Es la capa de la estructura del pavimento, que tiene entre sus funciones la de transición entre el material de la base y la subrasante. La sub base, más fina que la base, actúa como filtro de ésta e impide su incrustación en la subrasante, destinada fundamentalmente a 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 subrasante las pueda soportar.

Tiene una especial razón económica, puesto que necesitamos formar el espesor requerido del pavimento, deberíamos de hacer todo el espesor con material de buena calidad como el de la base, por consiguiente, esto repercutiría en un aumento en el costo del proyecto; sin embargo, tenemos la opción de reducir el espesor de la capa de base y colocar una sub base de menor calidad.

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 de espesor en una capa de sub base.

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 como mínimo los siguientes requisitos.

- a) Valor soporte: el material debe tener un CBR, AASHTO T 193, mínimo de 30%, efectuado sobre muestra saturada a 95% de compactación, AASHTO T 180 o AASHTO T-90, mayor de 50%.
- b) Tamaño de las partículas: el material de sub base no debe tener más del 50% en peso, de partículas que pasen el tamiz 0.425 mm, ni más del 25% en peso, de partículas que pasen el tamiz 0.075 mm.
- c) Equivalente de arena: no debe ser menor de 25%, determinado por el método AASHTO T 176.
- D) Plasticidad: la porción que pasa el tamiz 0.425 mm, no debe tener un índice de plasticidad aashto t 90, mayor de 6% ni un límite líquido, aashto t 89, mayor de 25%, determinados ambos, sobre muestra preparada en húmedo, aashto t 146. cuando las disposiciones especiales no indiquen expresamente, el índice de plasticidad puede ser más alto, pero en ningún caso mayor de 8%.

2.4.4. Base

Compuesta de material selecto colocada sobre la sub base o subrasante, destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el

tránsito, a las capas subyacentes. Esta tendrá un espesor máximo de 35 cm. y mínimo de 10 cm.

2.4.4.1. Construcción de bases y sub bases

Los procedimientos incluidos en etapas de muestreo y pruebas preliminares se presentan a continuación.

Exploración: se requiere efectuar un reconocimiento completo de la zona donde se construirá la obra vial, a fin de encontrar posibles bancos para la pavimentación. Para este propósito son muy útiles las fotografías aéreas y hacer reconocimientos de tipo terrestre ya sea a pie, en vehículo o a lomo de bestia.

Los materiales con que se pueden construir son gravas, arenas de río, depósitos, materiales ligeros o fuertemente cementados o roca masiva. Cuando los materiales finos son de baja plasticidad se comportan muy bien en estas capas; en cambio, otros materiales que a simple vista parecen resistentes pueden comportarse mal en las bases.

2.4.4.1.1. Requisitos que deben cumplir los materiales para base

- a) Valor soporte: C.B.R. mínimo de 90 % según AASHTO T-193, sobre muestra saturada a 95% AASHTO T-180.
- b) La porción retenida en el tamiz No. 4 no debe tener un desgaste por abrasión mayor del 50% a 500 revoluciones AASHTO T-96.

- c) Graduación del material: hecho según AASHTO T-27 y T-11.
- d) Plasticidad : la porción del tamiz No. 40, no debe tener un índice de plasticidad mayor de 3% ni un límite líquido mayor de 25%.
- e) Material más fino que el tamiz No. 200: el porcentaje que pasa el tamiz N° 200, debe ser menor que la mitad del porcentaje que pasa el tamiz N° 40.
- f) Equivalente de arena: mayor o igual a 40%, según AASHTO T-176
- g) Material de relleno: constituido por material arenoso, limo orgánico, polvo de roca con alto porcentaje de partículas que pasan el tamiz No. 10.

2.4.4.1.2. Requisitos que deben cumplir los materiales para base granular

Concepto: Capa conformada por piedra o grava clasificadas sin triturar, o solamente con trituración parcial cuando sea necesario para cumplir con los requisitos de graduación, combinada con arena y suelo, en su estado natural.

- a) Valor soporte: Un C.B.R. mínimo de 70%, AASHTO T-193, sobre muestra saturada al 95% de compactación, AASHTO T-180, con un hinchamiento máximo de 0.5%, AASHTO T-193.
- b) La porción de agregado retenida en el tamiz N° 4, no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión determinado por el método AASHTO T 96, mayor de 50 a 500 revoluciones.

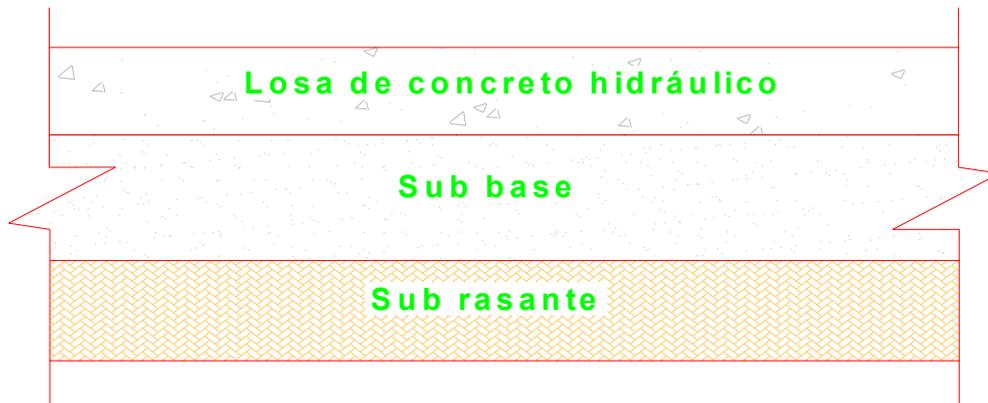
- c) Graduación: el material para capa de base granular debe llenar los requisitos de graduación, determinada por los métodos AASHTO T 27 y AASHTO T 11.
- d) Plasticidad y cohesión: la fracción que pasa el tamiz N° 4, incluyendo el material de relleno, no debe tener en la porción que pasa el tamiz No. 40, un índice de plasticidad mayor de 6% para la sub base y la base, determinado por el método AASHTO T-90, un límite líquido no mayor de 25%, según AASHTO T-89, determinados ambos sobre muestra preparada en húmedo de conformidad con AASHTO T 146, el equivalente de arena no debe ser menor de 30%, AASHTO T-176.
- e) 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 N° 10.

2.4.5. Carpeta de rodadura

Ésta es la capa final y superficial de un pavimento, la cual debe tener una superficie que proporcione las mejores condiciones de seguridad, comodidad y calidad al tránsito de vehículos que la utilicen.

Esta capa es la receptora directa de la carga aplicada por los vehículos y tiene como objetivo principal dar mayor soporte y proteger las estructuras o capas inferiores, para evitar su deterioro. Ver figura 7.

Figura 7. Capas que formarán el pavimento rígido



2.5. Análisis del volumen de tránsito

2.5.1. Estudio de volumen de tránsito

Conocer las características del tránsito que utiliza o utilizará un camino en operación o que se habrá de construir, es vital para el proyecto de la sección transversal de una vía y se convierte en el elemento principal que se debe tomar en cuenta, pues el transporte terrestre es el motivo de la obra. Los estudios sobre volúmenes de tránsito son realizados con el propósito de obtener información relacionada con el movimiento de vehículos de cada tipo que circulan por las carreteras. Estos datos se expresan en relación con el tiempo, y de su conocimiento se hace posible el desarrollo de metodologías que permiten estimar de manera razonable, la calidad del servicio que el sistema presta a los usuarios.

Existen diversas formas para obtener los recuentos de volúmenes de tránsito, para lo cual se ha generalizado el uso de aparatos de medición de diversa índole, entre los que se encuentran las que siguen.

Conteos mecánicos o automáticos: este tipo de conteo de vehículos se realiza en estaciones semipermanentes, una vez al año con duración de una semana.

Conteos manuales: los conteos manuales son hechos cuando los datos deseados no se pueden obtener con un equipo contable mecánico o automático. Una ventaja de los conteos manuales es, la clasificación de vehículos por tipo como lo describe la siguiente tabla.

Tabla VI. Clasificación de vehículos según la Dirección General de Caminos

Categoría	Tipo de vehículo
1	Automóviles, panels, jeeps
2	Pick-up
3	Camión de 2 ejes
4	Camión de 3 ejes
5	Microbuses
6	Autobuses
7	Camiones de cuatro o más ejes

La suma de las categorías 3,4,6 y 7 componen el tránsito pesado, cuya importancia es definitiva en los criterios de capacidad y diseño. Las categorías 1,2 y 5 integran el tránsito liviano.

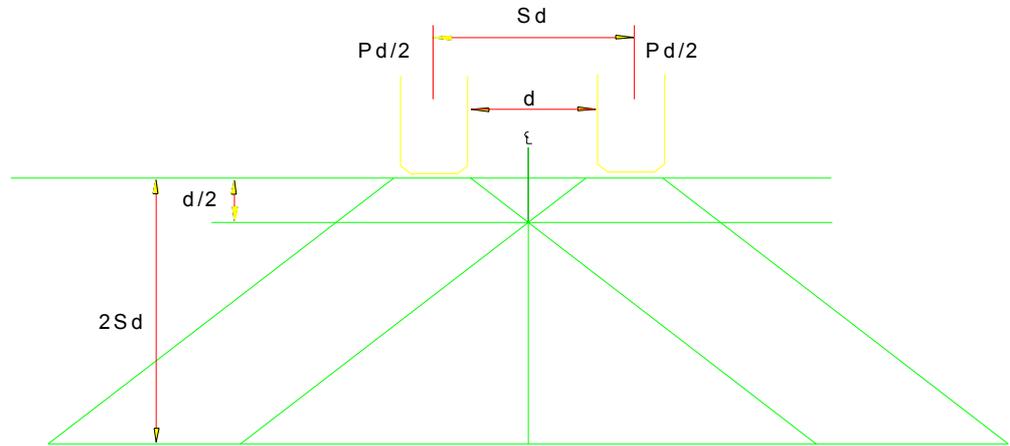
2.5.2. Especificaciones para ejes de camiones

Se debe considerar la composición del tráfico total, porque por ejemplo para un camino secundario se puede escoger como vehículo de proyecto uno que tenga un peso de 17 toneladas, en cambio, para una autopista sería mejor elegir uno de 60 toneladas.

Las ruedas de los ejes o piernas se convierten en una rueda equivalente que provoque los mismos esfuerzos iguales deformaciones que todas, de acuerdo con el efecto considerado. A continuación describiremos el método del departamento de transportes desarrollado por Mc. Leod.

Este consiste en encontrar la carga en la rueda equivalente que producen los mismos esfuerzos que la combinación de ruedas reales, a la profundidad deseada. En este proceso, se acepta que no es sino hasta una profundidad igual a la mitad de la distancia entre las caras interiores de las ruedas en tandem, cuando hay interacción doble de la distancia entre los centros de las mismas, el esfuerzo que se causa es igual al que provoca la carga de ambas ruedas. Entre las dos profundidades mencionadas, la carga equivalente varía en forma recta entre la carga de una de ellas y la correspondiente a ambas, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 8. Interrelación de esfuerzos producidos por los ejes del camión



Fuente : Fernando Olivera. Estructuración de vías terrestres, página 237.

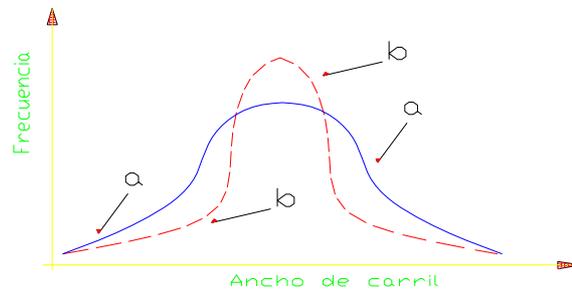
2.5.3. Carga máxima utilizada en Guatemala

En Guatemala, como en otros países, se utiliza como estándar un eje sencillo con ruedas simples, que soporta una carga total de 9 toneladas o 18000 libras, o sea 2.5 toneladas por rueda.

Los vehículos de un cierto tipo que transitan sobre un carril de determinadas dimensiones, tienen la posibilidad de variar su posición en el carril, de tal manera que hacia las orillas haya menos pasadas en cambio, hacia el centro está la mayoría de las operaciones, si lo anterior se expresa por medio de una curva de frecuencias, se tienen las que se presentan en las figuras siguientes. Si los vehículos tienen bastantes posibilidades de variar su posición en el carril, entonces la curva es achatada (curva a) y de poca altura; en cambio si hay pocas opciones de que la posición varíe, la curva es más esbelta (curva b).

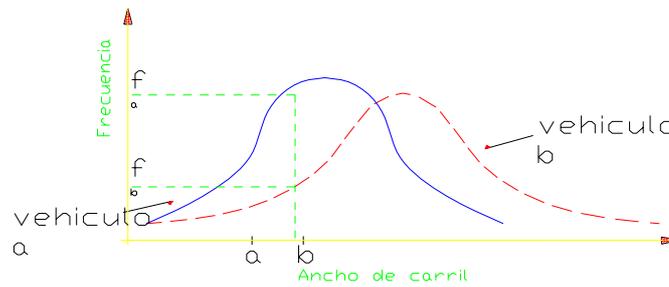
Si en el carril de estudio hay diferentes tipos de vehículos, cada uno tendrá una curva de frecuencias como la de a y b de las siguientes figuras.

Figura 9. Curvas de frecuencia de la posición de los vehículos a lo ancho de un carril de tránsito (a) mayor variabilidad; (b) menor variabilidad



Fuente: Fernando Olivera. Estructuración de vías terrestres, página 246.

Figura 10. Curvas de frecuencia para dos tipos diferentes de vehículos que operan en un mismo carril



Fuente: Fernando Olivera. Estructuración de vías terrestres, página 246.

2.6. Pavimento rígido

2.6.1. Pavimento de concreto de cemento Portland

La carpeta de rodadura de un pavimento rígido 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 y de las adyacentes, que trabajan en conjunto con la que recibe directamente las cargas.

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 sub 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 sub base, que se construyen sobre la capa subrasante. La construcción de ésta estará de acuerdo con los planos, incluyendo la fabricación y suministro del concreto estructural, calidad especificada para uso estructural producto de la mezcla y combinación de cemento hidráulico, agregados, agua y aditivos en las proporciones adecuadas y el manejo, colocación, compactación, acabado, curado y protección del concreto de acuerdo a los lineamientos establecidos, espesores y secciones típicas de pavimentación, dentro de las tolerancias estipuladas, de conformidad con estas Especificaciones Generales y Disposiciones Especiales.

En los planos de sección típica de pavimentación, se deberá indicar el año base utilizado para el diseño del pavimento, el período de diseño, el total de ejes equivalentes de 80 KN y el módulo de reacción de la subrasante utilizado para el carril de diseño durante el período correspondiente, el espesor de la capa de concreto hidráulico con sus respectivas clases, los tipos de juntas, y la colocación del acero de refuerzo, si es necesario, de acuerdo con lo especificado en las disposiciones especiales.

2.6.1.1. Especificaciones para materiales de concreto para pavimentos

Cemento Portland: el cemento es un aglomerante hidráulico finamente molido. Bajo aglomerante hidráulico se entiende a su vez un material, el cual se endurece tanto al aire como también bajo el agua, una vez mezclado y amasado con agua. Según el tipo transcurrido entre el agregado amasado con agua se habla de un cemento en estado espesante, estado de fraguado y finalmente estado endurecido.

La piedra de cemento así originada es una piedra resistente al agua, en comparación con otros aglomerantes hidráulicos el cemento demuestra tener una mayor resistencia a la rotura por compresión, la cual deberá tener un valor mínimo de 32.5 N/ mm² después de 28 días.

2.6.1.2. Agregados

Los agregados o áridos existen de origen natural y sin triturar y triturados o partidos. Los primeros se obtienen de canteras de gravas, ríos o lagos

generalmente tienen forma redonda y los segundos por medio de la trituración de materiales explotados en canteras.

Los agregados para el hormigón normal deberán ser preparados adecuadamente, es decir, deberán ser separados de acuerdo a su granulometría y además, si fuera necesario, lavados para quedar exentos de sustancias nocivas tales como limos o arcillas. Deberán tener una estructura sólida y su densidad aparente deberá ser de entre 2.6 y 2.8 Kg/m³ ver tabla VII.

Tabla VII. Agregados para concreto normal

Áridos naturales		Áridos artificiales
No triturados	Triturados	
arena y grava	arena de trituración	arena de altos hornos
de cantera,	gravilla	gravilla de escoria de altos hornos
ríos, lagos	piedra partida	de industrias siderúrgicas

Fuente: Rixner Sepp. Fundamentos del concreto, página 29.

La mezcla de agregados deberá ser, dentro de lo posible, de grano grueso y pobre en espacios vacíos. El tamaño máximo de los agregados deberá ser elegido de conformidad con los procesos de mezclado, transporte, colocación y preparación del concreto.

Estas recomendaciones únicamente son un preludeo a una serie de prescripciones, directivas y medidas a adoptar.

2.6.1.2.1. Agregado fino

Debe consistir en arena natural o manufacturada, compuesta de partículas duras y durables de acuerdo a las especificaciones de agregados para concreto.

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, dividida entre 100: 3", 1½", ¾", ⅜", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100.

La graduación del agregado debe estar dentro de los límites de la siguiente tabla:

Tabla VIII. Graduación de los agregados

Tamices AASHTO M 92	Porcentaje que pasa
3/8"	100
No.4	95-100
No.8	80-100
16	50-85
30	25-60
50	10-30
100	2-10
200	0- 5

Fuente: Especificaciones Generales para Carreteras y Puentes, página 551-3.

2.6.1.2.2. Agregado grueso

El porcentaje de partículas friables (o desmenuzables) y/o de terrones de arcilla no debe exceder del 5% en masa, pero el contenido de terrones de arcilla no debe ser mayor de 0.25 % en masa, debiendo cumplir con los requisitos de AASHTO M 80 y ASTM C 33. El porcentaje de partículas planas y de partículas alargadas o alternativamente, que su longitud sea mayor de 5 veces el espesor promedio, según se establezca en las disposiciones especiales, no debe sobrepasar de 15% en masa.

La graduación del agregado grueso, debe satisfacer a las especificaciones generales, de acuerdo a las graduaciones siguientes:

Tabla IX. Graduación del agregado grueso

GRADUACIÓN ASSHTO M 80		(2 ½")	(2")	(1 ½")	(1")	(¾")	
N°7	12.5 a 4.75 mm (½" a N°4)	-	-	-	-	100	
N°67	19.0 a 4.75 mm (¾" a N°4)	-	-	-	100	90-100	
N°57	25.0 a 4.75 mm (1" a N°4)	-	-	100	95-100	-	
N°467	38.1 a 4.75 mm (1 ½" a N°4)	-	100	95-100	-	35-70	
N°357	50.0 a 4.75 mm (2" a N°4)	100	95-100	-	35-70	-	
N°4	38.1 a 19.0 mm (1 ½" a ¾")	-	100	90-100	20-55	0-15	
N°3	50.0 a 25.0 mm	100	90-100	35-70	0-15	-	

Fuente: Especificaciones Generales para Carreteras y Puentes, página 551-4.

2.6.1.3. Aditivos

Bajo la denominación de aditivos se entienden sustancias sólidas o líquidas que son agregadas al hormigón en cantidades relativamente pequeñas. Los aditivos inciden sobre las propiedades del concreto fresco y del sólido debido a cambios químicos o físicos.

Al emplearse este tipo de aditivos también se deberá determinar por medio de exámenes o controles de aptitud si ello conduce a la obtención de las propiedades deseadas. Solo se podrán utilizar aditivos con sello de calidad válido.

Las cantidades a añadir no podrán quedar por debajo ni tampoco sobrepasar las cantidades fijadas en el informe de ensayo. Con excepción de aditivos fluidificantes no se le podrán agregar al concreto diferentes aditivos de efecto similar. Se debe poner atención sobre efectos de aumento ilimitado para no tener resultados negativos.

Según su efecto sobre el concreto los aditivos son subdivididos en ocho grupos individuales como lo indica la siguiente tabla:

Tabla X. Efectos y denominación de los aditivos para concreto

Grupo de efecto	Abreviatura	Color de identificación
Aditivos fluidificantes	BV	amarillo
Aditivos plastificantes	FM	gris
Aditivos incorporadores de poros	LP	azul
Aditivos impermeabilizantes	DM	marrón
Aditivos retardadores de fraguado	VZ	rojo
Aditivos aceleradores de fraguado	BE	verde
Medios auxiliares para la inyección	EH	blanco
Aditivos estabilizadores	ST	violeta

Fuente: Rixner Sepp. Fundamentos del concreto, página 37.

a) Aditivos plastificantes BV

Este tipo de aditivo provoca una mejor trabajabilidad del hormigón fresco sin el agregado adicional de agua. El cemento y los agregados son humedecidos en forma más efectiva gracias a la reducción de la tensión superficial del agua de amasado.

El hormigón se puede transportar, compactar o vibrar, aplanar o enrasar y alisar con mayor facilidad. Otra posibilidad es la de disminuir la cantidad de agua para el amasado en aproximadamente de 5 al 15 % pero manteniendo constante la consistencia del hormigón originalmente seleccionada. Los plastificadores pueden conducir a un incremento en la retracción del hormigón y a una mayor formación de poros.

b) Aditivos fluidificantes FM

Los aditivos fluidificantes aumentan el desparramado del concreto fresco facilitando paralelamente y hasta cierto grado la compactación del hormigón. Las fuerzas de fricción entre el cemento y los agregados dentro de la mezcla disminuyen el requerimiento de agua .

El efecto fluidificante sólo es efectivo por un tiempo limitado aproximado de 15 a 45 minutos luego del agregado del aditivo fluidificante a la mezcla, dependiendo el efecto en el alto grado de la temperatura ambiente durante el proceso de hormigonado. Aún con una mayor fluidez, la resistencia a la compresión y las demás propiedades del hormigón se mantienen constantes, ya que el factor A/C no cambia. En general, los aditivos fluidificantes son agregados en el caso de concreto transportado, recién momentos antes de la entrega del concreto en la obra.

c) Aditivos incorporadores de aire LP

Estos aditivos, favorecen la formación artificial de microporos en el hormigón, aumentando así su capacidad de resistir heladas y el efecto corrosivo de sales para el deshielo. Justamente elementos de hormigón como también revestimientos de calzadas y pistas de despegue y aterrizaje, todos ellos expuestos a menudo alternadamente a temperaturas por encima y por debajo de la temperatura de heladas, requieren este tipo de resistencia.

Aditivos impermeabilizantes DM: la absorción de agua también la penetración de agua dentro del hormigón podrá ser reducida por medio de los aditivos impermeabilizantes. Los aditivos reaccionan con los componentes del hormigón suspendiendo el efecto de succión de los poros capilares.

Un concreto debidamente elaborado y compactado, no podrá ser mejorado por aditivos impermeabilizantes.

d) Aditivos retardadores de fraguado VZ

Los aditivos retardadores de fraguado influyen, tal como lo indica su nombre, sobre el tiempo de curado del concreto fresco en el espacio de aproximadamente 2 a 12 horas. Los aditivos retardadores son empleados ante todo en el caso de temperaturas ambientes altas y en el caso de interrupciones previsibles del proceso de hormigonado.

Los aditivos retardadores reducen el incremento de la temperatura del concreto evitando la posible formación de fisuras. Al ser utilizados aditivos

retardadores la resistencia a la compresión del concreto es mayor después de 28 días y también tiempo posterior.

e) Aditivos aceleradores de fraguado BE

Estos aditivos deberán tener el efecto exactamente opuesto, debido a que aceleran el proceso de endurecimiento o también el curado del concreto. Esta reacción lleva a una formación más rápida de los productos de hidratación que aumentan la resistencia, y con ello, una mayor resistencia inicial.

Los aditivos aceleradores son utilizados ante todo para el proceso de inyección de concreto y en temperaturas extremadamente bajas y en fábricas de premoldeados y prefabricados en hormigón donde muchas veces es necesario tener los moldes a disposición en forma rápida.

f) Medios auxiliares para la inyección EH

Son empleados para mejorar el movimiento del mortero de inyección en el caso de hormigón pretensado. Además contribuyen a envolver completamente los elementos de tensado y reducen a la par la retracción del mortero

g) Aditivos estabilizadores ST

Son empleados para disminuir el afloramiento de la lechada de cemento o morteros y también para evitar fenómenos de disgregación en hormigones con un porcentaje de mortero reducido.

Con estabilizadores la mezcla se torna más homogénea, cremosa, más fácilmente de elaborarse o manipulable y mejora la consistencia interior de la mezcla.

2.6.2. Calidad del concreto

El concreto de cemento hidráulico para pavimentos, debe dosificarse y producirse para asegurar una resistencia a la compresión promedio lo suficientemente alta, para minimizar la frecuencia de resultados de ensayos por debajo del valor de resistencia a la compresión especificada ($f'c$) requerida.

Para pavimentos de carreteras principales 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, que llene todos los requisitos de la tabla XI.

Tabla XI. Composición del Concreto de Cemento Hidráulico para pavimentos

Relación Agua Cemento Máxima	Temperatura del concreto	Asentamiento AASHTO T 119	Contenido de aire mínimo	Para tránsito promedio diario anual 5000 vehículos	Resistencia a la compresión AASHTO T-22	Resistencia a la flexión AASHTO T 97
0.49	20 + 10 ° C	40 + 20 mm	4.50%	5000	28 MPa (4,000 psi)	4.5 MPa (650 psi)

Fuente: Especificaciones Generales para Carreteras y Puentes, página 551-2.

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.

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.

2.6.3. Diseño de mezclas para concreto

La mezcla dependerá de las exigencias especiales para el concreto y entre otros también la resistencia inicial. Las clases de concreto se indican a continuación en la tabla XII y se deben emplear de acuerdo a lo indicado en los planos y disposiciones especiales.

Tabla XII. Clases de concreto

CLASE DE CONCRETO	RESISTENCIA A 28 DÍAS	
	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)

Fuente: Especificaciones Generales para Carreteras y Puentes, página 551-1.

El método para diseñar mezclas preferentemente es el proporcionamiento por volumen absoluto de los componentes del concreto del ACI y 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 diseñamos una mezcla, debemos considerar varios factores que serán 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 factores podemos mencionar:

Trabajabilidad y consistencia adecuadas: lo que permitirá su fácil manejo y colocación dentro de las formaletas y alrededor del refuerzo, según sea el caso.

Resistencia a aguas o suelos agresivos: puesto que tendrá contacto directo con éstos y a otras condiciones especiales de exposición.

Las proporciones del concreto, incluyendo la relación agua / cemento o agua / materiales cementantes, 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.

Dependiendo de los requerimientos del proyecto se podrá utilizar como base para las proporciones del concreto, los límites máximos de la relación agua / cemento, o los contenidos mínimos de cemento en porcentaje, indicados en la tabla XIII. Esta tabla se deberá usar únicamente para concreto fabricado con cementos de clase de resistencia de 28 MPa (4,000 lb/pulg²) o mayor y no será aplicable a concretos con agregados livianos o con aditivos que no sean incorporadores de aire. La aplicación de este método para estimar las proporciones, no elimina el requisito de cumplir con los criterios de aceptación de los ensayos de resistencia a la compresión.

Tabla XIII. Proporcionamiento del concreto basado en la relación agua cemento máxima y del contenido de cemento mínimo

Clase de concreto	Relación agua/cemento máxima		Contenido mínimo de cemento
	Agua/cemento	Litros/saco	Sacos de 42.5 kilogramos
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

Fuente: Especificaciones Generales para Carreteras y Puentes, página 551-14.

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

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 la tabla anterior.

2.6.4. Control agua cemento

2.6.4.1. Agua

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

Proceso de hidratación: bajo lechada de cemento se comprende una mezcla fresca de cemento y agua. Los granos de cemento individuales están rodeados por envolturas formadas por agua dentro de la lechada de cemento y

son, por lo tanto, fácilmente desplazables uno respecto al otro. De aquí se origina una unión rígida, gracias al proceso de hidratación.

Este proceso de fraguado o también endurecimiento del cemento se funda en la formación de uniones acuosas, las fases de hidratación, originadas durante la reacción entre los componentes y el agua de amasado. Para el fraguado es decisiva la reacción entre el aluminato tricálcico y el sulfato de calcio (yeso) y para el endurecimiento y la hidratación de los silicatos de calcio.

El cemento puede retener química y físicamente aproximadamente una cantidad de agua equivalente a un 40% de su masa. En este caso se habla de una relación o factor agua cemento A/C de 0.40%. Si la relación es mayor, el resto es agua en exceso. En la piedra artificial de cemento quedarán, al evaporarse esta agua en exceso, poros capilares muy ramificados y de un alto grado de absorción.

Naturalmente disminuye paralelamente la impermeabilidad de la piedra artificial de cemento y con ello marcadamente la calidad del hormigón sólido.

2.6.4.2. Relación agua cemento

La relación agua cemento (abreviado A/C) juega un rol de importancia en las propiedades de la piedra artificial de cemento. El factor A/C indica la relación en peso entre el agua y el cemento. Con un factor A/C entre 0.2% y 0.3% se forma por ejemplo una pasta casi no utilizable en la práctica que con valores ascendentes del factor A/C 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%.

3. DISEÑO DEL CAMINO DE PENETRACIÓN QUE CONDUCE DE GUASTATOYA HACIA LA ALDEA EL CALLEJÓN, DEPARTAMENTO DE EL PROGRESO

3.1. Trabajo topográfico

3.1.2. Cálculo topográfico

3.1.2.1. Cálculo de coordenadas totales

Procesamiento de los datos obtenidos de la topografía y calcular las coordenadas de cada PI, mediante las fórmulas:

$$X = \text{Distancia horizontal} * \text{Seno (Azimut Eo a E1)}$$

$$Y = \text{Distancia horizontal} * \text{Coseno (Azimut Eo a E1)}$$

$$X1 = X0 + X$$

$$Y1 = Y0 + Y$$

Como ejemplo aplicaremos el tramo carretero que se encuentra en nuestro proyecto de Eo a E2 a cada fórmula. La lectura de Eo a E1 indicó que tiene un azimut de 24.45 grados partiendo del norte y una distancia de 154 metros, la estación E2 un azimut de 33.73 grados y una distancia de 63.05 metros.

Utilizamos como punto de salida la estación Eo con coordenadas (100,100), aplicando las fórmulas siguientes:

$$X1 = 154\text{Seno}(24.45) = 163.14$$

$$Y1 = 154\text{Coseno}(24.45) = 240.14$$

$$X2 = 63.05\text{Seno}(33.73) = 198.44$$

$$Y2 = 63.05\text{Coseno}(33.73) = 292.47$$

Entonces tendremos que la estación de salida Eo se encuentra en las coordenadas (100,100), E1 en (163.14,240.14) la cual será su PI, de igual forma para E2 con PI en (198.45,292.47)

Con estas coordenadas ploteamos la línea preliminar, la cual deberá ser corregida con el objeto de evitar barrancos, movimientos grandes de tierra, propiedades privadas, curvas innecesarias o cualquier otro obstáculo que represente incremento en los costos y no deje que el diseño cumpla con las normas mínimas para el trazo de carreteras.

3.1.2.2. Nivelación

Procedemos a calcular la nivelación en la libreta de campo asumiendo un banco de marca arbitrario y aplicando las siguientes fórmulas:

Para nivelación geométrica compuesta:

$$\text{Altura de instrumento (Hi)} = \text{Cota} + \text{VA}$$

$$\text{Cota} = \text{hi} - \text{VA}$$

$$\text{Cota} = \text{hi} - \text{VI}$$

Para la primer altura de instrumento la cota inicial será el banco de marca. La verificación de la nivelación mediante la siguiente fórmula:

$$\sum |PV-VA| = \sum |Cota\ inicial - Cota\ final|$$

Obtendremos el perfil del terreno, el cual servirá para colocar en cada estación, el nivel que le corresponde.

3.1.2.3. Secciones transversales

Ploteamos las secciones transversales sobre la línea preliminar, dibujando una sección transversal perpendicular a cada lado con una longitud que depende del ancho al que se midió la topografía. Luego se forman las curvas de nivel.

3.1.2.4. Diseño de subrasante preliminar

Consiste en diseñar la línea subrasante sobre el perfil del terreno natural, sin exceder la pendiente máxima, encontrándose ésta pendiente en tablas de diseño.

3.1.2.5. Diseño de curva vertical

Como ejemplo trazaremos la curva correspondiente al tramo que corresponde de la E0 a la E2.

Datos:

Velocidad = 30 kms/h

Λ = Diferencia algebraica de pendientes

$\Lambda = 2.02$

LCmin = $\Lambda * K$

LC = 8.08

$$\mathbf{PCV = PI - (LC/2)}$$

$$PCV = 106.62 - (8.08/2) = 102.58$$

$$\mathbf{PTV = PI + (LC/2)}$$

$$PTV = 106.62 + (8.08/2) = 110.67$$

a) Criterio de comodidad

Se aplica al proyecto de curvas verticales en columpio en donde la fuerza centrífuga que aparece en el vehículo al cambiar de dirección, se suma al peso propio del vehículo. Se recomienda que en la curva la aceleración centrífuga no exceda a 0.305 m/ s².

$$\mathbf{ac = v^2 / R \leq 0.305 \text{ m/s}^2 \quad \text{entonces} \quad \mathbf{R \geq 3.28 v^2}$$

b) Criterio de apariencia

Se aplica al proyecto de curvas verticales con visibilidad completa, o sea al de curvas en columpio, para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito de pendiente. Empíricamente la AASHTO recomienda que la constante debe ser igual a 30.

$$\mathbf{K = L / A \geq 30}$$

c) Criterio de drenaje

Se aplica al proyecto de curvas verticales en cresta o en columpio cuando están alojadas en corte. La pendiente en cualquier punto de la curva debe ser tal que el agua pueda escurrir fácilmente; la AASHTO ha encontrado que la constante debe ser menor o igual a 43.

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

d) Criterio de seguridad

Se aplica a curvas en cresta y en columpio. La longitud debe ser tal que en toda la curva la distancia de visibilidad sea mayor o igual que a la visibilidad de parada, siendo ésta:

$$L = K * \Lambda$$

L = longitud mínima de curva vertical

K = constante que depende de la velocidad de diseño (ver tabla XI)

Λ = Diferencia algebraica de pendientes

Tabla XIV. Valores de K para visibilidad de parada

Velocidad de diseño	Valores de K según tipo de curva	
K.P.H.	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: Augusto René Pérez. Metodología de actividades para el diseño geométrico de carreteras. Página 53.

3.1.2.6. Traslado de subrasante a rollo de planta

Se toma lectura de la elevación de cada estación en el perfil y se traslada buscando la misma elevación a la planta sobre la sección transversal de dicha estación, y obtendremos la línea que servirá para el diseño de la línea de localización.

3.1.2.7. Línea de localización

Esta es la línea final del proyecto, la cual se debe adecuar entre la línea preliminar y la que trasladamos del perfil, teniendo como primordial fin proporcionar seguridad, cumpliendo con las normas para diseño de vías terrestres y evitar obras que aumenten el costo del proyecto.

3.1.2.8. Trazo de curva horizontal

Aplicando a ejemplo

Datos:

Velocidad del proyecto: 30 Kms/h

$\Delta = 9^{\circ}16'47''$

PI = 0+154.00

Ancho de calzada 6.30 m

Análisis

Utilizamos las especificaciones para caminos de penetración de la Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transportes Oficiales.

Para una deflexión $\Delta = 9^{\circ}16'47''$ obtenemos un radio de giro = 104.17° y un G de curvatura = 11° , longitud espiralada $L_s = 11$. Estos datos obtenidos son sobre la base de especificaciones antes mencionadas.

$$\mathbf{ST = R \tan \Delta / 2}$$

$$ST = 8.45$$

$$\mathbf{PC = PI - ST}$$

$$PC = 154 - 8.45 = 145.54$$

$$\mathbf{PT = PI + ST}$$

$$PT = 154 + 8.45 = 162.45$$

$$\mathbf{LC = \Delta * 20 / G}$$

$$LC = (9^{\circ}16'47'' * 20) / 11 = 16.87$$

$$\mathbf{E = R (1 - \cos \Delta / 2) / \cos \Delta / 2}$$

$$E = 104.17(1 - \cos (9^{\circ}16'47'' / 2)) / \cos (9^{\circ}16'47'' / 2) = 0.34$$

Verificación

La tangente mínima entre curvas horizontales debe ser como mínimo el resultado de la siguiente fórmula:

$$\mathbf{T_{min} = (L_{s1} + L_{s2}) / 2}$$

3.1.2.9. Drenaje

En este proyecto sólo utilizaremos obras de drenaje menores del tipo longitudinal como cunetas y obras de alivio cuando se dé el caso de no ser posible desfogar una cuneta por cualquier obstáculo sin exceder la máxima longitud recomendada entre obras de drenaje.

3.1.2.10. Movimiento de tierra

Utilizaremos el método de prismoides el cual consiste en calcular para cada sección de construcción las áreas de corte y terraplén y se registran en el dibujo. El siguiente paso es calcular los volúmenes de corte y terraplén entre dos secciones consecutivas, multiplicando las semisumas de las áreas por la distancia entre las secciones; los volúmenes de corte se consideran positivos y los de terraplén, negativos.

Obtendremos las ordenadas de curvamasa que, para cada sección, es la suma algebraica de los volúmenes de corte y terraplén desde un punto, tomando como origen hasta la sección considerada.

$$\text{Volumen de un prismoide} = (A1 + A2) / 2 * d$$

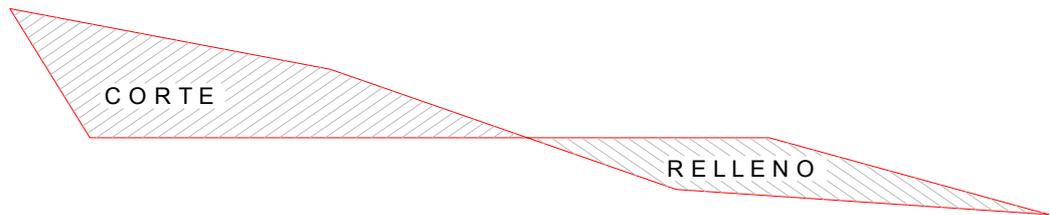
A1 = área superior de la estación

A2 = área inferior de la estación

d = distancia entre las dos secciones

3.1.2.11. Sección transversal con áreas de corte y relleno

Figura 11. Sección transversal con área de corte y relleno



$$\text{Vol. corte} = \left[\frac{(AC1 + AC2)^2}{2(AC1 + AC2 + AR1 + AR2)} \right] * d$$

$$\text{Volumen de relleno} = \left[\frac{(AR1 + AR2)^2}{2(AC1 + AC2 + AR1 + AR2)} \right] * d$$

Donde:

AC1 = área de corte 1

AC2 = área de corte 2

AR1 = área de relleno 1

AR2 = área de relleno 2

d = distancia entre áreas

3.2. Diseño estructural

En la estructuración de la sección transversal de una vía terrestre se utilizan materiales pétreos, térreos, asfálticos e industriales, los cuales se aprovechan cuando cumplen los requisitos marcados en las normas de calidad.

Para construir el cuerpo del terraplén utilizaremos materiales provenientes de los cortes o préstamos, conforme el tipo de terreno sobre el que se construya.

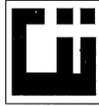
Cuando el terreno es plano, casi siempre emplearemos materiales de préstamos. Denominados de préstamo laterales si es que éstos se encuentran dentro de una distancia máxima de 100 metros desde el centro de la línea, cuando sea mayor préstamo de banco. Si el terreno es de lomerío, los terraplenes se construyen con materiales provenientes de los cortes, si el terreno es montañoso, por lo general, no se construyen terraplenes porque el exceso de cortes causa un volumen fuerte de desperdicio.

Para fijar el movimiento de tierra utilizamos el diagrama de curvamasa, para lo cual es fundamental proyectar la rasante más económica posible. Para construir la capa subrasante se utilizan comúnmente materiales de banco con las características adecuadas para cumplir las funciones que tendrán en la estructura vial. Si el material que se extrae de los cortes tiene estas características, puede emplearse en ellos y en los terraplenes contiguos para construir esta capa subrasante.

3.2.1. Estudio de mecánica de suelos

A continuación en la siguiente página se presentan los resultados del estudio de suelos, elaborados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 12. Resultados del ensayo granulométrico



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



INFORME No. 250 S.S.

O.T. No. 18,011

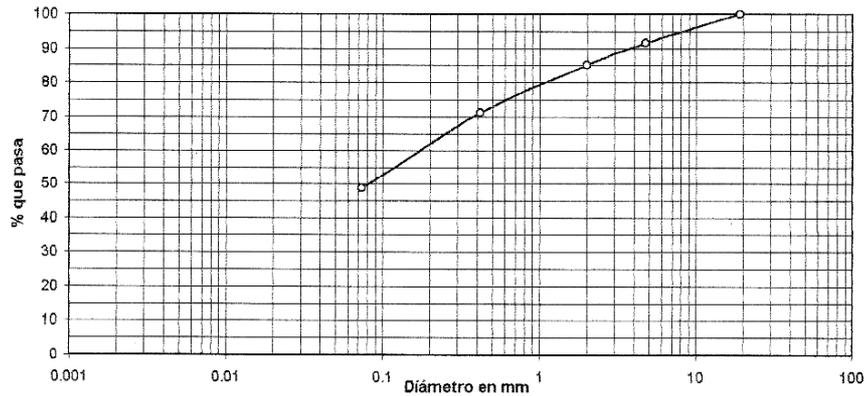
Interesado: Williams Haroldo Barrios
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27
 Proyecto: EPS
 Procedencia: Aldea El Callejón, Guastatoya, El Progreso.
 Fecha: 03 de noviembre de 2004
 Muestra No. 1

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19.05	100.00
4	4.76	91.42
10	2.00	85.19
40	0.42	71.03
200	0.074	48.70

% de Grava: 8.6
 % de Arena: 42.7
 % de Finos: 48.7

Análisis por Sedimentación:	
Diámet. mm	% que pasa

Gs:



Descripción del suelo: Limo arenoso color beige con algunas partículas de grava.
 Clasificación: S.C.U.: SM P.R.A.: A-4
 Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.
 Ing. Francisco Javier Quiñones de La Cruz
 DIRECTOR CII/USAC.



Inga. Flor de María González Cruz
 Jefe Sección Mecánica de Suelos



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo 476-3992. Planta 443-9500 ExL. 1502. FAX: 476-3993
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Figura 13. Resultados del ensayo límites de Atterberg



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



INFORME No. 251 S.S. O.T. No. 18011

Interesado: WILLIAMS HAROLDO BARRIOS
Proyecto: E.P.S
Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG
Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: Aldea El Callejón, Guastatoya. El Progreso.

FECHA: 03 de noviembre de 2004

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	C.S.U. *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	28.0	7.4	ML	Limo color beige.

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

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.

Ing. Francisco Javier Quiroz de la Cruz
DIRECTOR CI/USAC

Inga. Flor de María González Cruz
Jefe Sección Mecánica de Suelos



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 476-3992. Planta 443-9500 Ext. 1502. FAX: 476-3993
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Figura 14. Resultados del ensayo Proctor



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



INFORME No. 248 S.S.

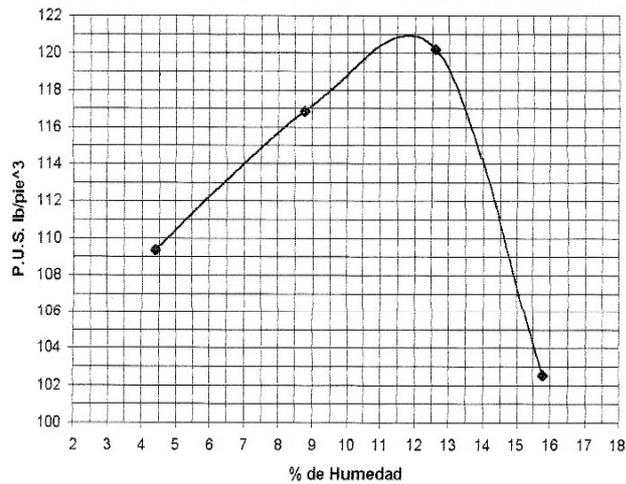
O.T. No. 18,011

Interesado: WILLIAMS HAROLDO BARRIOS
Asunto: ENSAYO DE COMPACTACION.

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

Proyecto: EPS
Ubicación: Aldea El Callejón, Guastatoya, El Progreso.
Fecha: 03 de noviembre de 2004

GRAFICA DE DENSIDAD SECA-HUMEDAD RELATIVA



Muestra No.: 1
Descripción del suelo: Limo arenoso color beige con algunas partículas de grava
Densidad seca máxima γ_d : 1.938 t/m³ 121 lb/ft³
Humedad óptima Hop: 11.7 %
Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.
Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC



Inga. Flor de María González Sotelo
Jefe Sección Mecánica de Suelos



Figura 15. Resultados del ensayo CBR



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

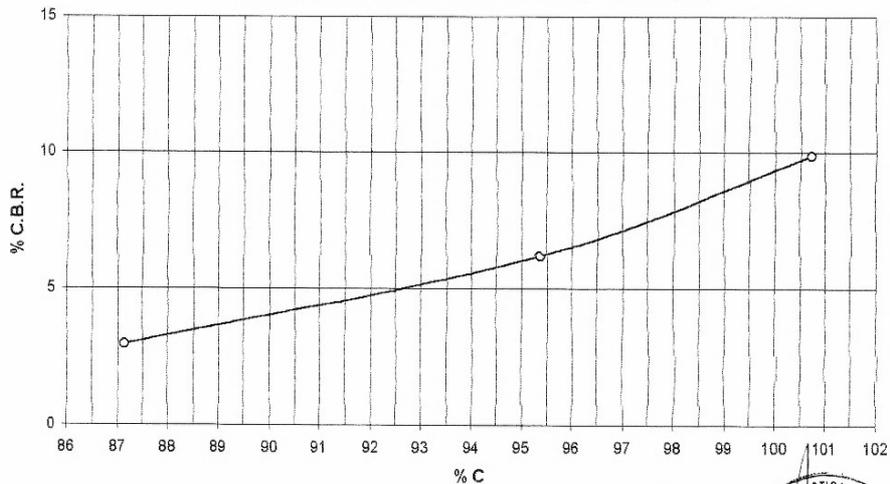


INFORME No. 249 S.S. O.T. No. 18,011

Interesado: WILLIAMS HAROLDO BARRIOS
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O. T-193
 Proyecto: EPS
 Ubicación: Aldea El Callejón, Guastatoya, El Progreso.
 Descripción del suelo: Limo arenoso color beige con algunas partículas de grava
 Muestra No.: 1
 Fecha: 03 de noviembre de 2004

PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	γ_d kg/m ³			
1	10	11.0	1689.1	87.14	2.3	3.0
2	30	11.0	1848.4	95.36	2.2	6.2
3	65	11.0	1952.7	100.73	2.1	9.9

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



Vo. Bp.
 Ing. Francisco Javier Quiriones de la Cruz
 DIRECTOR CII/USAC

Atentamente,



Inga. Flor de María González Zayas
 Jefe Sección Mecánica de Suelos



Con los resultados obtenidos podemos considerar lo siguiente:

De acuerdo con su granulometría y plasticidad, el sistema C.S.U. clasifica el suelo ensayado como una arena limosa SM. Según Límite líquido y plástico lo clasifica como un limo y arenas muy finas ligeramente plásticas determinando esto sobre la base de Límites de Atterberg.

Este tipo de material es susceptible de compactarse con equipo especial. Para subrasante terraplén y corte se recomienda que esté al 95% de compactación.

El ensayo Proctor nos indica una humedad óptima de 11.7% con lo que se considera que no necesita de mucha humedad para estar bien compactado y como consecuencia una saturación temprana. El C.B.R. nos indica un valor de soporte bajo por lo que sólo lo podremos utilizar como subrasante.

Debemos tomar en cuenta que no se pueden utilizar materiales con un valor relativo soporte saturado menor de 5% o expansión mayor de 5%.

3.3. Dimensionamiento final

3.3.1. Estructura final del pavimento

El pavimento rígido deberá poseer una resistencia considerable a la flexión y esfuerzos causados por abrasión, compresión, cortamiento, tensión, causados por el rodamiento de las ruedas de los distintos tipos de vehículos, así como esfuerzos de compresión y tensión debidos a la combadura del pavimento por efectos de los cambios de temperatura.

Es por ello que el pavimento debe estar diseñado sobre la base de los factores que a continuación se describen:

- Volumen, tipo y peso del tránsito
- Valor relativo soporte y características de la subrasante
- Resistencia del concreto a emplear MR
- Factores de seguridad
- Tipos de juntas y hombros
- Período de diseño

3.3.1.1. Período de diseño

El período de diseño utilizado en la pavimentación del tramo es de 20 años, por considerar que aproximadamente la vida útil de los materiales empleados es el mismo.

3.3.1.2. Cálculo del espesor del pavimento

Utilizaremos el método de diseño de la Asociación de Cemento Portland (P.C.A.), con datos acerca del movimiento vehicular estimados y preventivos del futuro, con base a experiencia de los comerciantes y vecinos del lugar, puesto que las comunidades que conectarán están en vías de desarrollo.

El método que se expone a continuación se sustenta en la energía potencial de la losa que consume cada uno de los tipos de ejes de los vehículos y en el número total de ejes que se espera transitarán durante la vida útil de la obra.

Utilizaremos el siguiente formato, el cual requiere los datos que a continuación describimos y que encontraremos en la tabla XV y tabla XVI:

- a. Tipo de juntas y hombros
- b. Esfuerzo de flexión del concreto MR, a 28 días
- c. Resistencia de la subrasante
- d. Factor de carga de seguridad

Tabla XV. Categoría de cargas por eje

Carga por eje	Descripción	Tráfico			Máxima carga por eje	
		TPD	TPDC		Kips	
			%	Por día	Eje sencillo	Eje Tandem
1	Calles residenciales Carreteras rurales y secundarias	200 - 800	1 a 3	Arriba de 25	22	36
2	Calles colectoras Carreteras rurales y secundarias Carreteras primarias y calles arteriales	700 - 5000	5 a 18	De 40 a 1000	26	44
3	Calles arteriales primarias, súper carreteras, e interestatales	3000 - 12000 2 carriles 3000 - 50000	8 a 30	De 500 a 5000	30	52
4	Calles arteriales, primarias, súper carreteras, Interestatales	3000 - 20000 2 carriles 3000- 15000	8 a 30	De 1500 a 8000	34	60

Fuente: Westergaard H. N. Computation of stresses in concrete roads. Página 48.

Tabla XVI. TPDC permisible, carga por eje categoría 1. Pavimentos con juntas con agregado (No necesita dovelas)

Sin hombros de concreto o bordillo				Con hombros de concreto o bordillo			
Espesor Losa en plg.	Soporte de subrasante y sub base			Espesor Losa en plg.	Soporte de subrasante y sub base		
	BAJO	MEDIO	ALTO		BAJO	MEDIO	ALTO
MR = 650 psi							
4.5			0.1	4		0.2	0.9
5	0.1	0.8	3	4.5	2	8	25
5.5	3	15	45	5	30	130	330
6	40	160	430	5.5	320		
6.5	330						
MR = 600 psi							
5		0.1	0.4	4	0.2	1	0.1
5.5	0.5	3	9	4.5	6	27	5
6	8	36	98	5	73	290	75
6.5	76	300	760	5.5	610		730
7	520			6			
7.5							
MR = 550 psi							
5.5	0.1	0.3	1	4.5		0.2	0.6
6	1	6	18	5	0.8	4	13
6.5	13	60	160	5.5	13	57	150
7	110	400		6	130	480	
7.5	620						

Fuente: Westergaard H. N. Computation of stresses in concrete roads. Página 51.

Datos del proyecto:

Camino rural secundario con bajo volumen de tránsito

Limo arenoso

C.B.R. = 6%

Expansión = 2.2%

TPD = 120

Total camiones por día = 25

TPDC = 10

Subrasante = pobre

4 pulgadas de sub base granular

MR = 650 psi

Bordillo

Análisis

Según estudio de suelos nos encontramos en un terreno con baja capacidad de soporte; sin embargo, con límite plástico dentro de rangos recomendados y con una expansión aceptable, por lo que el suelo se utilizará únicamente como subrasante y se construirá una sub base de material granular obtenido de banco de préstamo para que se tenga una combinación de subrasante y sub base que ofrezcan mejores condiciones de soporte.

De tabla XI se seleccionó la categoría del proyecto, asignándole una categoría 1.

Con TPDC = 10, soporte de subrasante, sub base bajo y un MR = 650 psi, se obtiene de la tabla XII, un espesor de losa de 5 pulgadas.

3.4. Riesgos y vulnerabilidades

La construcción del proyecto que se llevará a cabo entre estas dos comunidades, acarrea consigo ciertos riesgos que deben ser previstos y tomados en consideración, consistentes principalmente en lo que a continuación mencionamos.

1. Fauna: los nidos de aves y reptiles que se encuentran en el trazo de la carretera, serán afectados y obligados a cambiar de su hábitat natural. De igual forma otra gran variedad de especies de mamíferos que habitan en el lugar, serán afectadas.
2. En lo que respecta a su flora, serán afectados árboles existentes como el árbol de Trueno, Paraíso, Conacaste y vegetación pequeña que tendrá que ser arrancada, incluyendo algunos árboles frutales. Así también algunas pequeñas corrientes de agua que se encuentran cercanas al trazo del tramo, corren el riesgo de ser sepultadas y contaminadas.

3.5. Medidas de mitigación

Es de suma importancia realizar acciones que contrarresten los riesgos que se corren con la construcción de un proyecto de magnitud considerable, por consiguiente se proponen medidas a corto plazo para que los efectos negativos sean mínimos.

1. Como medida inmediata a la finalización del camino será la siembra, en las orillas, de árboles como naranjillos y paraísos, los cuales son una especie natural de la región y por lo mismo, es resistente al clima imperante.
2. Implementar un plan de control sobre la tala de árboles para leña y el sistema de preparación de terrenos para siembra mediante la quema del mismo, conocido como rosas.

CONCLUSIONES

1. Con la finalización de esta vía de acceso se estará beneficiando a más de 200 familias de ambas comunidades las cuales harán uso del camino en sus actividades agrícolas, mercantiles o cualquiera que fuere su trabajo, en la cual necesite movilizarse de la aldea El Callejón hacia Guastatoya o viceversa.
2. Al llevar a cabo el proyecto sobre el camino de penetración y unificación hacia la aldea El Callejón, se dará solución a uno de los problemas que la población del departamento de El Progreso afronta y se brindará un servicio público necesario.

RECOMENDACIONES

1. Se necesita brindar orientación a los vecinos acerca de la utilización correcta y comprensión de la señalización de la carretera, para que éstos tengan conocimiento de las normas sobre las cuales fue diseñada y sean prudentes al transitar sobre ésta.
2. Se sugiere la creación de una cuadrilla especialmente destinada al mantenimiento de las vías de acceso a nivel municipal para el buen estado de la carpeta de rodadura y de las obras de drenaje, especialmente en la época de invierno. Época en la cual las vías deberán estar libres de basura y cualquier obstáculo que impida su buen funcionamiento.
3. Se sugiere, además, la formación de un comité permanente comunal y departamental, que sea el encargado de supervisar el buen uso de esta carretera.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Association of State Highway and Transportation Officials
AASHTO Guide for Design of Pavement Structures
Washington D.C. 1986.
2. **Dirección General de Caminos, Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda.** Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes.
Guatemala C.A. 2000.
3. Olivera Bustamante, Fernando. **Estructuración de vías terrestres.** 2ª ed. México : Editorial Continental. 2002. 413 pp.
4. Jepsse Marcelino Canahui Portillo. Proyecto carretero de Beleju, comunidad del municipio de Chicaman del departamento del Quiché. Tesis de graduación ING. CIVIL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS, GUATEMALA 1997.
65pp.
5. Monge Arana Manuel. Pavimentación de la colonia La Libertad aldea La Comunidad zona 10 de Mixco. Tesis de graduación de Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos, 2002. 120pp.

ANEXOS

PRESUPUESTO Y PLANOS

Tabla XVIII. Presupuesto del proyecto

No.	ACTIVIDAD	cantidad	unidad	costo unitario	TOTAL
1	MOVIMIENTO DE TIERRA	45000.00	metros³		1,333,150.00
1.1	Tractor D-6	900.00	horas	250.00	225000.00
1.2	Cargadora frontal	900.00	horas	290.00	261000.00
1.3	Camiones	63000.00	metros ³	12.00	756000.00
1.4	Topografía	113.00	día	800.00	90400.00
1.5	Mano de obra (peones)	10.00	peón	75.00	750.00
No.	ACTIVIDAD	cantidad	unidad	costo unitario	TOTAL
2	CONF. Y PREP. SUB-RASANTE	34978.00	metros²		245,950.00
2.1	Patrol	350.00	horas	325.00	113750.00
2.2	Regadora	44.00	día	800.00	35200.00
2.3	Vibro compactador	350.00	horas	275.00	96250.00
2.4	Mano de obra (peones)	10.00	peón	75.00	750.00
No.	ACTIVIDAD	cantidad	unidad	costo unitario	TOTAL
3	SUB BASE	34978.00	metros²		1,015,466.00
3.1	Patrol	350.00	horas	325.00	113750.00
3.2	Regadora	44.00	día	800.00	35200.00
3.3	Vibro compactador	350.00	metros ³	275.00	96250.00
3.4	Material selecto	3497.80	metros ³	220.00	769516.00
3.5	Mano de obra (peones)	10.00	peón	75.00	750.00
No.	ACTIVIDAD	cantidad	unidad	costo unitario	TOTAL
4	CARPETA DE RODADURA	4372.20	metros³		2,525,579.10
4.1	Cemento	39350.00	saco	36.50	1436275.00
4.2	Arena	2842.00	metros ³	75.00	213150.00
4.3	Piedrín de 1/2"	2842.00	metros ³	175.00	497350.00
4.4	Costanera	40.00	unidad	180.00	7200.00
4.5	Colocación de arrastres	5552.00	ml	6.50	36088.00
4.6	Colocación de concreto	4372.20	metros ³	25.50	111491.10
4.7	Acabado de superficie	34978.00	metros ²	4.50	157401.00
4.8	Cortes de juntas de dilatación	11104.00	ml	3.00	33312.00
4.9	Sellado de juntas de dilatación	11104.00	ml	3.00	33312.00

Continuación

No.	ACTIVIDAD	cantidad	unidad	costo unitario	TOTAL
5	CONSTRUCCIÓN CUNETAS	11104.00	metros		823,659.50
5.1	Cemento	5997.00	sacos	36.50	218890.50
5.2	Arena	366.00	metros ³	75.00	27450.00
5.3	Piedrín 1/2"	366.00	metros ³	175.00	64050.00
5.4	Clavo	80.00	libra	3.00	240.00
5.5	Alambre amarre	120.00	libra	2.50	300.00
5.6	Encofrado	11104.00	ml	3.50	38864.00
5.7	Fundición	11104.00	ml	25.50	283152.00
5.8	Desencofrado	11104.00	ml	3.00	33312.00
5.9	Alisado	34978.00	metros ²	4.50	157401.00
No.	ACTIVIDAD	cantidad	unidad	costo unitario	TOTAL
6	DRENAJES DE ALIVIO	6.00	unidad		64,159.20
6.1	Piedra bola	60.00	metros ³	125.00	7500.00
6.2	Cemento	210.00	saco	36.50	7665.00
6.3	Arena	40.00	metro ³	75.00	3000.00
6.4	Piedrín 1/2"	40.00	metro ³	175.00	7000.00
6.5	Formaleta	165.00	pie-tabla	6.00	990.00
6.6	Alambre amarre	80.00	libra	2.50	200.00
6.7	Cal hidratada	35.00	saco	22.50	787.50
6.8	Clavo	60.00	libra	3.00	180.00
6.9	Parrilla de acero	6.00	unidad	450.00	2700.00
6.10	Material selecto	10.00	metro ³	220.00	2200.00
6.11	Parales rollizos	50.00	unidad	35.00	1750.00
6.12	Tubos de 24"	35.00	unidad	450.00	15750.00
6.13	Mano de obra zanjeado	40.00	ml	225.00	9000.00
6.14	Colocación de formaleta	144.00	ml	3.50	504.00
6.15	Fundición	56.40	metro ³	25.50	1438.20
6.16	Desmimbado	144.00	ml	3.00	432.00
6.17	Colocación de tubería	40.00	ml	30.00	1200.00
6.18	Formaleta para cabezales	145.00	ml	3.50	507.50
6.19	Desmimbado	145.00	ml	3.00	435.00
6.20	Colocación de asiento	40.00	ml	8.00	320.00
6.21	Relleno de zanja por capas	40.00	ml	15.00	600.00

ANCHO DE CARPETA DE RODADURA	6.30	metros
LONGITUD DEL TRAMO	5552.00	metros
TOTAL METROS DE CONSTRUCCIÓN	34977.60	metros ²
COSTO TOTAL	6,007,963.80	

Figura 16. Diseño del tramo 0+000 a 0+800

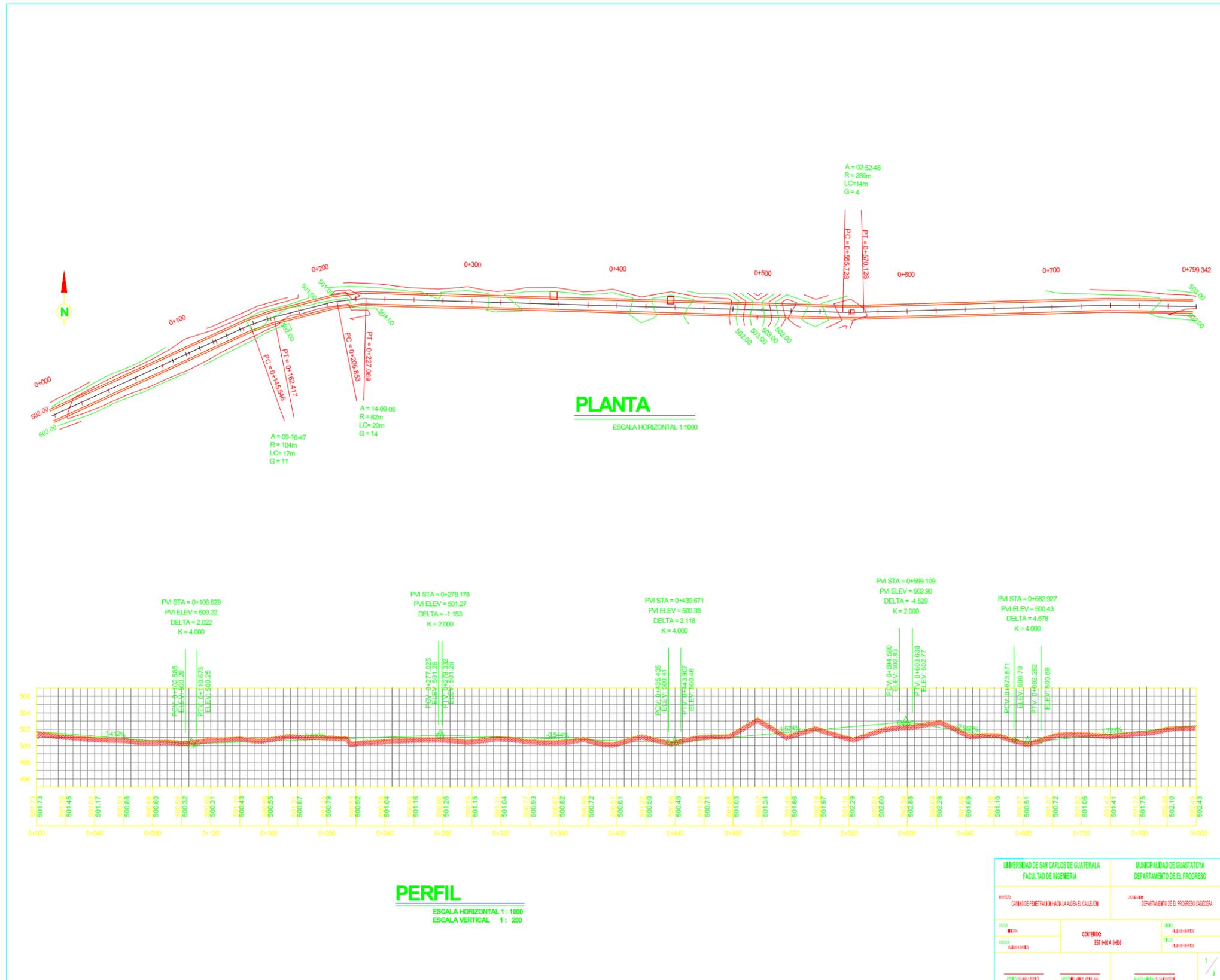


Figura 17. Diseño del tramo 0+800 a 1+590

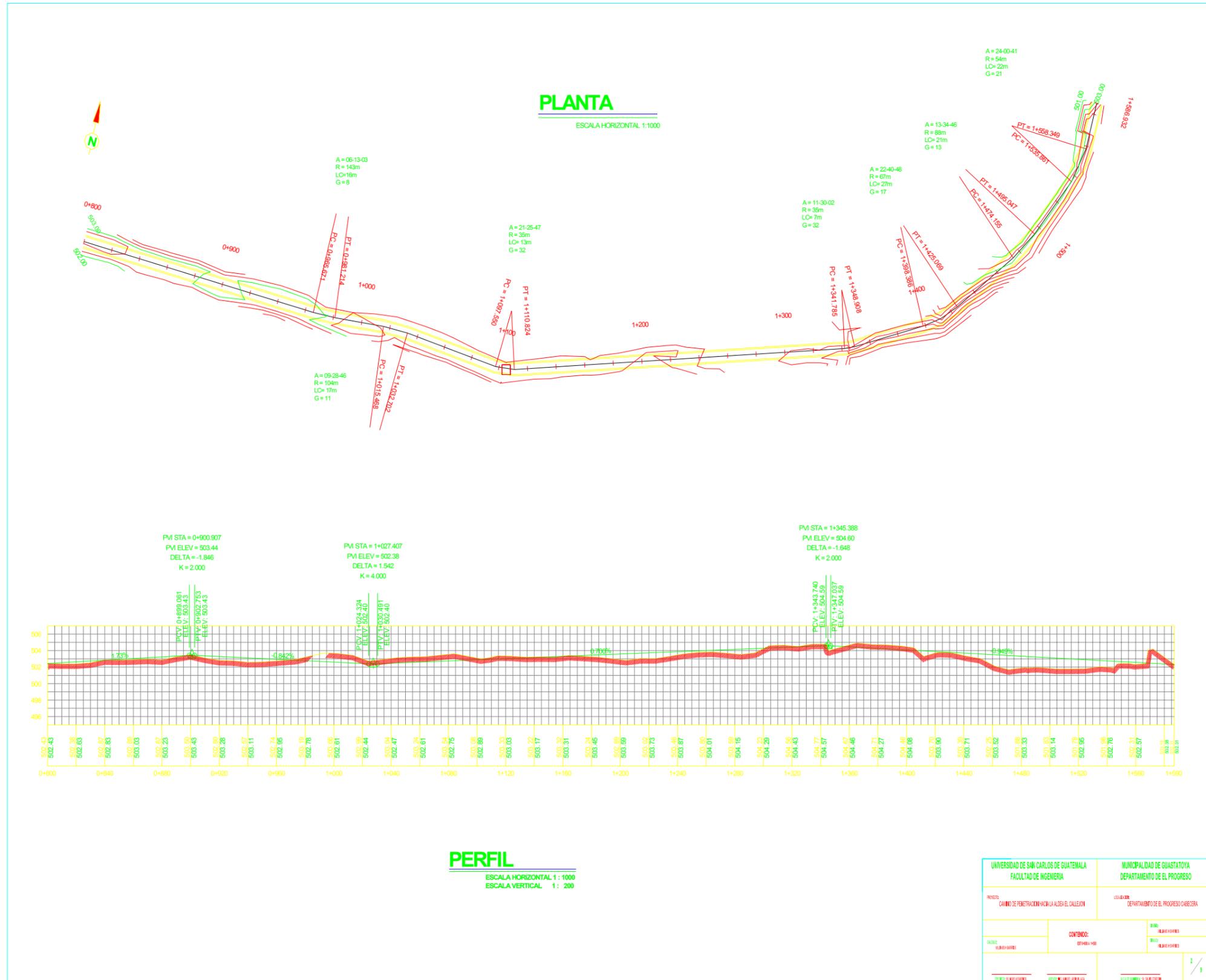


Figura 18. Diseño del tramo 1+590 a 2+320

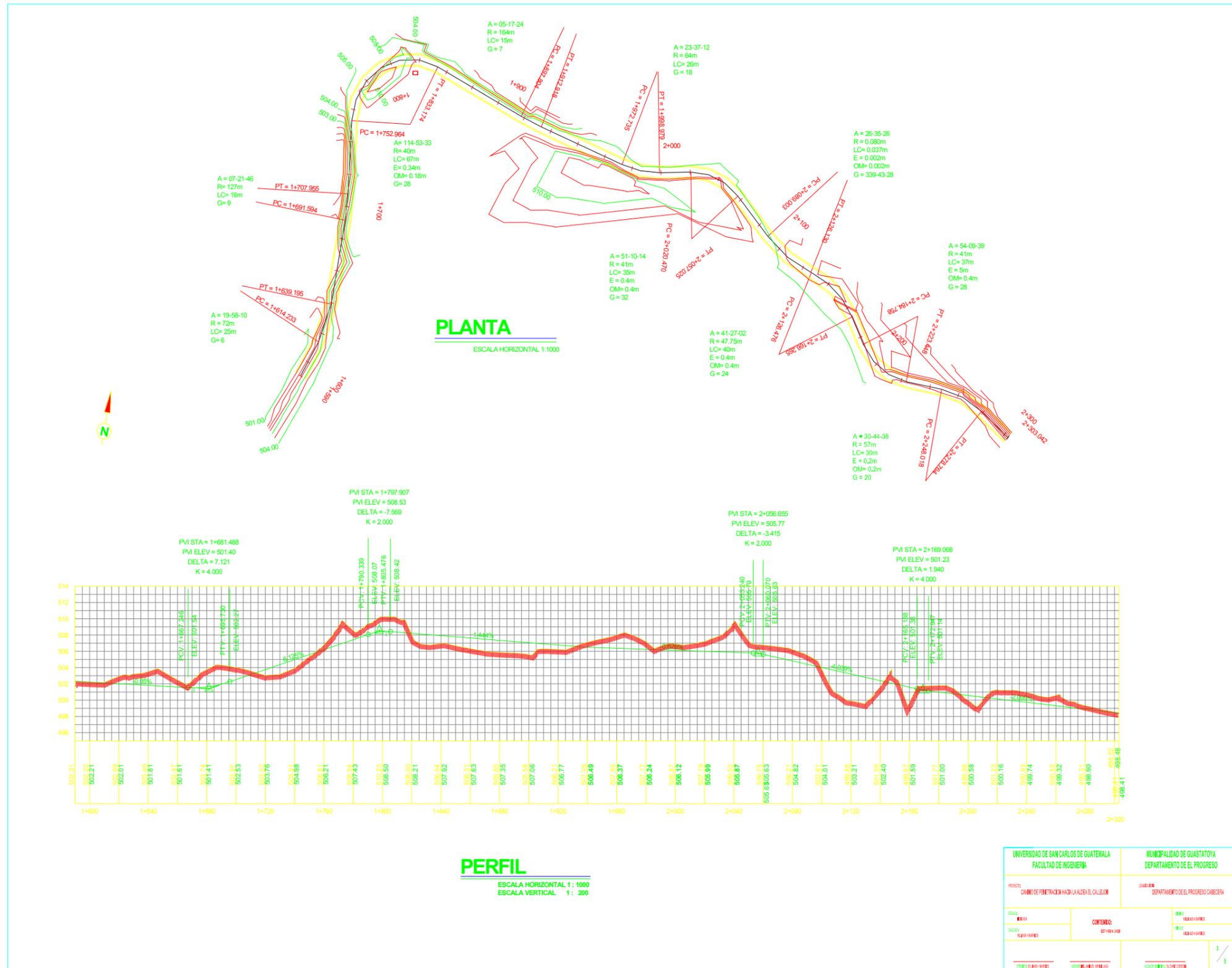


Figura 19. Diseño del tramo 2+320 a 3+000

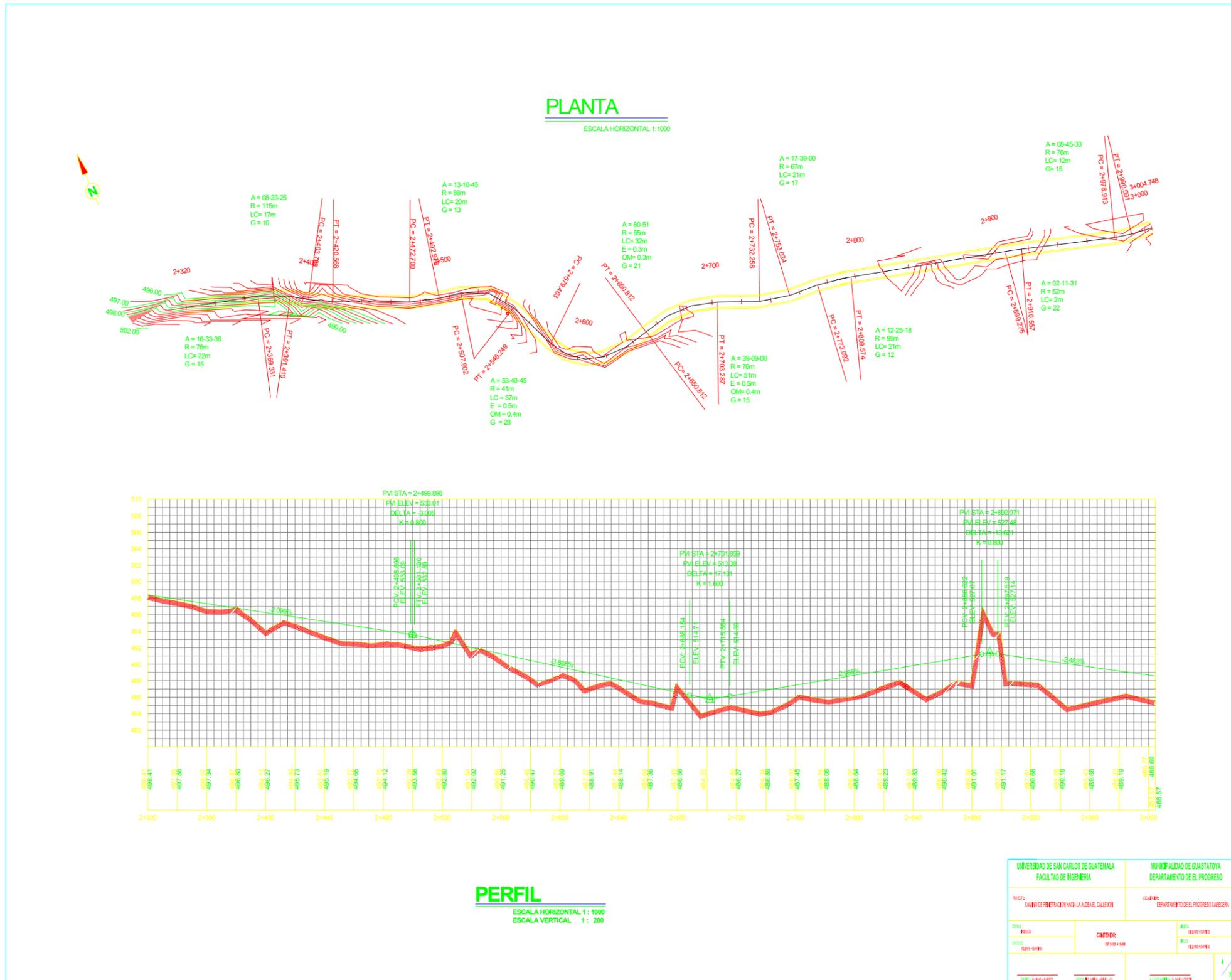


Figura 20. Diseño del tramo 3+000 a 3+800

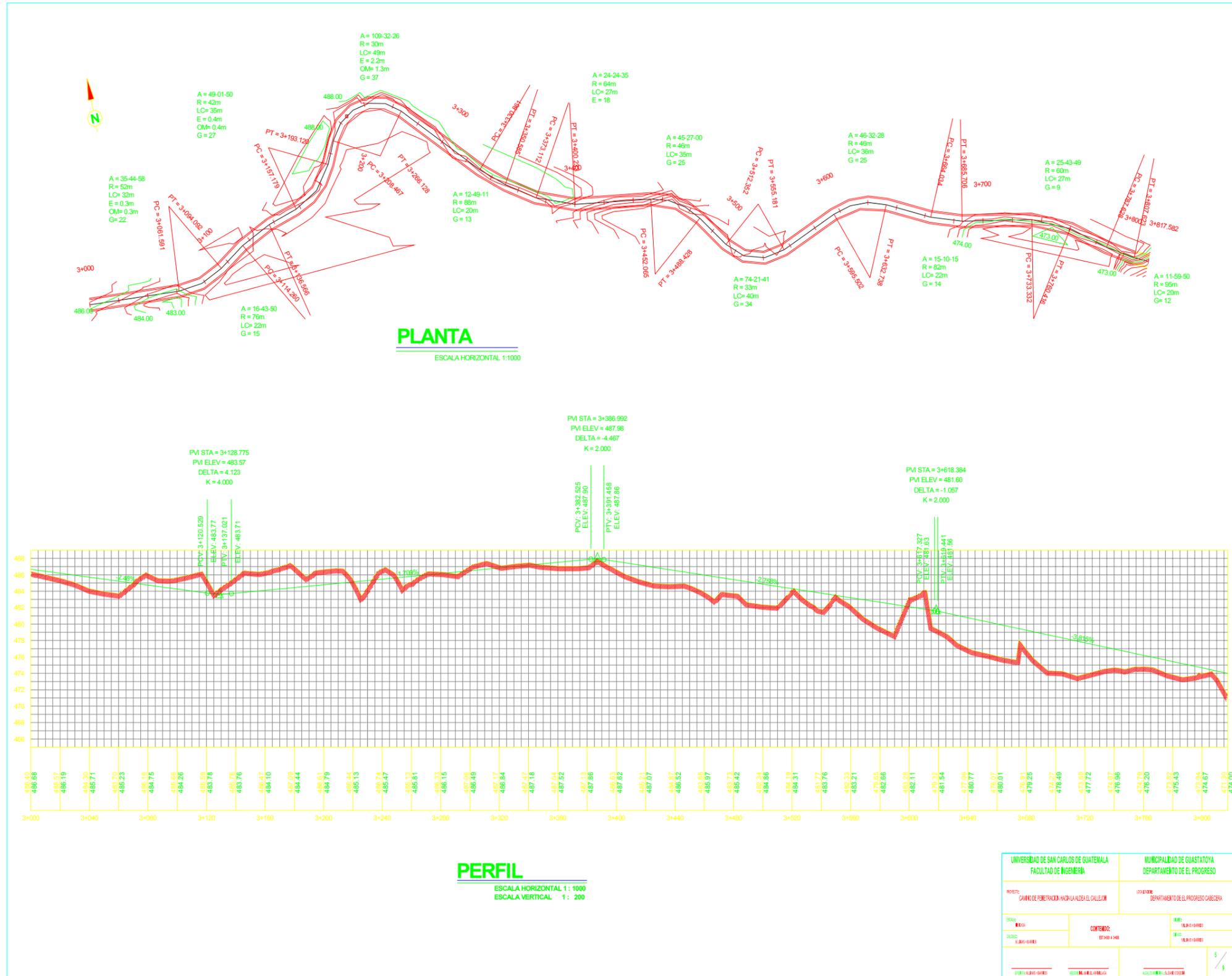


Figura 21. Diseño del tramo 3+800 a 4+580

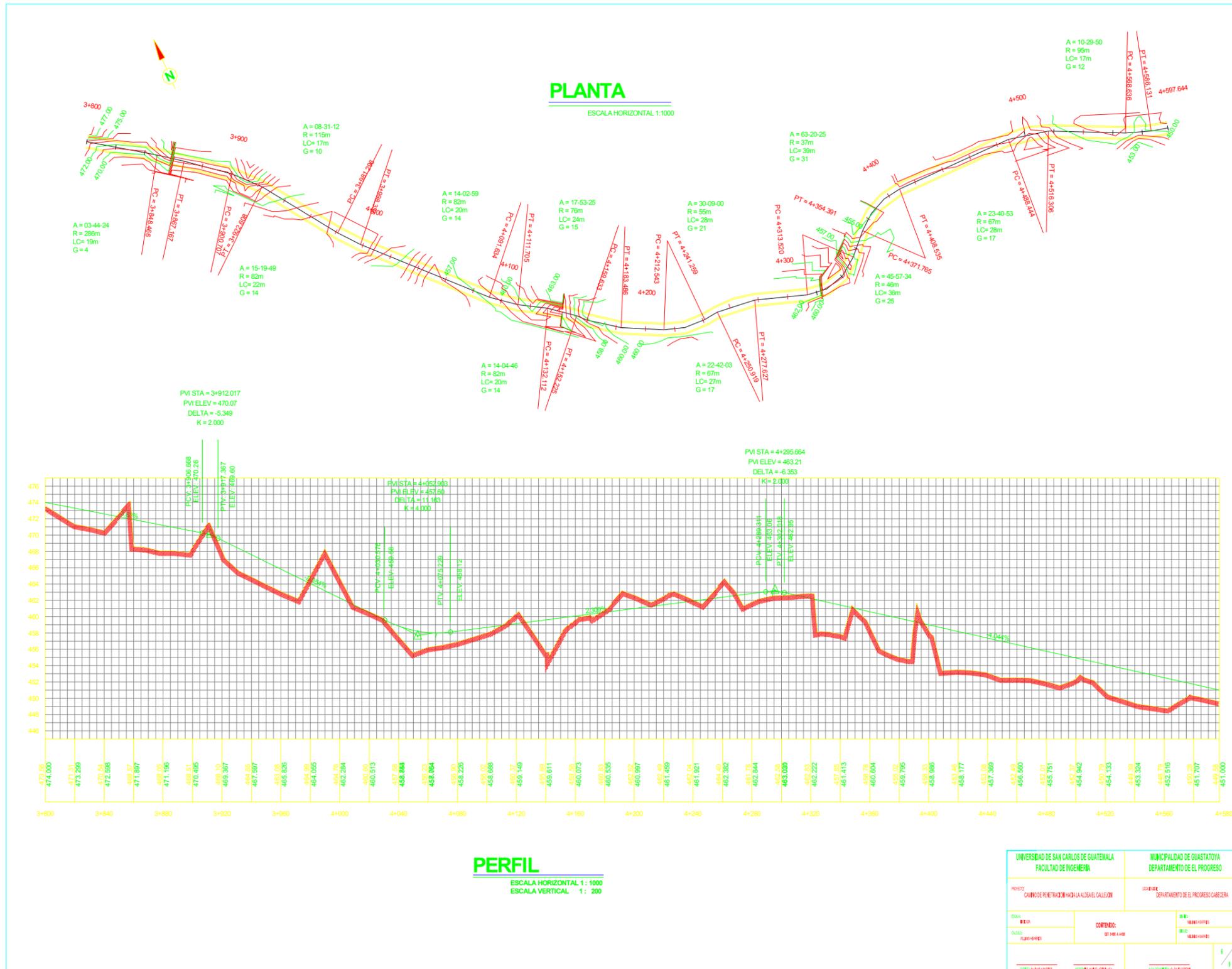


Figura 22. Diseño del tramo 4+580 a 5+380

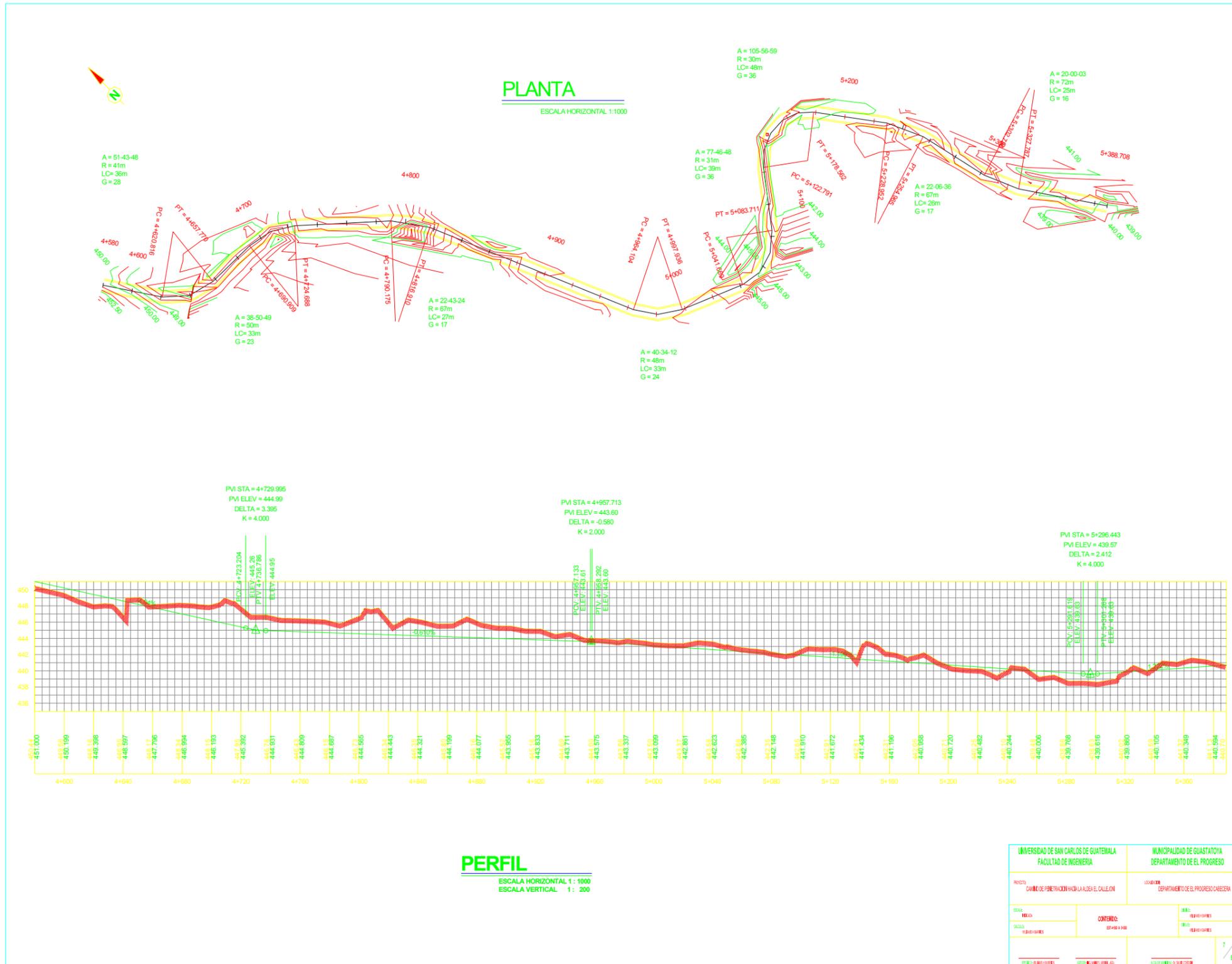


Figura 24. Detalles de obras de alivio en drenajes

