



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

**PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO, PARA
EL ACCESO DEL CENTRO DEL MUNICIPIO DE AMATITLÁN
HACIA LA AUTOPISTA CA-9 GUATEMALA-PALÍN, POR LA
PARTE SUR.**

Erick Nery Ramírez M.

Asesorada por: Ing. Ángel Roberto Sic García.

Guatemala, mayo de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO, PARA
EL ACCESO DEL CENTRO DEL MUNICIPIO DE AMATITLÁN
HACIA LA AUTOPISTA CA-9 GUATEMALA-PALÍN, POR LA
PARTE SUR.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA

DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ERICK NERY RAMÍREZ MACARIO

ASESORADO POR EL ING. ÁNGEL ROBERTO SIC GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA INGENIERÍA

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels 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 Yazminda Vides Leiva
SEC. ACADÉMICO:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuel Milson
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Gordillo G.
EXAMINADOR	Ing. Ángel Roberto Sic García
EXAMINADORA	Ing. Luis Gregorio Alfaro Véliz
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO, PARA EL ACCESO DEL CENTRO DEL MUNICIPIO DE AMATITLÁN HACIA LA AUTOPISTA CA-9 GUATEMALA-PALÍN, POR LA PARTE SUR

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 12 de septiembre de 2003

Erick Nery Ramírez Macario

ACTO QUE DEDICO A:

- DIOS** Por darme la oportunidad y la bendición de alcanzar una de mis metas en al vida.
- MIS PADRES** Miguel Ernesto Ramírez López
Rosalía Eufemia de Ramírez.
Por sus esfuerzos, apoyo y por sobre todo por el amor que siempre me han demostrado.
- MIS HERMANOS** Wilson Edinson Ramírez M. y especialmente a mi hermana querida Arenia Marleni Ramírez M.
- MIS FAMILIARES** Alberto, Pilar, Nancy, Jennifer, Catherine, y Elisa Sandriné.
- MI PASTOR** Víctor Hugo Cuevas A.
- MIS AMIGOS** Erick Villatoro
Silvia Nájera de Villatoro.
Jovita Aguirre, Sandra Torres,
Y Ellios Rodríguez. Por su amistad y apoyo.

AGREDECIMIENTO ESPECIAL:

Al Ing. Ángel Roberto Sic G.

Por su apoyo técnico y moral y su valiosa asesoría al presente trabajo.

A la Municipalidad de Amatlán:

En especial al Departamento de Obras y Unidad Técnica por el apoyo incondicional y por sobre todo por la amistad que me brindaron. Gracias.

A mi compañero de estudios Ellios Rodríguez B.:

Por los momentos compartidos y su apoyo para alcanzar la meta. Te deseo éxitos.

ÍNDICE GENERAL

	PÁGINA
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IV
GLOSARIO.....	VI
ABREVIATURAS.....	VIII
RESUMEN.....	X
OBJETIVOS.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XII
1. MONOGRAFÍA DEL MUNICIPIO DE AMATITLÁN.....	1
1.1. Etimología.....	1
1.2. Origen.....	1
1.3. Historia.....	1
1.4. Ubicación.....	2
1.5. División geográfica.....	5
1.5.1 Ciudad.....	5
1.6. Habitantes.....	5
1.7. Actividad económica.....	6
1.8. Industrias y agroindustrias.....	6
1.9. Producción agrícola.....	7
1.10. Lago.....	7
1.11. Laguna.....	7
1.12. Ríos.....	7
2. ESTUDIO PRELIMINAR DE CAMPO.....	9

2.1. Selección de ruta en campo.....	9
2.2. Levantamiento topográfico preliminar.....	10
2.2.1. Planimetría.....	10
2.2.2. Altimetría.....	11
2.2.3. Secciones transversales.....	13
3. CÁLCULO TOPOGRÁFICO DE PRELIMINAR.....	15
3.1. Cálculo planimétrico.....	15
3.2. Cálculo altimétrico.....	17
3.3. Cálculo de secciones transversales.....	20
4. ALUMBRADO ELÉCTRICO.....	23
4.1. Aspectos técnicos.....	23
4.2. Redistribución.....	29
5. DISEÑO DE LOCALIZACIÓN.....	31
5.1. Corrimiento de línea.....	32
5.2. Cálculo de elementos de la curva horizontal.....	36
5.2.1. Grado de curvatura (G).....	39
5.2.2. Longitud de curva (LC).....	40
5.2.3. Subtangente (ST).....	41
5.2.4. Cuerda máxima (CM).....	42
5.2.5. External (E).....	42
5.2.6. Ordenada media (OM).....	43
5.3. Determinación de curva vertical.....	45
6. MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	49
6.1. Diseño de sub-rasante.....	49
6.2. Cálculo de corrección por curva vertical a sub-rasante.....	51
6.3. Cálculo de áreas de secciones.....	52
7. DRENAJES.....	61
7.1. Estudio hidrológico.....	62

7.1.2. Método racional para la determinación de cálculos de diseño.....	62
7.2. Diseño de cunetas.....	65
7.3. Diseño de drenaje transversa.....	66
7.4. Contracuneta.....	71
8. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES.....	73
8.1. Especificaciones técnicas (resumen).....	76
8.2. Especificaciones técnicas del alumbrado.....	77
9. SUELOS.....	79
9.1. Pruebas de laboratorio.....	80
9.2. Características técnicas de material de balasto.....	91
9.3. Resultados del ensayo realizado a la sub-rasante de la carretera diseñada en el e.p.s.....	92
10. PAVIMENTOS.....	93
10.1. Diseño y dimensionamiento del espesor del pavimento.....	94
10.2. Métodos.....	96
10.3. Juntas.....	99
10.3.1. Longitudinales.....	99
10.3.2. Transversales.....	99
10.3.3. De expansión.....	100
10.3.4. De construcción.....	100
10.4. Diseño de la mezcla de concreto.....	102
CONCLUSIONES.....	106
RECOMENDACIONES.....	107
BIBLIOGRAFÍA.....	108
ANEXOS.....	109
▪ Resumen de cuantificación.....	110
▪ Cronograma de ejecución.....	111
▪ Ecuaciones del estudio de suelos.....	112

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

1	Municipio de Amatlán.....	3
2	Ubicación de la carretera.....	4
3	Cálculo de coordenadas topográficas.....	15
4	Poste de electricidad.....	28
5	Redistribución.....	29
6	Corrimiento de línea primer caso.....	33
7	Corrimiento de línea segundo caso.....	34
8	Corrimiento de línea tercer caso.....	35
9	Deflexión angular.....	38
10	Grado de curvatura.....	39
11	Elementos de una curva horizontal.....	44
12	Curvas verticales.....	46
13	Área de una sección transversal.....	54
14	Sección típica de un volumen de área.....	56
15	Tipos de áreas.....	57
16	Corte de un caminamiento.....	58
17	Clasificación de obras de arte.....	62
18	Sección de un drenaje.....	68
19	Sección típica de una contracuneta.....	71
20	Elementos estructurales de un pavimento.....	93
21	Tipos de juntas.....	101
22	Perfil de la estación 0 a la 14.....	127

23	Perfil de la estación 14 a la 28.....	128
24	Perfil de la estación 26 a la 40.....	129
25	Sección típica del pavimento.....	130
26	Detalle de juntas.....	131

TABLAS

I	Levantamiento planimétrico.....	11
II	Levantamiento altimétrico.....	12
III	Levantamiento de secciones.....	13
IV	Cálculo del levantamiento planimétrico.....	16
V	Cálculo del levantamiento altimétrico.....	18
VI	Cálculo de secciones transversales.....	20
VII	Velocidades de diseño.....	47
VIII	Método de determinantes.....	55
IX	Desarrollo del método de determinantes.....	59
X	Granulometría de un balasto.....	92
XI	Categorías de calles y calzadas.....	97
XII	Pavimento rígido para una categoría 3.....	98
XIII	Asentamientos.....	104
XIV	Resistencias de concretos.....	104
XV	Asentamientos y litros de agua por m ³	105
XVI	Tamaño de agregados.....	105

GLOSARIO

Azimut	Ángulo horizontal medido en el sentido de las manecillas del reloj desde cualquier meridiano de referencia.
Aashto	American Association of State Highway and Transportation Officials (Asociación Americana de Carreteras del Estado y Transportes Oficiales).
Aasho	American Association of State Highway Officials (Asociación Americana de Carreteras Oficiales del Estado).
Astm	American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).
Base	Capa soporte, formada de suelo granular o estabilizado, que va directamente debajo de la carpeta de rodadura y de la capa de asiento, cuando la lleve. Tiene como función contribuir fuertemente a la capacidad de soportar cargas del pavimento; distribuyendo la carga recibida, hasta la sub-rasante, a un nivel de esfuerzos adecuados a esta última.
Bombeo	Pendiente dada a la corona de las tangentes del alineamiento horizontal, hacia uno y otro lado del eje para evitar la acumulación del agua sobre la superficie de rodamiento.
Cota	Distancia vertical desde un plano de referencia hasta un punto u objeto dado.

Deflexión	Ángulo horizontal medido en la estación a partir de la prolongación de la línea anterior hasta la línea siguiente.
Especificaciones	Normas que rigen el diseño geométrico de las carreteras, las cuales son una función del tipo de carretera requerido para llenar la finalidad previamente establecida.
Pavimento	Capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidas entre el nivel superior de la terracería y la superficie de rodamiento; cuya función fundamental es proporcionar una superficie de rodamiento uniforme de color y textura, resistente a la acción del tránsito y la intemperie.
Rasante	Perfil del eje longitudinal de la carretera en la superficie de rodadura.
Superficie de rodadura	Área destinada a la circulación de vehículos, o bien la capa sobre la cual se aplican directamente las cargas de tránsito.
Suelo	Es un conjunto de partículas minerales débilmente unidas. En general, es el material más antiguo usado por el hombre, asimismo es el más complejo y variado material de construcción. En ingeniería, es todo material no consolidado que está sobre la corteza terrestre.

ABREVIATURAS

Símbolo	Significado
Δ	Ángulo de deflexión de la tangente.
K	Constante que depende de la velocidad de diseño.
Az	Azimut.
Σ	Sumatoria.
Rb	Rumbo.
d	Distancia de un tramo a otro.
G	Grado de curvatura.
Lc	Longitud de curva.
St	Subtangente.
Cm	Cuerda máxima.
E	External.
Om	Ordenada media.
Lcv	Longitud de curva vertical.
C1	Área de corte en la primera sección.
C2	Área de corte en la segunda sección.
R1	Área de relleno en la primera sección.
R2	Área de relleno en la segunda sección.

Cam.	Caminamiento.
V.a	Vista atrás.
HI	Altura de instrumento.
V.ad	Vista adelante.
Pv	Punto de Vuelta.
Cu	Coefficiente de uniformidad.
Cg	Coefficiente de graduación.
L.L.	Límite líquido.
I.P.	Índice de plasticidad.
L.P.	Límite plástico.
W	Humedad óptima.
P.U.S.	Peso unitario seco.

RESUMEN

Uno de los factores que contribuyen al desarrollo de una sociedad, son las vías de comunicación, por lo tanto, con el diseño y planificación de una vía de acceso al municipio de Amatlán por la parte sur (carretera CA-9 hacia Palín), y su pronta ejecución, beneficiará en gran manera a la población, a visitantes nacionales y a extranjeros.

A continuación se detalla todo el proceso constructivo para la realización de un diseño geométrico de una carretera, ejemplificando cada uno de sus componentes dentro del proceso.

Se plantea también una breve historia y descripción del municipio de Amatlán.

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

Se presentan adicionalmente, juego de planos que incluyen detalles típicos y otras especificaciones.

OBJETIVOS

General

Realizar la planificación y diseño del tramo carretero de acceso del centro del municipio de Amatitlán hacia la carretera Guatemala-Palín.

Específicos

1. Aplicar los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para contribuir al desarrollo de nuestra sociedad por medio del Ejercicio Profesional Supervisado.
2. Proporcionar al municipio de Amatitlán un estudio completo y detallado con especificaciones y planos del proyecto para resolver uno de sus problemas de comunicación.
3. Contribuir en lo posible con la comunidad de Amatitlán, desde el punto de vista técnico, en la solución de necesidades básicas.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de graduación resuelve, a través del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), uno de los muchos problemas del municipio de Amatitlán, como son las nuevas vías de comunicación, las cuales favorecerán al desarrollo integral del municipio.

Específicamente, estas actividades conllevan la planificación y diseño del acceso del centro de Amatitlán hacia la carretera CA-9 por la parte sur. Se realizó el levantamiento topográfico, y planificación del proyecto, apegados en su totalidad a las especificaciones técnicas y a los conocimientos científicos adquiridos en el transcurso de la carrera, así como también se buscó maximizar los resultados en la relación costo-beneficio del proyecto.

1. MONOGRAFÍA DEL MUNICIPIO DE AMATITLÁN DEL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA

1.1 Etimología

Aunque existen varias interpretaciones etimológicas, todas ellas coinciden en la raíz generadora amatl (voz nahoa) que significa papel. Es que los habitantes precolombinos de la región, pocomames y pipiles, utilizaban la corteza de los árboles de amatle (*Ficus glabrata*) para escribir sus jeroglíficos y hacer sus pinturas. Los árboles de amatle eran abundantes en la región y aún ahora pueden encontrarse con facilidad. El glifo de Amatitlán era un rollo de papel atado con un mecatl. De tal manera que el nombre Amatitlán se interpreta como “Lugar rodeado de amatles”, “Ciudad de las cartas, de las letras o del correo”.

1.2 Origen

Amatitlán es un municipio cuyos orígenes datan de hace muchos años, su origen es pocomam y formaba parte de una extensa región con Palín y los Petapas. La actual población fue fundada pocos años después de la Conquista.

1.3 Historia

En cabildo celebrado en la capital del Reino de Guatemala, el 14 de julio de 1536, Antonio Diosdado pidió ciertas tierras junto a Amatitlán, para destinarlas al cultivo de caña de azúcar.

Se considera el 24 de junio de 1549 como la fecha de fundación de San Juan Amatitlán. Durante la Colonia, formó parte de la Quinta Provincia integrada por Sacatepéquez y los Amatitlanes. Por Real Cédula del 20 de marzo de 1680 fue elevado a la categoría de villa. Después de la Independencia, por Decreto Legislativo del 28 de agosto de 1835, se le otorgó la categoría de ciudad.

Por Decreto Legislativo de 6 de noviembre de 1839, Amatitlán, Palín y Villa Nueva se integraron en el Distrito Independiente de Amatitlán. El Acuerdo Gubernativo del 8 de mayo de 1866 dispuso que al entonces conocido como Corregimiento de Amatitlán se le otorgó la categoría de departamento, el cual tuvo vigencia durante 69 años y estuvo formado por: San Pedro Mártir, San Vicente Pacaya, Palín, Villa Nueva, Villa Canales, San Miguel y Santa Inés Petapa, y Amatitlán.

Por Decreto Legislativo del 29 de abril de 1935, durante el gobierno del Gral. Jorge Ubico, se suprimió el Departamento de Amatitlán y se agregó como municipio al departamento de Guatemala, del cual forma parte actualmente.

1.4 Ubicación

El municipio de Amatitlán está ubicado en la parte sur del departamento de Guatemala, a 28 kilómetros de la ciudad capital (distancia entre parques centrales). Limita al norte con los municipios de Villa Nueva, Villa Canales y San Miguel Petapa; al sur con el municipio de Palín del departamento de Escuintla y Santa María de Jesús del departamento de Sacatepéquez; al este con los municipios de San Vicente Pacaya del departamento de Escuintla y Villa Canales del departamento de Guatemala; al oeste con el municipio de Magdalena Milpas Altas del departamento de Sacatepéquez.

Figura 1. Municipio de Amatitlán

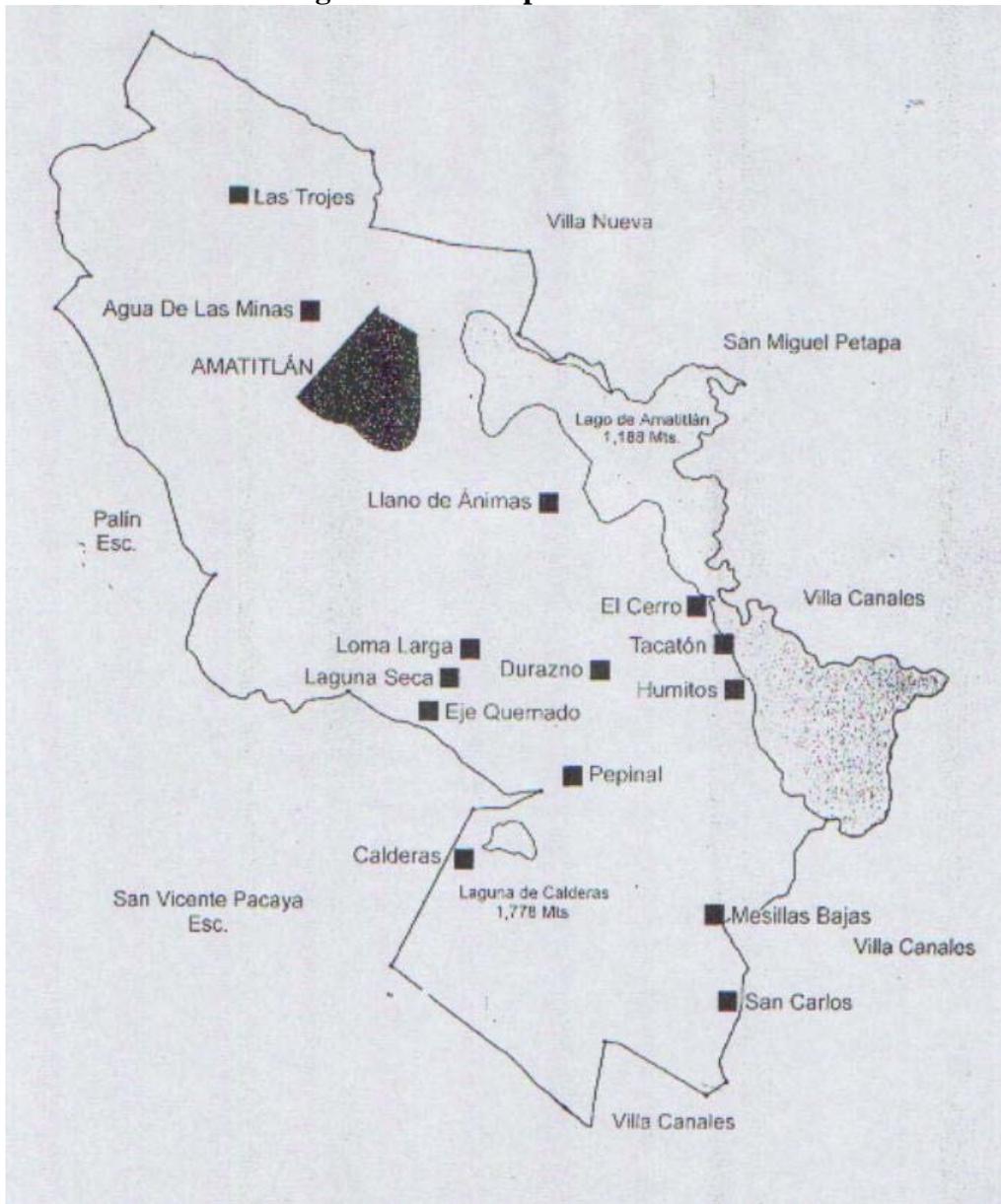
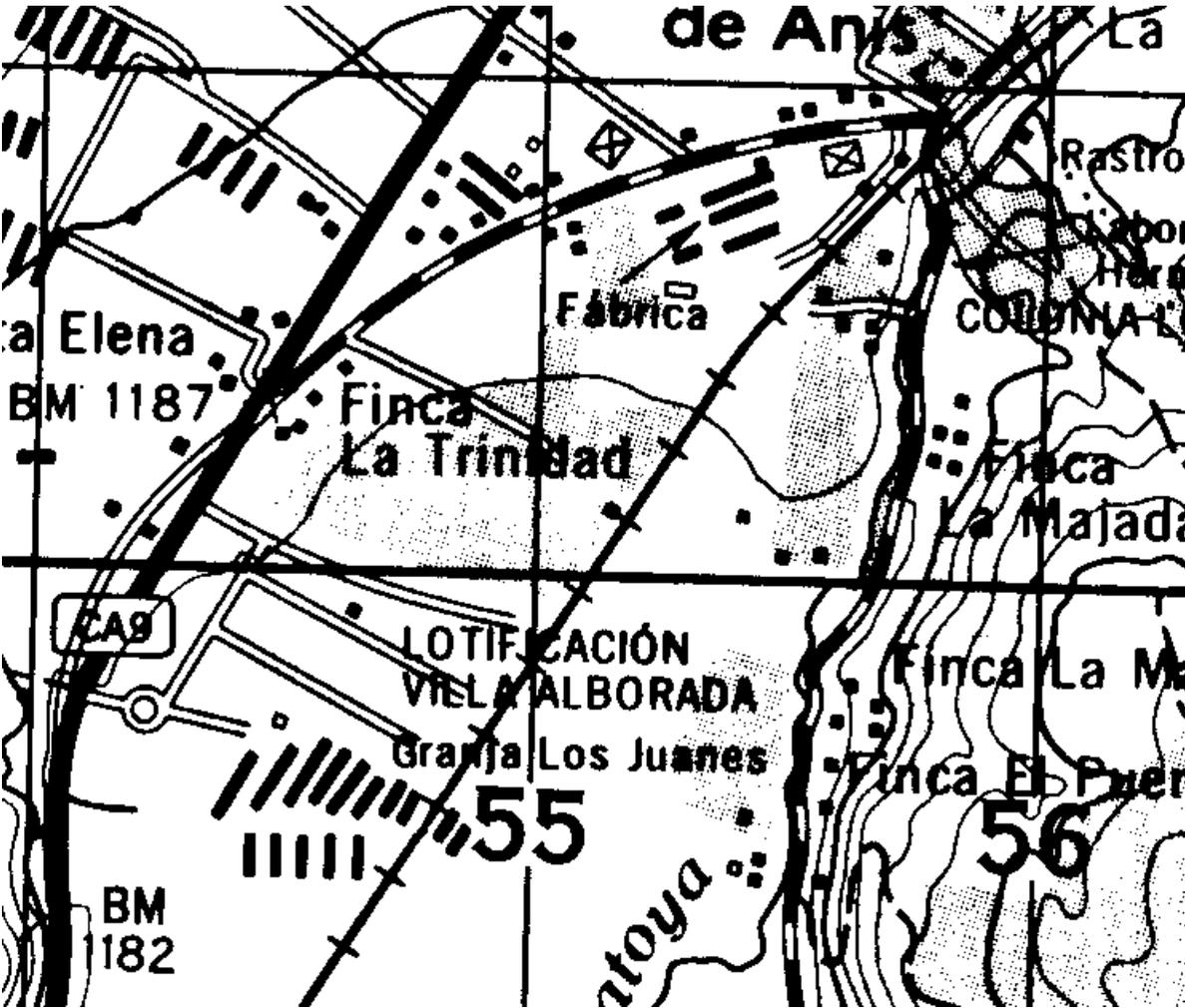


Figura 2. Ubicación de la carretera



La carretera en diseño para efectos de ubicación, comprende desde la finca Trinidad hasta la Fábrica, arriba de la Lotificación Villa Alborada, a un costado de la carretera CA 9.

1.5 División geográfica

El municipio de Amatitlán, departamento de Guatemala, tiene una extensión territorial de 204 kilómetros cuadrados. Esta formado por una ciudad, catorce aldeas y cinco caseríos.

1.5.1 Ciudad

Amatitlán fundada el 24 de junio de 1549 con el nombre de San Juan Amatitlán y con categoría de ciudad desde el año de 1866. El plano original de la ciudad fue bien trazado, en los primeros años de la Colonia, por el ingeniero Juan Bautista Antonelli.

La ciudad de Amatitlán está situada a 1,200 metros de altura sobre el nivel del mar. Su clima templado se ha visto modificado debido a la deforestación y alteración del régimen de lluvias, por lo que ahora es más cálido. Su topografía es plana con suelo arenoso. Está formada por siete barrios: La Cruz, San Juan, San Lorenzo, Hospital, El Rosario, San Antonio y El Ingenio; un cantón: Amanecer, y aproximadamente 90 colonias.

1.6 Habitantes

Desde 1990 el crecimiento de la población de Amatitlán se ha visto influenciado por la migración y el surgimiento de diversos proyectos residenciales (lotificaciones y colonias). Según datos proporcionados por el INE (Instituto Nacional de Estadística), la población en el municipio de Amatitlán asciende a 82,870 habitantes, censo efectuado en el año 2002 a nivel nacional.

1.7 Actividad económica

La principal actividad económica de los habitantes de Amatlán ha variado con el paso de los años. Hasta mediados del siglo XX, los amatitlanecos se dedicaban a la producción agropecuaria de subsistencia, oficios como albañilería y carpintería, comercio en pequeña escala, además de actividades relacionadas con la atención al turismo (venta de comidas y dulces típicos).

Sin embargo, debido a que la demanda de empleos superó la oferta de puestos de trabajo, actualmente la principal actividad de los amatitlanecos es emplearse en oficinas, empresas o industrias instaladas en la ciudad capital y otros lugares como Villa Nueva y Escuintla. Este diario desplazamiento, junto al de numerosos estudiantes, ha convertido a Amatlán en una especie de “Ciudad Dormitorio”.

1.8 Industrias y agroindustrias

Establecidas en el municipio de Amatlán se encuentran veinte empresas industriales y agroindustriales, dedicadas al procesamiento o producción de materiales para construcción, agroquímicos, semillas y follajes ornamentales, estufas, refrigeradoras y batería de cocina, pinturas, estructuras metálicas, materiales ornamentales, procesamiento de café en grano, químicos industriales. Debe hacerse mención de la presencia de cinco maquiladoras de ropa, dirigidas por empresarios asiáticos.

1.9 Producción agrícola

En el municipio de Amatlán, como ocurre en la mayor parte del territorio nacional, la mayoría de agricultores se dedica al cultivo de maíz y frijol. Aunque también tiene importancia económica el cultivo de: café, tabaco, maní, tomate, chile, banano, plátano, jocote de corona y de piña, hortalizas y legumbres.

1.10 Lago

Cuenta con un lago que aún con lo extremadamente contaminado tiene atractivo turístico para los habitantes de la capital, así como extranjeros. A sus alrededores existen ventas de exquisita comida de la región y los dulces típicos amatitlanecos. Su extensión es de 15.2 kilómetros cuadrados.

1.11 Laguna

Calderas.

1.12 Ríos

Michatoya, Mico I y Mico II.

2. ESTUDIO PRELIMINAR DE CAMPO

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

2.1 Selección de ruta en campo

Este es un trabajo que requiere de experiencia, ya que para el caso se utiliza un clinómetro que sirve para la medición de la pendiente entre un punto y otro. El topógrafo y la cuadrilla de topografía recorren toda la posible ruta sin medir distancias sino dándole prioridad a que la ruta cumpla con la pendiente permisible. Si en algún tramo de la ruta la pendiente es mayor que la permisible, el topógrafo tendrá que buscar una solución en el campo, recorriendo varias alternativas de ruta; si en ninguna de ellas se puede solucionar el problema, se desecha completamente la ruta y se elige otra o el ingeniero diseñador toma la decisión de hacer grandes cortes o rellenos que elevan significativamente los costos del proyecto.

Para el caso particular de la carretera que unirá el centro de Amatitlán con la autopista CA-9 sur, es un tramo existente de terracería, la que es transitada por vehículos de doble transmisión, y con pendientes máximas de 1% y 2%.

2.2 Levantamiento topográfico de preliminar

2.2.1 Planimetría

La información topográfica necesaria para el diseño de una carretera consiste en tomar en campo los ángulos y distancias horizontales que definen la ruta preliminar, haciendo uso de un teodolito y de una cinta métrica.

El levantamiento consiste en una poligonal abierta, formada por ángulos orientados a un mismo norte y distancias con estaciones intermedias a cada 20 metros.

En el trabajo de EPS se realizó el levantamiento planimétrico usando un teodolito marca SOKKISHA, modelo TM20C. y se usó el método de deflexión, con orientación de estación a estación por vuelta de campana. Se midieron distancias no mayores de 20 metros con la cinta colocada horizontalmente, bajando la medida exacta los trompos mediante plomadas de centro. A fin de no perder las medidas entre estaciones, se marcaron con clavos.

La libreta topográfica de campo obtenida en el levantamiento del trabajo de EPS es la siguiente.

Tabla I. Levantamiento planimétrico

Est.	P.o	Azimut
0	1	270°35'00"
1	2	269°45'00"
2	3	266°05'00"
3	4	269°35'00"
4	5	270°10'00"
5	6	268°55'00"
6	7	271°55'00"
7	8	272°10'00"
8	9	272°45'00"
9	10	269°55'00"
10	11	269°00'00"

2.2.2 Altimetría

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

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

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

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

Tabla II. Levantamiento altimétrico

Cam.	V.a	Hi.	V.AD.	PV	COTA
BM.	1.252	101.252			100
0+00			0.971		100.281
0+020			0.715		100.537
0+040			0.24		101.012
PV.	1.425	102.526		0.151	101.101
0+060			1.263		101.263
0+080			1.171		101.355
PV.	1.451	102.952		1.025	101.501
0+100			1.429		101.523
0+120			1.29		101.662
PV.	1.594	103.306		1.24	101.712

2.2.3 Secciones transversales

Por medio de las secciones transversales se podrá determinar las elevaciones transversales de la faja de terreno que se necesita para lograr un diseño apropiado.

En las estaciones de la línea central se trazarán perpendiculares, haciendo un levantamiento de por lo menos 40 metros de cada lado de la línea central, la longitud de las secciones puede variarse de acuerdo con el terreno, a criterio del topógrafo.

Dentro de estos datos deben incluirse las orillas de caminos, orillas de ríos, fondos, casas, etc. Cuando la sección transversal tope con un obstáculo impasable como un peñasco, una casa, un paredón, etc., no es necesario prolongarla sino que se anotará en la columna de observaciones el tipo de obstáculo y su altura o profundidad aproximada.

Tabla III. Levantamiento de secciones

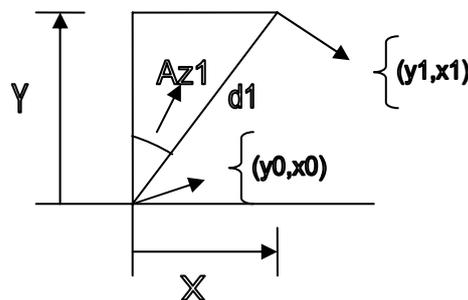
Izquierda		Caminamiento	Derecha	
0.10/5.60	-0.07/2	0+000	-0.05/2	-0.07/5.60
0.6/5.35	-0.022/2	0+020	-0.09/2	-0.16/5.35
0.09/4.64	-0.03/2	0+040	-0.11/2	-0.14/4.64
0.09/6.60	-0.001/2	0+060	0.01/2	0.46/6.60
0.081/6.20	-0.06/2	0+080	0/2	0.04/6.20
0.07/6.35	-0.06/2	0+100	-0.02/2	0.18/6.35
0.10/6.58	-0.03/2	0+120	0.02/2	0.18/6.58
-0.34/6.67	-0.04/2	0+140	-0.02/2	0.16/6.67
-0.08/6.65	-0.02/2	0+160	0.02/2	0.17/6.65
0.003/6.68	-0.041/2	0+180	0.01/2	0.26/6.68

3. CÁLCULO TOPOGRÁFICO DE PRELIMINAR

3.1 Cálculo planimétrico

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

Figura 3. Cálculo de coordenadas topográficas



$$y = d1 * \cos(Az1)$$

$$x = d1 * \text{sen}(Az1)$$

$$y1 = y0 + y$$

$$x1 = x0 + x$$

Tabla IV. Cálculo planimétrico

Est.	P.o	Azimut	$(Az*\pi)/180=rad.$	Distancia	Xp	Yp
0	1	270°35'00"	4.72	20.00	-19.99	0.20
1	2	269°45'00"	4.70	25.13	-25.12	-0.10
2	3	266°05'00"	4.64	12.45	-12.42	-0.85
3	4	269°35'00"	4.70	24.97	-24.96	-0.18
4	5	270°10'00"	4.71	29.99	-29.98	0.08
5	6	268°55'00"	4.69	25.05	-25.04	-0.47
6	7	271°55'00"	4.74	25.00	-24.98	0.83
7	8	272°10'00"	4.75	24.93	-24.91	0.94
8	9	272°45'00"	4.76	24.96	-24.93	1.19
9	10	269°55'00"	4.71	24.96	-24.95	-0.03
10	11	269°00'00"	4.69	24.90	-24.89	-0.43
11	12	267°25'00"	4.66	24.96	-24.93	-1.12
12	13	264°40'00"	4.61	25.00	-24.89	-2.32
13	14	262°50'00"	4.58	24.97	-24.77	-3.11
14	15	263°25'00"	4.59	25.02	-24.85	-2.84
15	16	260°40'00"	4.54	24.99	-24.65	-4.05
16	17	260°05'00"	4.53	24.95	-24.57	-4.29
17	18	259°20'00"	4.52	25.00	-24.56	-4.62
18	19	261°55'00"	4.57	25.00	-24.75	-3.51
19	20	259°00'00"	4.52	24.96	-24.50	-4.76
20	21	259°00'00"	4.52	24.95	-24.49	-4.76
21	22	258°40'00"	4.51	25.00	-24.51	-4.91
22	23	259°00'00"	4.52	24.94	-24.48	-4.75
23	24	255°35'00"	4.46	25.00	-24.21	-6.22
24	25	253°50'00"	4.43	24.94	-23.95	-6.94
25	26	253°05'00"	4.41	24.97	-23.88	-7.26
26	27	251°20'00"	4.38	25.00	-23.68	-8.00
27	28	250°25'00"	4.37	25.05	-23.60	-8.39
28	29	249°45'00"	4.35	25.00	-23.45	-8.65
29	30	270°35'00"	4.72	24.97	-24.96	0.25
30	31	268°50'00"	4.69	25.01	-25.00	-0.50
31	32	269°45'00"	4.70	25.00	-24.99	-0.10
32	33	268°30'00"	4.68	26.02	-26.01	-0.68
33	34	272°20'00"	4.85	24.04	-23.78	3.48
34	35	270°10'00"	4.71	24.97	-24.96	0.07
35	36	271°35'00"	4.74	24.90	-24.89	0.68
36	37	267°20'00"	4.66	25.15	-25.12	-1.17
37	38	269°15'00"	4.69	24.77	-24.769	-0.32
38	39	271°15'00"	4.73	24.80	-24.79	0.54
39	40	255°55'00"	4.46	38.47	-37.31	-9.36

3.2 Cálculo altimétrico

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

Los datos que se obtuvieron en el campo son: caminamiento, vista atrás, vista intermedia y punto de vuelta, todo esto a partir de una cota conocida. Lo que tiene que calcularse es la altura del instrumento para cada punto de vuelta y la cota. Las elevaciones se calcularon con las fórmulas siguientes:

$$AI = Cu + VA$$

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

Donde :

AI = Altura del instrumento.

Cu = Última cota.

VA = Vista atrás.

C = Cota.

VI = Vista intermedia.

PV = Punto de vuelta.

Tabla V. Cálculo altimétrico

Cam.	VA	AI	VI	PV	COTA
BM.	1.252	101.252			100
0+00			0.971		100.281
0+020			0.715		100.537
0+040			0.24		101.012
PV.	1.425	102.526		0.151	101.101
0+060			1.263		101.263
0+080			1.171		101.355
PV.	1.451	102.952		1.025	101.501
0+100			1.429		101.523
0+120			1.29		101.662
PV.	1.594	103.306		1.24	101.712
0+140			1.445		101.861
0+160			1.36		101.946
PV.	1.51	103.495		1.321	101.985
0+180			1.403		102.092
0+200			1.251		102.244
PV.	1.661	103.865		1.291	102.204
0+220			1.491		102.374
0+240			1.478		102.387
PV.	1.475	103.715		1.625	102.24
0+260			1.329		102.386
0+280			1.198		102.517
PV.	1.175	103.835		1.055	102.66
0+300			1.229		102.606
0+320			1.241		102.594
PV.	1.391	103.875		1.351	102.484
0+340			1.45		102.425
0+360			1.639		102.236
PV.	1.291	103.507		1.659	102.216
0+380			1.471		102.036
0+400			1.64		101.867
PV.	1.188	103.09		1.605	101.902
0+420			1.371		101.719
0+440			1.333		101.757
PV.	1.431	103.166		1.355	101.735
0+460			1.505		101.661
0+480			1.709		101.457
PV.	1.309	102.806		1.669	101.497
0+500			1.535		101.271
0+520			1.66		101.146
PV.	1.38	102.566		1.62	101.186

Continuación de la Tabla V

0+540			1.559		101.007
0+560			1.764		100.802
PV.	1.43	102.107		1.889	100.677
0+580			1.614		100.493
0+600			1.874		100.233
PV.	0.664	101.592		1.179	100.928
0+620			1.549		100.043
0+640			1.761		99.831
PV.	0.635	101.177		1.05	100.542
0+660			1.479		99.698
0+680			1.64		99.537
PV.	0.541	100.893		0.825	100.352
0+700			1.52		99.373
0+720			1.629		99.264
PV.	0.81	100.653		1.05	99.843
0+740			1.495		99.158
0+760			1.616		99.037
PV.	1.231	100.359		1.525	99.128
0+780			1.446		98.913
0+800			1.611		98.748
PV.	0.817	100.036		1.14	99.219
0+820			1.425		98.611
0+840			1.575		98.461
PV.	1.509	99.874		1.671	98.365
0+860			1.38		98.494
0+880			1.155		98.719
PV.	1.243	99.579		1.538	98.336
0+900			1.185		98.394
0+920			1.125		98.454
PV.	0.932	99.511		1	98.579
0+940			1.2		98.311
0+960			1.1		98.411
PV.	1.38	99.96		0.931	98.58
0+980			1.338		98.622
1+000			1.145		98.815

3.3 Cálculo de secciones transversales

El cálculo de las secciones transversales se llevó a cabo según la nivelación del eje central, seccionando a cada 20 metros sobre el eje central y 6.50 metros en ambos lados, para determinar el volumen de corte y relleno para la construcción de la carretera.

El método consiste en determinar las cotas a diferentes distancias con respecto al eje central.

Lo anterior se realiza restando la lectura del estadal de la altura del instrumento del eje central, esto como si fuera una radiación.

Tabla VI. Cálculo de secciones transversales

Izquierda		Caminamiento	Derecha	
0.10/5.60	-0.07/2		0+000	-0.05/2
0.6/5.35	-0.022/2	0+020	-0.09/2	-0.16/5.35
0.09/4.64	-0.03/2	0+040	-0.11/2	-0.14/4.64
0.09/6.60	-0.001/2	0+060	0.01/2	0.46/6.60
0.081/6.20	-0.06/2	0+080	0/2	0.04/6.20
0.07/6.35	-0.06/2	0+100	-0.02/2	0.18/6.35
0.10/6.58	-0.03/2	0+120	0.02/2	0.18/6.58
-0.34/6.67	-0.04/2	0+140	-0.02/2	0.16/6.67
-0.08/6.65	-0.02/2	0+160	0.02/2	0.17/6.65
0.003/6.68	-0.041/2	0+180	0.01/2	0.26/6.68
-0.03/3.92	-0.04/2	0+200	0.01/2	0.28/6.92
-0.04/6.80	-0.04/2	0+220	-0.002/2	0.24/6.80
-0.05/6.93	-0.04/2	0+240	0.03/2	0.29/6.93

Continuación de la Tabla VI

-0.26/7.25	0.002/2	0+260	-0.04/2	0.40/7.25
-0.13/6.45	-0.01/2	0+280	-0.03/2	0.215/6.45
-0.28/6.18	-0.05/2	0+300	-0.001/2	0.32/6.18
0.02/6.45	-0.04/2	0+320	-0.04/2	0.34/6.45
0.01/6.47	-0.03/2	0+340	-0.01/2	0.60/6.47
0.05/6.36	-0.002/2	0+360	0.018/2	0.44/6.36
0.18/6.02	-0.03/2	0+380	0.01/2	0.35/6.02
0.41/5.85	-0.1/2	0+400	0.01/2	0.46/5.85
0.01/5.55	-0.07/2	0+420	0.01/2	0.428/5.55
0.21/5.60	0.005/2	0+440	0.14/2	0.64/5.60
0.14/5.85	-0.19/2	0+460	0.05/2	0.47/5.85
-0.12/6.15	-0.07/2	0+480	0.02/2	0.40/6.15
-0.003/6.03	-0.123/2	0+500	0.07/2	0.60/6.03
0.141/6.00	-0.17/2	0+520	0.10/2	0.39/6.00
0.11/5.85	-0.09/2	0+540	0.03/2	0.55/5.85
-0.08/5.80	-0.14/2	0+560	0.05/2	0.40/5.80
0.03/6.15	-0.11/2	0+580	0.05/2	0.54/6.15
0.30/6.67	-0.04/2	0+600	-0.002/2	0.48/6.67
0.64/5.91	0.005/2	0+620	0.07/2	0.54/5.91
0.44/5.35	-0.03/2	0+640	0.04/2	0.49/5.35
0.62/5.25	0.02/2	0+660	0.06/2	0.40/5.25
0.73/5.30	0.01/2	0+680	-0.04/2	0.55/5.30
0.83/5.48	-0.02/2	0+700	0.06/2	0.92/5.48
0.75/5.42	0.04/2	0+720	0.07/2	0.91/5.42
0.73/5.62	0.02/2	0+740	0.03/2	0.86/5.62
0.82/5.75	0.02/2	0+760	0.10/2	0.97/5.75
0.88/5.85	0/2	0+780	0.06/2	1.03/5.85
0.27/6.20	0.04/2	0+800	0.10/2	1.10/6.20
0.38/6.22	0.03/2	0+820	0.07/2	1.21/6.22
0.76/6.30	0.08/2	0+840	0.04/2	1.27/6.30
0.80/6.40	0.05/2	0+860	0.06/2	1.05/6.40
1.07/6.30	-0.32/2	0+880	-0.004/2	1.03/6.30
0.02/5.60	-0.13/2	0+900	0.09/2	0.29/5.60
0.28/5.95	-0.008/2	0+920	0.005/2	0.08/5.95
0.20/6.25	0.008/2	0+940	0.007/2	0.05/6.25
0.02/6.60	-0.17/2	0+960	0.05/2	0.47/6.60
-0.16/6.45	-0.128/2	0+980	0.09/2	0.36/6.45
-0.16/6.45	-0.13/2	1+000	0.09/2	0.37/6.45

4. ALUMBRADO ELÉCTRICO

Es sumamente importante en un tramo carretero la iluminación para los peatones y el flujo vehicular, por seguridad, ya que uno de los factores de prevención de accidentes en horas de la noche es la iluminación.

4.1 Aspectos técnicos

Se consideran los criterios fundamentales siguientes:

- El nivel de luminancia y/o iluminación.
- La uniformidad de luminancia y/o iluminación.
- La limitación del deslumbramiento.
- La guía óptica.

En estas normas únicamente se consideran los tipos de lámparas de vapor de mercurio y de sodio, ambas de alta presión. La selección de estas lámparas está determinada por:

- El flujo luminoso (lúmenes).
- La economía (costo inicial, costo mantenimiento, eficiencia lúmenes/W y su vida útil).
- La luminancia de la lámpara y su área emisora.
- El color de la luz emitida.

En la selección de la luminaria se toma en cuenta: la naturaleza del sistema óptico y la distribución de luz que se proporcione, el sistema protector, la utilización del flujo luminoso, la resistencia a las condiciones atmosféricas, las facilidades de instalación y mantenimiento, las dimensiones y pesos de la unidad completa, las limitaciones en la altura de montaje, el rendimiento de los colores, y el aspecto económico.

Características:

Los requisitos que las luminarias deben satisfacer son: materiales apropiados y construcción robusta, disipación de calor adecuado, facilidad de montaje y mantenimiento y diseño estético.

La cubierta de la luminaria deberá ser de aluminio fundido a presión, sin porosidades, de espesor uniforme, de superficie a prueba de corrosión y oxidación.

El reflector deberá ser de cristal prismático, templado, que absorba los esfuerzos mecánicos causados por los cambios bruscos de temperatura y golpes, resistente al calor y de factor de transmisión elevado. Se aceptarán refractores de plástico de tipo abierto o cerrado, siempre que éstos reúnan, en grado satisfactorio, las características de los refractores de vidrio. El color de los refractores no se deberá alterar con el tiempo.

El portalámpara deberá ser resistente, de porcelana de buena calidad.

Todas las partes movibles del conjunto, como el refractor y el soporte del portalámpara, deberán estar sellados con juntas de neopreno y silicón, con el fin de soportar altas temperaturas que amortigüen golpes y vibraciones y protejan la luminaria contra el polvo, humedad, insectos, etc.

El aro portarefractor deberá ser de una sola pieza, de material anticorrosivo y antioxidante y deberá sujetarse a la luminaria por medio de bisagras que eviten su caída accidental.

La luminaria de que dispongan de protectores deberá contar con un medio de sujeción para el protector, similar al de los aros portacarretractores. El protector debe ser de cristal templado o plástico y deberá satisfacer los requerimientos mecánicos, térmicos y de hermeticidad de los retractoros.

Se deberá considerar también hacer estudios necesarios para determinar las necesidades de flujo de potencia, deberá mantenerse un nivel de tensión, en todos los nodos del sistema de transporte, de conformidad con lo establecido en las Normas Técnicas de Calidad del Servicio de Transporte y Sanciones –NTCSTS-. La potencia transportada por las líneas de transmisión deberá permanecer por debajo de la potencia máxima de transporte que se determina aplicando los criterios de operación del AMM para garantizar la confiabilidad del SIN o de los Sistemas Aislados. El sistema de Transporte en Alta Tensión en condiciones normales, o con un equipo fuera de servicio, deberá soportar una falla simple sin que se produzca el colapso del sistema eléctrico, entendiéndose por tal un desmembramiento no controlado que, en por lo menos uno de los subsistemas resultantes, provoca una interrupción total del servicio eléctrico.

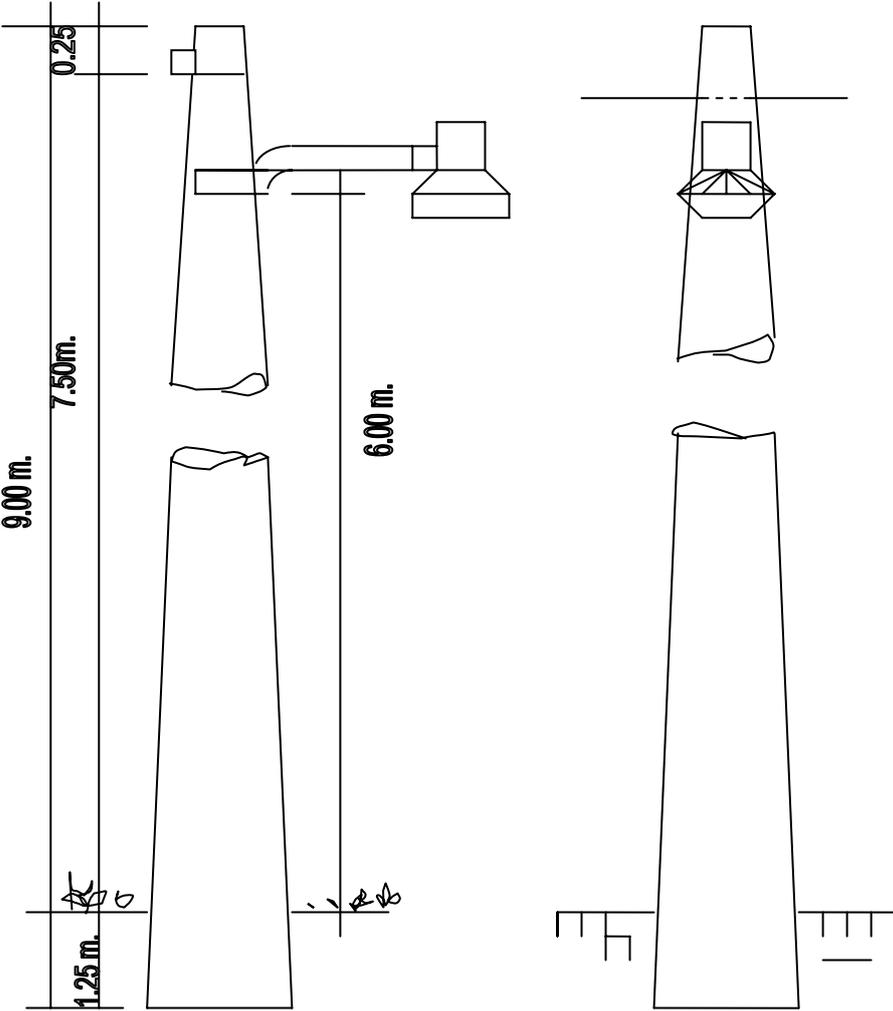
El diseño del aislamiento de las líneas aéreas deberá considerar que los aisladores eviten un salto de arco para prácticamente cualquier condición de operación y condiciones de sobretensiones transitorias, bajo cualesquiera condiciones de humedad, temperatura, lluvia y con las acumulaciones de suciedad, sal y otros contaminantes que no son desprendidos por el lavado periódico de las aguas de lluvia.

Los aisladores podrán ser de porcelana, vidrio u otro material que provea características mecánicas y eléctricas iguales o superiores que los antes mencionados. Deberán estar identificados por su fabricante ya sea con su nombre comercial, con un número de catálogo, u otro medio, de tal forma que permita determinar sus propiedades eléctricas y mecánicas a través de catálogos u otra literatura.

A continuación se describe el material técnico que se usa en la instalación del alumbrado.

- 21 mts.de cable de acero de $\frac{1}{2}$ “
- 24 mts.de alambre sólido de aluminio No. 6 AWG.
- 2 remates preformados para cable de acero.
- 1 aislador de carrete ANSI 53-2.
- 2 aislador de espiga ANSI 55-4.
- 1 estribo para aislador de carrete.
- 1 espiga para punta de poste de 18”.
- 1 ancla de concreto.
- 4 arandelas de $2\frac{1}{4}$ “ x $2\frac{1}{4}$ “ x $\frac{3}{16}$ “ con agujeros de $\frac{11}{16}$ “.
- 4 contratueras para perno de $\frac{5}{8}$ “.
- 2 Fijadores de ángulo.
- 1 varilla para anclaje sencilla de $\frac{5}{8}$ “x 7 ‘.
- 2 pernos de máquina de $\frac{5}{8}$ ”
- 1 poste de 9 mts.
- 1 protector preformado corto No.2AWG.
- 1 protector preformado largo No.2AWG.
- 3 conectores de compresión “c”.
- 1 arandela de 4” x 4 “ x $\frac{1}{2}$.
- 1 tubo espaciador de 50 m.m. $\frac{3}{4}$ ”.

Figura 4. Poste de electricidad



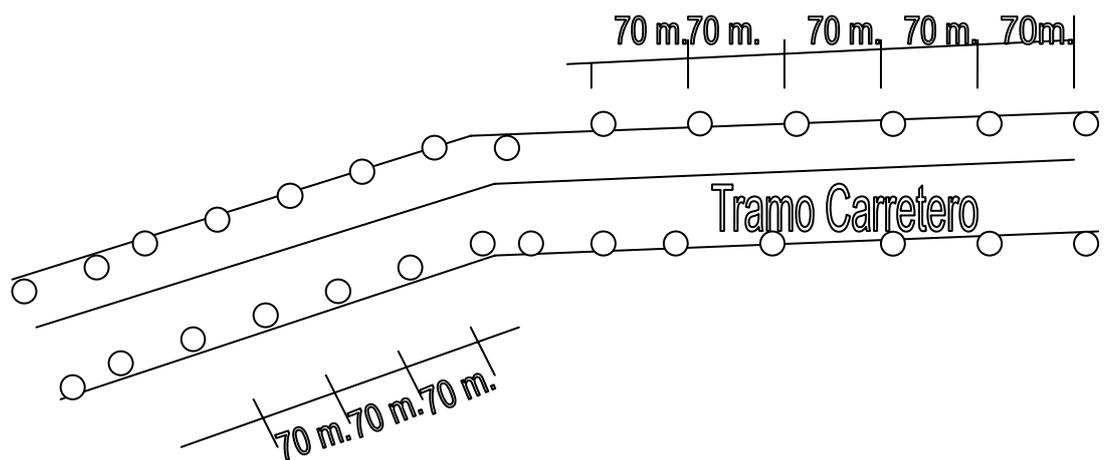
Poste de 9.00 m.

4.2 Redistribución

La distribución de los postes actualmente no tiene una distancia estándar. Éstos varían desde 40, 50, 80,100 y hasta 200 metros, por lo que en este diseño se recomienda que sea a cada 70 metros.

Debe considerarse una medida estándar, ya que es sumamente importante mantener constante la iluminación durante todo el trayecto de la carretera y evitar áreas muy oscuras debido a la falta de iluminación.

Figura 5. Redistribución



5. DISEÑO DE LOCALIZACIÓN

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

Aspectos técnicos del diseño de la carretera del trabajo de EPS.

- Tramo carretero transitable en toda época del año.
- El 80 % de la carretera posee una pendiente igual o menor al 2 %.
- El ancho de rodadura es de 5.50 metros con 1.0 metro de cuneta en forma triangular, para permitir rebases.
- La velocidad promedio de diseño oscila entre 30 y 40 kilómetros por hora.
- El transporte promedio diario es menor a 400 vehículos.
- El radio mínimo en curvas horizontales es de 67.41 m.
- Bombeo transversal del 3%.
- No existe longitud mínima de curvas verticales debido a las pequeñas pendientes del tramo.

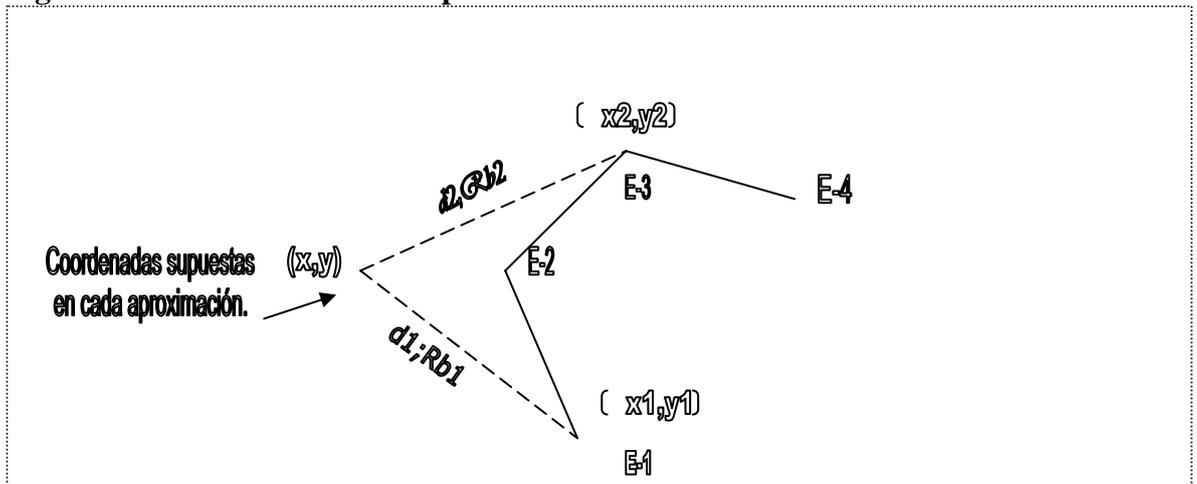
5.1 Corrimiento de línea

Los corrimientos de línea se hacen cuando por razones especiales el caminamiento de la preliminar no llene los requerimientos del proyecto, tales como: especificaciones, pasos obligados, suelo rocoso, barrancos, etc. Los cambios de línea hechos en campo son bastante costosos ya que para esto es necesario trasladar la cuadrilla de topografía, por lo que en la mayoría de los casos se hacen en gabinete, sobre el dibujo polanimétrico en la preliminar, que contiene ya las curvas de nivel.

Existen tres tipos de corrimientos de línea, el primero que cambia totalmente el azimut y distancia de dos de las rectas de la poligonal de la preliminar, el segundo que cambia únicamente en distancia dos rectas, conservando los mismos ángulos, al segundo caso también se le conoce como cálculo de intersecciones, y el tercer caso consiste en obviar una o más estaciones del levantamiento preliminar, para formar una sola recta entre dos puntos.

Primer caso: Es un cálculo hecho por tanteos y para el mismo se deberá dibujar en papel milimetrado, mediante coordenadas, los puntos que contengan las rectas que se quieren modificar, a una escala fácil de leer. Todo corrimiento de línea tiene como base dos puntos fijos y un tercer punto que es el que se quiere modificar y para lo cual se deberán suponer las coordenadas del tercer punto en cada tanteo y chequear si las nuevas rectas calculadas pasan por donde se desea, si esto fuese así únicamente queda calcular el azimut y la distancia de cada recta.

Figura 6. Corrimiento de línea primer caso



$$d1 = \sqrt{[(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2]}$$

$$d2 = \sqrt{[(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2]}$$

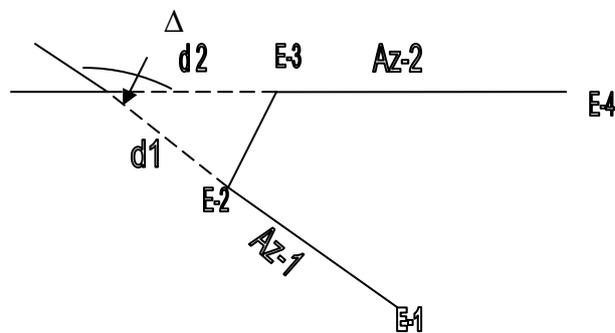
$$Rb_1 = \tan^{-1} \left[\frac{x - x_1}{y - y_1} \right]$$

$$Rb_2 = \tan^{-1} \left[\frac{x_2 - x}{y_2 - y} \right]$$

La dirección del rumbo se obtiene de los signos de resultado de Δx y Δy .

Segundo caso: Es el cálculo hecho en los casos en que una de las rectas del levantamiento de la preliminar es muy corta y no da cabida a la curva o que se desee calcular una sola curva en lugar de dos curvas. Para el cálculo se necesita contar con las coordenadas de los puntos en cuestión, así como de los azimutes de las rectas involucradas, se conservan los azimutes de ambas rectas pero se calculan las distancias a las que estas dos rectas en cuestión se intersectan, formando con esto un solo punto de intersección en lugar de dos.

Figura 7. Corrimiento de línea segundo caso



$$\Delta x = (x_2 - x_1)$$

$$\Delta y = (y_2 - y_1)$$

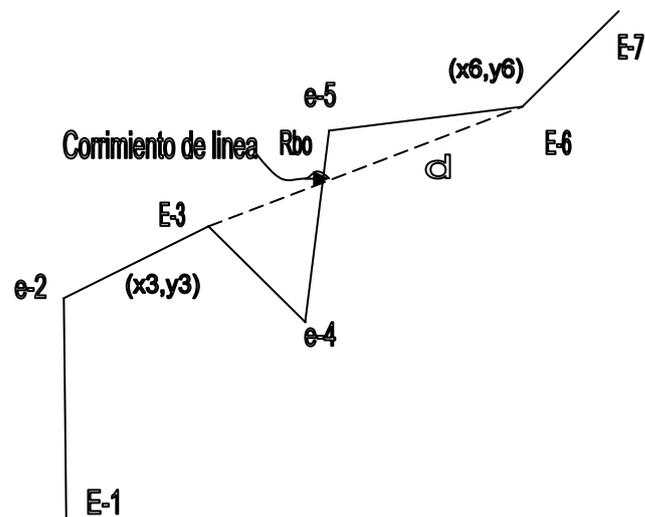
Δ = deflexión angular.

$$d_1 = \frac{\Delta x * \text{Cos } Az_2 - \Delta y * \text{Sen } Az_2}{\text{Sen } \Delta}$$

$$d_2 = \frac{\Delta x * \text{Cos } Az_1 - \Delta y * \text{Sen } Az_1}{\text{Sen } \Delta}$$

Tercer caso: Este corrimiento de línea se calcula cuando el ingeniero diseñador se da cuenta que existe una parte del levantamiento de la preliminar, que puede evitarse o acortarse sin causar que el diseño de localización sufra cambios técnicamente inaceptables, por lo que únicamente se tendrá que calcular la distancia y el azimut de la recta que unirá a dos puntos del levantamiento de preliminar obviando por lo menos un punto del mencionado levantamiento.

Figura 8. Corrimiento de línea tercer caso



$$d = \sqrt{[(x_6 - x_3)^2 + (y_6 - y_3)^2]}$$

$$R_{bo} = \tan^{-1} \left[\frac{x_6 - x_3}{y_6 - y_3} \right]$$

La dirección del rumbo se obtiene de los signos de $x_6 - x_3$; $y_6 - y_3$; ubicados respectivamente en un eje de coordenadas rectangulares.

En el diseño del proyecto que se trabajo de EPS no fue necesario calcular corrimientos, pero se muestra la información anterior para tener noción del mismo.

5.2 Cálculo de elementos de la curva horizontal

Consiste en el diseño de la línea final de localización en planimetría mediante el cálculo de las curvas horizontales, las cuales definirán la ruta a seguir y constituyen la guía fundamental a la cuadrilla de topografía para el trazo de la carretera.

En el proceso de diseño y cálculo se deben considerar varios aspectos técnicos, los cuales se enumeran a continuación:

- a) Todo el diseño debe ir basado en el principio de seguridad y comodidad en la carretera.
- b) Una carretera diseñada a seguir las ondulaciones de las curvas a nivel es preferible a una con tangentes largas pero con repetidos cortes y rellenos, ya que esto disminuye los costos.
- c) Para una velocidad de diseño dada, debe evitarse, dentro de lo razonable, el uso de radios mínimos en el cálculo de las curvas horizontales.
- d) En carreteras del área rural es conveniente evaluar si se usa un radio menor al mínimo permitido por la velocidad de diseño a cambio de incrementar considerablemente el costo de la obra al utilizar radios mayores. En estos casos, el criterio del ingeniero diseñador es importante, ya que las curvas deben ser diseñadas de tal forma que los vehículos puedan circular sin necesidad de hacer maniobras de retroceso, para poder recorrer la curva.

- e) Se debe procurar, en todo lo posible, aumentar la longitud de las tangentes.
- f) Se deben evitar curvas en donde se localicen puentes, ya que éstos deberán ubicarse preferiblemente en tangentes, pero en situaciones especiales, se ampliará la curva con un sobrancho o diseñar un puente curvo.
- g) No deberán diseñarse curvas con radios mínimos previos a entrar a un puente.
- h) En terrenos llanos es conveniente evitar el diseño de tangentes demasiado largas, ya que la atención del conductor se pierde y pueden provocarse accidentes.
- i) Debe chequearse en cada cálculo la longitud de la tangente, ya que ésta no podrá ser jamás negativa, porque esto indicaría que dos curvas horizontales se están traslapando.

Después de considerar los aspectos anteriores y los que la experiencia del ingeniero diseñador posea, se procede al cálculo de las curvas horizontales, con la ayuda de dos escuadras, un compás, un juego de curvas de diseño y las especificaciones respectivas. El diseño planimétrico de carreteras es un proceso de tanteos hasta que se consigue el óptimo. En los siguientes incisos se calcularán cada elemento de la curva de la estación 28, a la vez se explican cada una de las fórmulas.

Por lo anterior es necesario contar con los datos siguientes:

Δ = deflexión angular.

$\Delta = Az_2 - Az_1$.

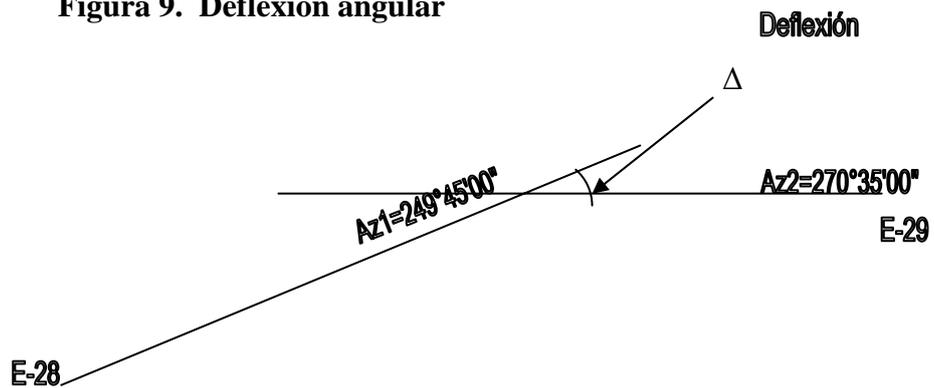
Az1, Az2 = Azimut 1 y Azimut 2.

d1, d2 = Distancia 1 y Distancia 2.

Por lo que: $\Delta = 270^\circ 35' 00'' - 249^\circ 45' 00''$

$$\Delta = 20^\circ 50'$$

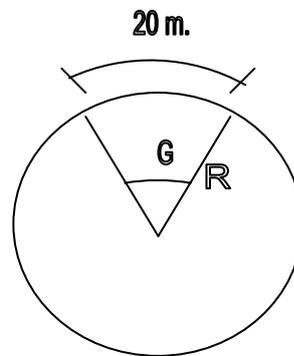
Figura 9. Deflexión angular



5.2.1 Grado de curvatura (G)

Es el ángulo subtendido por un arco de 20 metros de longitud. Debido a que el grado de curvatura y el radio de una curva horizontal dependen una de la otra, existen especificaciones para carreteras que enumeran una serie de radios para distintos grados de curvatura, considerando las velocidades de diseño.

Figura 10. Grado de curvatura



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

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

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

$$G = 1145.9156 / 67.41 = 17$$

Debido a la velocidad de diseño, que es de 30 kms/h, se tomó el radio mínimo de 67.41 por lo que al hacer los cálculos obtenemos $G = 17$.

5.2.2 Longitud de curva (LC)

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

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

$$L_c = \frac{2 \pi \Delta(1145.9156 / G)}{360} = \frac{2 \pi \Delta(1145.9156)}{360 * G}$$

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

Del ejemplo que estamos desarrollando:

$$L_c = 20(Az_2 - Az_1) = 20(270^\circ 35' 00'' - 249^\circ 45' 00'') = 24.51 \text{ m.}$$



5.2.3 Subtangente (ST)

Es la distancia entre el principio de curva (Pc) y el punto de intersección (Pi) o entre el punto de intersección (Pi) y el principio de tangente (Pt).

$R = 67.41$ debido a la velocidad de diseño que es de 30 km/h. según especificaciones de carreteras.

$$Tg (\Delta / 2) = St / R$$

$$\text{Entonces } St = R * Tg (\Delta / 2)$$

Calculando,

$$St = 67.41 * Tg (20^\circ 50' / 2)$$

$$St = 12.39 \text{ m.}$$

5.2.4 Cuerda máxima (Cm)

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

$$\text{Sen } (\Delta / 2) = [\text{cm}/2] / R \quad \text{Entonces:} \quad \text{Cm} = (2)(R)(\text{sen } (\Delta / 2))$$

Por lo que Cm será;

$$\text{Cm} = (2)(67.41)[\text{sen } (20^{\circ}50' / 2)]$$

$$\text{Cm} = 24.38 \text{ m.}$$

5.2.5 External (E)

Es la distancia desde el punto de intersección (PI) al punto medio de la curva.

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

Así que;

$$E = 61.47 \text{ sec } (20^{\circ}50' / 2)$$

$$E = 62.50 \text{ m.}$$

5.2.6 Ordenada media (OM)

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

$$\cos(\Delta / 2) = (R - OM) / R$$

$$R * \cos(\Delta / 2) = R - OM$$

$$OM = R - R * \cos(\Delta / 2)$$

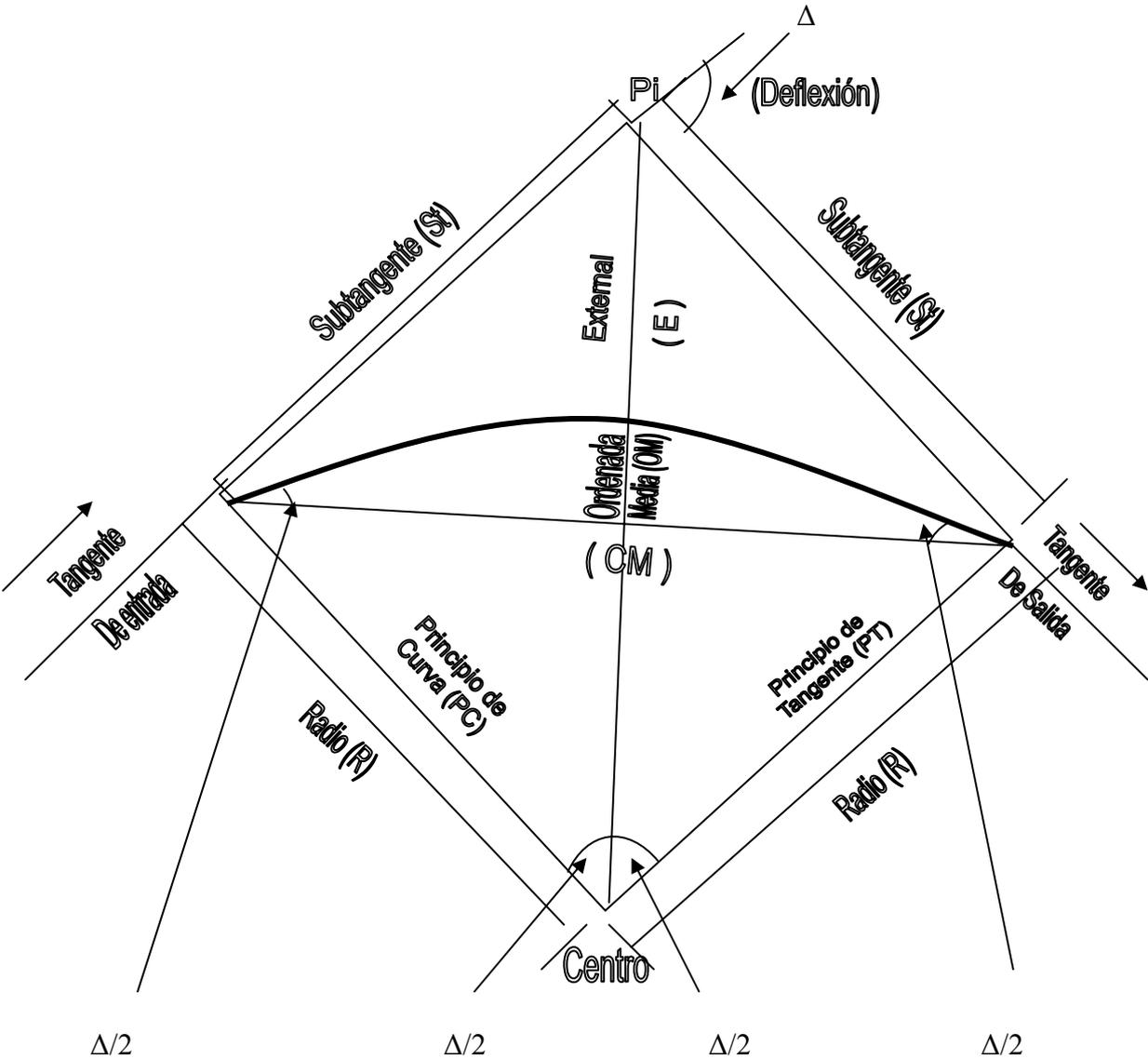
$$OM = R * (1 - \cos(\Delta / 2))$$

$$OM = 67.41 (1 - \cos(20^\circ 50' / 2))$$

$$OM = 1.11 \text{ m}$$

A continuación se ubican todos los elementos de una curva horizontal anteriormente explicados.

Figura 11. Elementos de una curva horizontal



5.3 Determinación de curva vertical

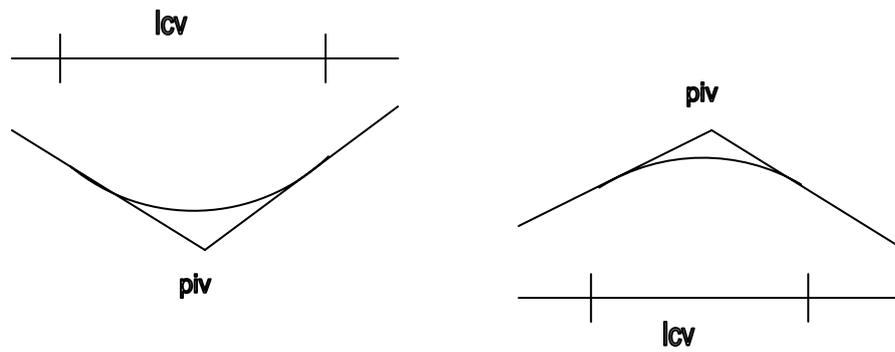
Como se mencionó anteriormente, las carreteras no sólo están conformadas por curvas horizontales, sino que también por curvas verticales, lo anterior significa que se está trabajando en tres dimensiones. Para su diseño y simplificación de trabajo las carreteras se desglosan en planimetría y altimetría. En la parte de la altimetría se estudia lo que son las curvas verticales y los parámetros que la definen. Una curva vertical se da cuando en el perfil hay cambios de pendiente. Las curvas verticales pueden ser cóncavas o convexas. También existen curvas en ascenso con ambas pendientes positivas (convexas), y curvas en descenso con ambas pendientes negativas (cóncavas).

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

Las especificaciones para curvas verticales están en función de la diferencia algebraica de pendientes y de la velocidad de diseño.

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

Figura 12. Curvas verticales



Las longitudes mínimas de curvas verticales se calculan mediante las siguientes fórmulas:

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

Donde:

K = constante que depende de las velocidades de diseño.

A = diferencia algebraica de pendientes.

Los valores de K se enumeran en la tabla siguiente:

Tabla VII. Velocidades de diseño

VEL. DE DISEÑO.(Km).	CÓNCAVA VALORES DE K.	CONVEXA VALORES DE K.
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

6.1 Diseño de sub-rasante

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

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

La sub-rasante es la que define el volumen del movimiento de tierras, el que a su vez se convierte en el renglón más caro en la ejecución, por lo que la sub-rasante se convierte en el elemento que más determina el costo de un proyecto de carretera. Es necesario considerar que el relleno es mucho más caro que el corte, por lo que hay que tomar en cuenta tal situación para definir el óptimo.

Para calcular la sub-rasante, es necesario disponer de los siguientes datos:

- La sección típica que se utilizará
- El alineamiento horizontal del tramo.
- El perfil longitudinal del mismo.
- Las secciones transversales.

- Las especificaciones o criterios que regirán el diseño.

- Datos de la clase de material del terreno.
- Datos de los puntos obligados de paso.

El terreno del proyecto en diseño es llano, cuyo perfil tiene pendientes longitudinales pequeñas y uniformes, como también pendientes transversales escasas. Este tipo de terreno su subrasante se debe diseñar en tramos pequeños de relleno.

Existen otras recomendaciones de importancia que se deben considerar en el diseño de la sub-rasante, que se enumeran a continuación:

- a) Deben evitarse los vados que forman curvas verticales de corta longitud, ya que brindan condiciones de seguridad y estética muy pobres.
- b) Debe evitarse curvas cortas en contrapendientes porque las luces de los carros no iluminan convenientemente.
- c) Las pendientes más fuertes deben quedar al inicio del ascenso y suavizar las pendientes en las proximidades de la cima.
- d) Evitar curvas verticales cóncavas en corte, porque existe dificultad en el drenaje cuando enlacen pendientes de signo contrario.
- e) Para simplificar los cálculos es recomendable colocar los puntos de intersección vertical en estaciones exactas.

- 1) Se localizan dos puntos conocidos que se han seleccionado como puntos de intersección vertical (PIV). La pendiente entre ellos será el parámetro para determinar si son adecuados o deben ser reubicados. Luego, cada 20 metros, y en cada punto de cambio de curva horizontal (principio de curva, centro de curva y principio de tangente), se determina analíticamente la altura que tendrá la sub-rasante.
- 2) Se puede tener también un punto conocido y una pendiente determinada. A partir del punto seleccionado para ser PIV, se calcula la altura correspondiente del siguiente PIV según el perfil del terreno.

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

6.2 Cálculo de correcciones por curva vertical a sub-rasante

Luego de calcular las elevaciones de la sub-rasante conformada por rectas de pendientes definidas, si es necesario deben corregirse las mencionadas alturas de los caminamientos que conforman las curvas verticales, puesto que lo que se pretende es dar un cambio suave entre la pendiente de entrada y salida.

La ordenada máxima (OM) es el máximo cambio de la curva hasta el centro, tanto de entrada como de salida, y las fórmulas son:

$$OM = (P2 - P1) / 800 * LCV \quad 51$$

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

Donde:

P1 = Pendiente de entrada.

P2 = Pendiente de salida.

OM = Ordenada media.

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

LCV = Longitud de curva vertical.

Y = Corrección vertical.

Esta corrección se suma a la cota de sub-rasante, obteniendo así la sub-rasante corregida, base para el resto del cálculo.

6.3 Cálculo de áreas de secciones transversales

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

Tomando en cuenta la sección⁵² topográfica transversal, se localiza el punto central de la carretera, el cual puede quedar ubicado sobre el terreno natural, marcando con esta área de relleno y debajo del terreno natural, área de corte;

a partir del cual se habrá de trazar la sección típica, contemplando el ancho de rodadura, con su pendiente de bombeo de 3 % o el peralte que sea apropiado si corresponde a un caminamiento en curva horizontal; el ancho del hombro de la carretera, con su pendiente; taludes, de corte y relleno según se presente el caso, determinando su pendiente en razón al tipo de material del terreno y la altura que precisen. Es de hacer notar que cuando es necesario se marca un espacio de remoción de capa vegetal en el que se cortará en una profundidad aproximadamente de 30 cms. Este se considera en un renglón diferente al corte para material de préstamo, no así cuando se considere corte de material de desperdicio.

El perfil exacto de la cuneta por lo general se calcula aparte para considerarlo como excavación de canales.

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

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

CORTE:

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

RELLENO:

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

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

planímetro polar. Si no se dispone de un planímetro, puede calcularse el área, asignando coordenadas totales como se considere conveniente y aplicar el método de los determinantes para encontrar el área:

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

Figura 13. Área de una sección transversal

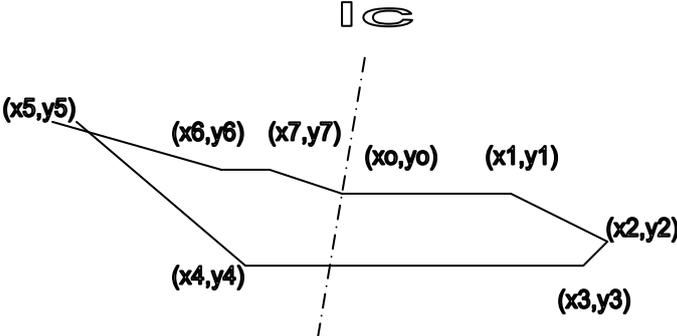


Tabla VIII. Tabla de determinantes

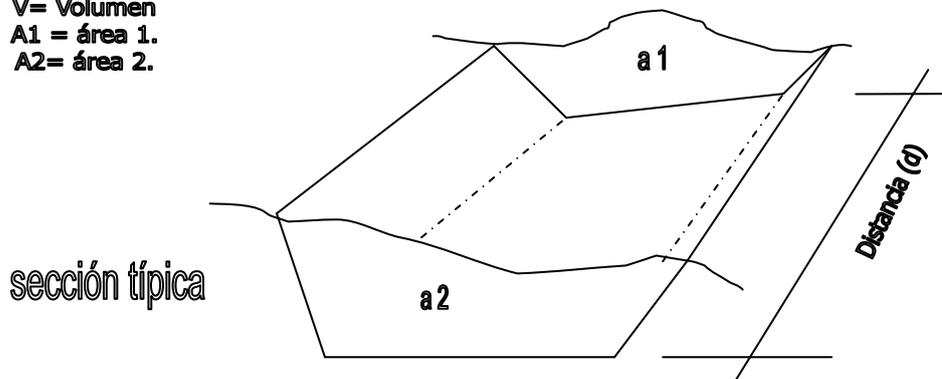
X		Y
x0		y0
x1		y1
x2	*	y2
x3	*	y3
x4	*	y4
x5	*	y5
x6	*	y6
x7	*	y7
x0	*	y0
$a = \sum (x * y)$		$b = \sum (y * x)$

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

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

Figura 14. Sección típica de un volumen de área

V= Volumen
 A1 = área 1.
 A2= área 2.



$$V = [(A1+A2) / 2] * d$$

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

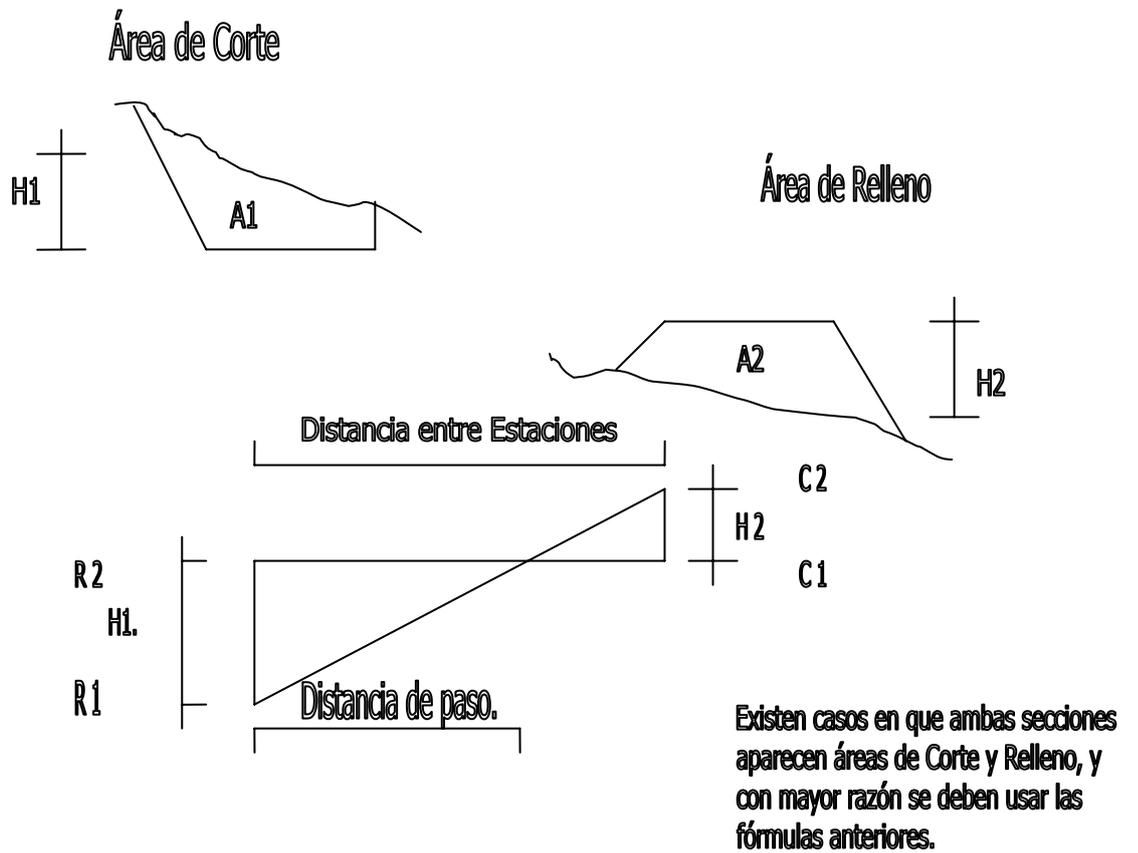
$$\text{Vol. Corte} = (C_1+C_2)^2 / [2*(C_1+C_2+R_1+R_2)] * D$$

$$\text{Vol Relleno} = (R_1+R_2)^2 / [2*(C_1+C_2+R_1+R_2)] * D$$

Donde :

- C_1 = Área de corte en la primera sección.
- C_2 = Área de corte en la segunda sección.
- R_1 = Área de relleno en la primera sección.
- R_2 = Área de relleno en la segunda sección.

Figura 15. Tipos de áreas



Ejemplo: Cálculo del área de corte de caminamiento.

Figura 16. Corte de un caminamiento

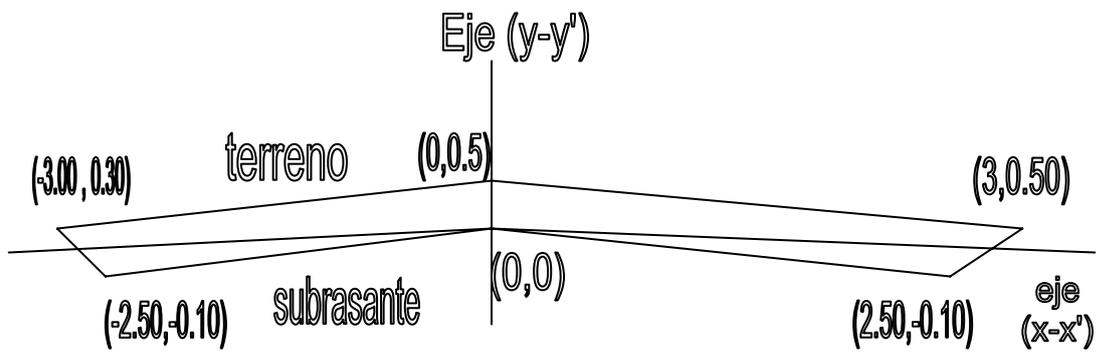


Tabla IX. Desarrollo del método de determinantes

a	x	Y	b
	0	0	
0	-2.5	-0.1	0
0.3	-3	0.3	-0.75
0	0	0.5	-1.5
1.5	3	0.5	0
1.25	2.5	-0.1	-0.3
0	0	0	0
$\Sigma = 3.05$			$\Sigma = -2.55$

$$A = \left| \frac{a - b}{2} \right|$$

$$A = \left| \frac{3.05 - (-2.55)}{2} \right|$$

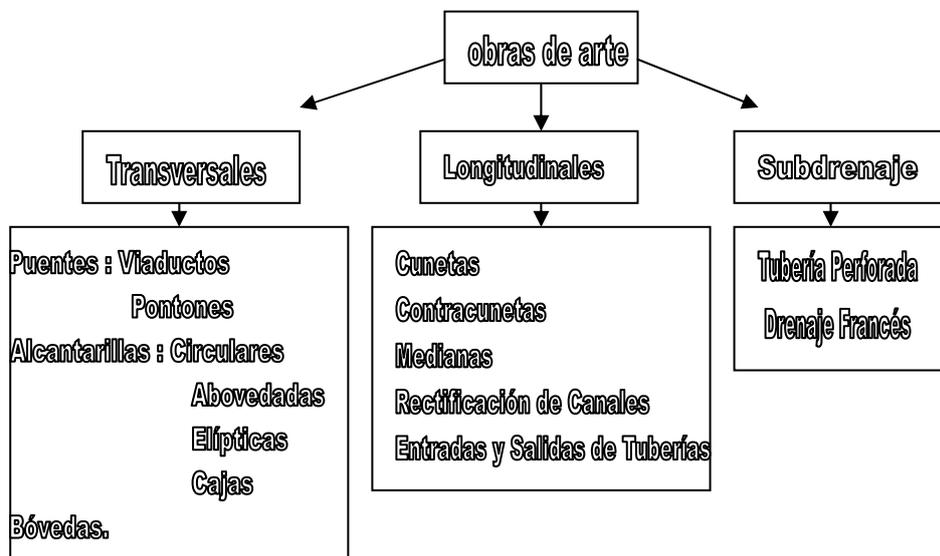
$$A = 2.80 \text{ m}^2$$

El drenaje tiene la función de eliminar el agua o la humedad que en cualquier forma pueda perjudicar a la carretera.

Cuando el agua perjudica la carretera, se encarece el costo de construcción o el mantenimiento a la misma, y hasta se puede llegar a paralizar el tráfico.

El estudio del drenaje no sólo debe realizarse para el cruce de ríos o riachuelos, si no que para cualquier obra de drenaje por pequeña que sea, ya que del diseño de esto depende en gran parte la vida de la carretera.

Los drenajes se le denominan también obras de arte, y se dividen de la siguiente manera:



7.1 Estudio hidrológico

Para determinar el caudal de escorrentía superficial máxima que puede presentarse en una determinada zona se usa el método racional.

7.1.2 Método racional para determinación de cálculos de diseño

Este método consiste en considerar el caudal que se espera de un área cuya escorrentía converge con un punto o línea determinada (por ejemplo una cuneta), en un momento de máxima intensidad de precipitación.

El método racional está representado por la siguiente fórmula:

$$Q = CIA / 360$$

Donde:

Q = Caudal de diseño, en metros cúbicos por segundo.

C = Coeficiente de escorrentía (depende del tipo de superficie)

A = Área drenada por la cuneta, en Ha.

I = Intensidad de la lluvia en mm/h.

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

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

63

Donde a y b son constantes proporcionadas por el INSIVUMEH y t es el tiempo de concentración del lugar analizado, que generalmente se considera en 12

minutos en cuencas pequeñas, para cuencas grandes debe hacerse un análisis más minucioso considerando la pendiente promedio de la cuenca y de la velocidad de la partícula de agua analizada.

Los coeficientes de escorrentía más usados en carreteras se enumeran a continuación:

Centro de la ciudad	0.70 - 0.95
Fuera del centro de la ciudad	0.50 - 0.70
Parques, cementerios	0.10 - 0.25
Áreas no urbanizadas	0.10 - 0.30
Asfalto	0.70 - 0.95
Concreto	0.80 - 0.95
Adoquín	0.70 - 0.85
Suelo arenoso	0.15 - 0.20
Suelo duro	0.25 - 0.35
Bosques	0.20 - 0.25

El área del proyecto que se diseñó es no urbanizado, por consiguiente se usa un coeficiente de escorrentía de 0.30.

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

Según las características pluviales del área se calcula el caudal que deberá conducirse en la cuneta.

Se establecen las condiciones de la cuneta:

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

Con base en esta información se calcula;

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

Al igualar el caudal tributario y el que puede conducir el canal, se determina el tirante que deberá tener. El canal para cunetas generalmente se hace de sección trapezoidal, semicircular, cuadrada e incluso triangular.

Cuando el tramo que drena la cuneta se hace muy largo, y por ende el área resulta conduciendo caudales muy altos, se hace necesario descargarlos. En la mayoría de casos se desvía la cuneta hacia una pendiente apropiada, haciendo un

canal revestido con concreto o balasto que evita la erosión y el daño a la sub-base de la carretera. En caso contrario, se hace pasar por debajo de la carretera con un drenaje transversal.

7.3 Diseño de drenaje transversal

El drenaje transversal se usa en dos casos:

- a) Para evitar que el agua de corrientes superficiales se acumule en un lado de la carretera, afectando así la base de la misma o que la inunde.
- b) Para conducir el agua pluvial reunida por las cunetas de un lado al otro de la carretera.

En el primer caso habrá que determinar el caudal máximo de la corriente (quebrada, río, etc.), por medio de mediciones de la sección de la corriente y de las velocidades del flujo en la época más lluviosa del año. También debe averiguarse sobre el nivel máximo que ha alcanzado en otros años.

También deben observarse otros aspectos, como la pendiente y condiciones del lecho de la corriente, enviaje, puntos de erosión y puntos posibles de canalización.

En el caso de conducir el agua pluvial proveniente de las cunetas, se puede tomar este dato de diseño ya realizado,⁶⁶ cuidando de observar cuánta convergen en el punto a estudiar.

Para esta segunda opción, generalmente el drenaje se coloca en curvas horizontales para evacuar el caudal de su parte interna donde, debido a la topografía del terreno, el agua de las cunetas converge, y se acumularía sin este drenaje; también se coloca en los puntos menores de curvas verticales cóncavas y en tramos rectos donde el caudal a conducir por una cuneta excedería su capacidad y no puede derivarse hacia fuera por situaciones topográficas.

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

A continuación se ejemplifica el procedimiento para el cálculo de un drenaje transversal, ya que el procedimiento de diseño para una cuneta y un drenaje transversal son los mismos, lo único que varía es la sección, ya que en la cuneta generalmente es trapezoidal y en el drenaje transversal es circular.

El área será por donde escurre el agua, teniendo un área de 20,000 metros cuadrados y sabiendo que una hectárea tiene 10,000 metros cuadrados, entonces, tenemos 2 hectáreas.

Luego existe un promedio que se usa en la capital de 120 mm/h para la intensidad, por lo que usamos este valor, pero debemos considerar que para diseños en otros lugares deben aplicarse otros valores.

Área = 2 Hectáreas.

C = 0.30

I = 120 mm./h.

$$Q = CIA / 360$$

$$Q = (0.30)(120)(2) / 360$$

$$Q = 0.20 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

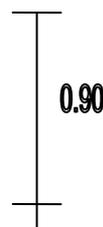
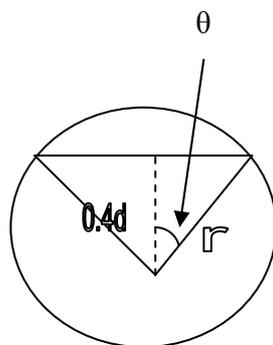
Condiciones de diseño:

$$S = 3 \%$$

Lleno al 90 %.

Q = caudal

Figura 18. Sección de un drenaje



Fórmula de Radio Hidráulico

$$R = A/P = \text{Area} / \text{Perímetro mojado}$$

$$\cos \theta = 0.4d / 0.5 d$$

$$\theta = \cos^{-1}(0.4 / 0.5)$$

$$\theta = 36.86989765$$

$$\theta = 0.6435 \text{ rad.}$$

$$\begin{aligned}
 1- \quad \text{Área del círculo} &= \pi r^2 \\
 &= \pi (d/2)^2 \\
 &= \pi d^2/4 \\
 A1 &= 0.78 d^2
 \end{aligned}$$

2- Área del sector circular:

$$\begin{aligned}
 &0.6435 (d/2)^2 = 0.161d^2 \\
 A2 &= 0.161 d^2
 \end{aligned}$$

3- Área del triángulo:

$$\begin{aligned}
 &2 (1/2 * (0.4d*0,3d)) = 0.12 d^2 \\
 A3 &= 0.12 d^2
 \end{aligned}$$

$$A = A1 - A2 + A3$$

$$A = 0.785 d^2 - 0.161 d^2 + 0.12 d^2$$

$$A = 0.744 d^2$$

$$P = \pi d - 0.6435 * d/2$$

$$= (\pi - 0.322)d$$

$$P = 2.82 d.$$

$$R = A/P$$

$$= 0.74 d^2 / 2.82 d$$

$$= 0.26 d$$

Usando la fórmula de Manning.

$$Q = (1/n) * AR^{(2/3)} * S^{(1/2)}$$

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

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

$$Q = (0.0514/0.015) d^{(8/3)}$$

$$Q = 3.4266 d^{(8/3)} \text{ Entonces } d = (Q/3.4266)^{(3/8)}$$

Para $Q = 0.20$ m/seg.

$$d = (0.20 / 3.4266)^{(3/8)}$$

$$d = 0.34\text{m}$$

$d = 13.38$ “Por lo que aproximamos a 14 “.

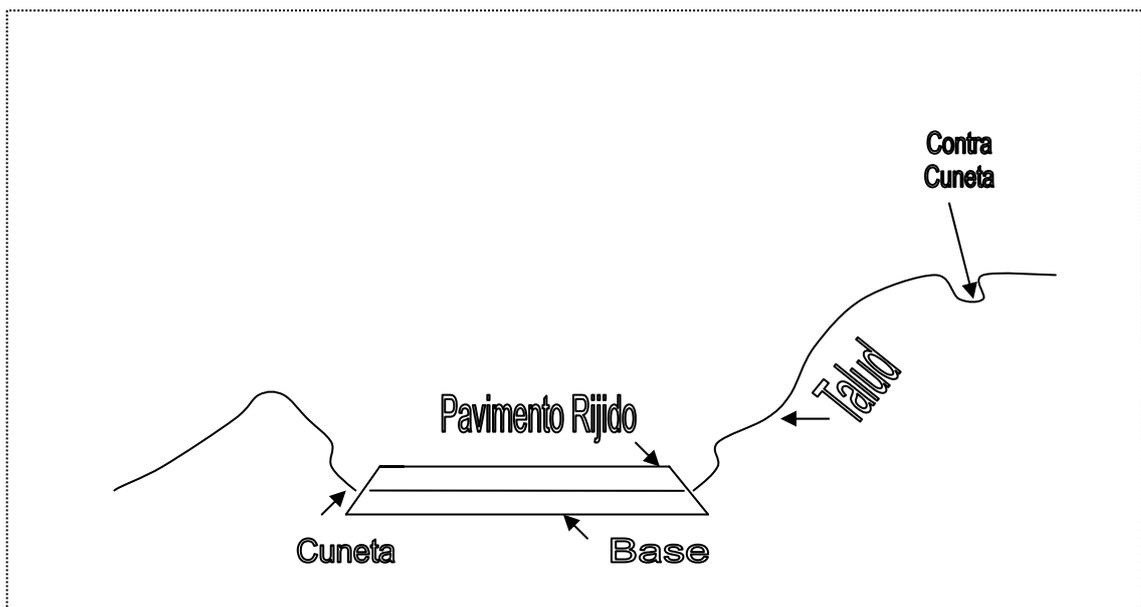
7.4 Contracunetas

Cuando el área tributaria a un lado de la carretera es demasiado grande y/o inclinada, puede producir algunos problemas:

Por ejemplo, arrastrar una cantidad muy grande de sedimentos, que contribuirá solamente a formar tapones en las cunetas y drenajes, por lo que se prefiere construir un canal afuera de la carretera y paralelo a ella; debe tener la capacidad de conducir el agua necesaria sin revestimiento, lo cual evita los problemas citados arriba. El cálculo que se necesita efectuar es prácticamente el mismo de las cunetas, pero considerando una superficie de tierra, utilizando un factor de seguridad, puesto que por lo general son objeto de menos mantenimiento.

En el proyecto de EPS no se diseñaron contracunetas porque no fue necesario debido a las condiciones del área. Únicamente explicamos la forma de una sección típica de una contracuneta.

Figura 19. Sección típica de una contra cuneta



8. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES

Tipos de carretera:

Carretera Tipo "A", ancho de calzada 7.20m, ancho de terracería corte 25 m, ancho de terracería relleno 24 m, ancho de derecho de vía 50m.

Carretera Tipo "B", ancho de calzada 7.20m, ancho de terracería corte 13 m, ancho de terracería relleno 12 m, ancho de derecho de vía 25m.

Carretera Tipo "C", ancho de calzada 6.50m, ancho de terracería corte 12 m, ancho de terracería relleno 11 m, ancho de derecho de vía 25m.

Carretera Tipo "D", ancho de calzada 6m, ancho de terracería corte 11 m, ancho de terracería relleno 10 m, ancho de derecho de vía 25m.

Carretera Tipo "D-1", ancho de calzada 6m, ancho de terracería corte 10 m, ancho de terracería relleno 9 m, ancho de derecho de vía 25m, ancho de puentes 7.90m.

Carretera Tipo "E", ancho de calzada 5.50m, ancho de terracería corte 9.50 m, ancho de terracería relleno 8.50 m, ancho de derecho de vía 25m.

Carretera Tipo "F", ancho de terracería corte 9.50 m, ancho de terracería relleno 8.50 m, ancho de derecho de vía 25m.

Carretera Tipo "G", ancho de calzada 5.50m, ancho de terracería corte 7.50 m, ancho de terracería relleno 6.50 m, ancho de derecho de vía 25m.

La carretera que se diseñó fue 73 de tipo "E".

Ancho de rodadura:

La carretera será de 2 carriles y tendrá un ancho de calzada de 5.50 m.

Velocidad de diseño:

La velocidad de diseño considerando el área y el acceso al centro de Amatitlán, será de 30 Kilómetros por hora.

Pendiente:

El recorrido de la carretera se encuentra sobre un terreno llano y por lo tanto se usarán pendientes entre 1 % y 0.5 %. Tomando en consideración el mínimo % para facilitar el drenaje en sentido longitudinal y la topografía del lugar.

Bombeo:

El bombeo es la pendiente dada a la corona de las tangentes del alineamiento horizontal, hacia uno y otro lado del eje para evitar la acumulación de agua sobre la superficie de rodadura. Éste permite un drenaje suficiente de la corona con la mínima pendiente. La pendiente mínima de bombeo deberá ser de 3% hacia ambos lados del eje en tangente.

Drenaje transversal:

Para el drenaje transversal se utilizó una rejilla transversal con sección rectangular, con un ancho de 0.40 metros y una profundidad de 0.50 metros, con detalles en los planos, asimismo se colocaron en los extremos cajas colectoras, construidas de concreto.

Drenaje longitudinal:

Se construirán cunetas revestidas de sección triangular a ambos lados de la corona, estas serán construidas con la cuchilla de la motó niveladora.

No se considera la construcción de contracunetas paralelas al eje de la carretera, ya que debido a la topografía del lugar no es necesario.

Material para base:

El suelo existente en la subrasante es bueno para sub-base por lo que únicamente se depositará un material de base que llene los siguientes requisitos. El material debe consistir en piedra o grava de buena calidad. Debe tener un CBR, AASHTO T-193, mínimo de 90%, efectuado sobre muestra saturada a 95% de compactación AASHTO T-180. La porción de agregado, retenida en el tamiz No 4.(4.75 mm.), no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión mayor de 50 á 500 revoluciones, según AASHTO T-6. La porción que pasa el tamiz No 40 (0.425 mm), no debe tener un índice de plasticidad, AASHTO T-90, mayor de 3, ni un límite líquido, AASHTO-89, mayor de 25. el índice de plasticidad en ningún caso mayor de 6.

8.1 Especificaciones técnicas (resumen)

Carretera con pavimento rígido

75

2 carriles

Tráfico promedio diario menor a	400 vehículos livianos
Velocidad de diseño	30 Km/hr.
Ancho de calzada	5.50 mts.
Radio mínimo en regiones llanas	67.41 m.
Pendientes máxima	1 %
Pendiente mínima	0.5 %
Pendiente transversal	3%
Espesor de base	0.10 m
Espesor de la losa	0.16 m
Concreto f_y	300 Kg/cm ²

8.2 Especificaciones técnicas del alumbrado

- Se debe determinar las necesidades de flujo de potencia
- Mantener el nivel de tensión, en todos ⁷⁶ los nodos del sistema de transporte.

- La potencia transportada por las líneas de transmisión deberá permanecer por debajo de la potencia máxima de transporte.
- El sistema de transporte en alta tensión en condiciones normales deberá soportar una falla simple sin que se produzca el colapso.
- El aislamiento en las líneas aéreas deberá considerar que los aisladores eviten un salto de arco para cualquier condición de operación.
- El poste a utilizar debe de ser de 9.00 mts. de concreto.
- El cable debe de ser de acero de $\frac{1}{2}$ “.
- Alambre de aluminio No. 6 AWG.
- En la parte superior del poste debe llevar un tubo esparcidor de 50 mm.
- Un protector preformado No.2 AWG.

- Aisladores de carrete ANSI 53-2
- Aislador de espiga ANSI 55- 77 4.

9. SUELOS

Es sumamente importante un estudio de suelos para proyectos de carreteras debido a la estabilidad de la misma. Es necesario llevar un control de su estado para tener la seguridad de la buena calidad del proyecto. Los problemas que podrían suscitarse por no llevarse a cabo este estudio podrían ser: deslizamientos, baches, y hasta colapsos.

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

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

En el trazo de la carretera pueden encontrarse capas rocosas que son aparentemente estables, pero que cuando hay un exceso de presión colapsan, por huecos presentes, dejando prácticamente cavernas donde estuvieron, provocando que la carretera caiga aún solamente por su propio peso. Estas formaciones rocosas son en su generalidad, carbonatos, solubles en el agua de lluvia. Por lo mismo, deben evitarse las filtraciones para que no se disuelvan y formen huecos mayores que hagan fallar el suelo.

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

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

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

Es también importante conocer el tipo de suelos que conforman el tramo carretero, para poder dar el tratamiento adecuado y hacer que estos puedan soportar más cargas sin deformarse, proporcionar mayor impermeabilidad y dar alojamiento a las estructuras que se construyan en el proyecto con mayor seguridad de que no colapsen.

9.1 Pruebas de laboratorio

Las pruebas que se practicaron al suelo del proyecto de EPS. fueron las siguientes, y que a continuación se detallan:

- Granulometría.
- Límites de atterberg: límite líquido, límite plástico.
- Proctor.
- CBR.

Granulometría:

El análisis granulométrico de un suelo⁸⁰ consiste en separar y clasificar por tamaños los granos que lo componen.

Existen dos tipos de análisis granulométrico:

- Por tamices: seco o lavado por el tamiz No. 200
- Por sedimentación

El análisis se realizó por tamices. (Lavado por el tamiz No.200)

Forma de preparación de una muestra.

1. Se determina el volumen de suelo necesario para realizara la prueba 100 a 200 gr. para suelos de grano fino, 200 a 500 gr. para suelos arenosos o 1 a 3 kg. para suelos gravosos.
2. Se lava por el tamiz 200 y se deja la muestra en el orno a 110°C.
3. Se pesa la muestra con la bandeja, anotando el peso obtenido en un respectivo formulario diseñado, en el renglón de peso bruto seco (PBS).
4. Se coloca el juego de tamices en orden progresivo de tamiz 1 ½ “ al tamiz No. 200. con el recipiente de fondo abajo. Se vacía el material sobre los tamices y se coloca la tapadera.
5. Se agita todo el juego de tamices horizontalmente con movimientos de rotación y verticalmente con golpes ocasionales. El tiempo de agitado depende de la cantidad de g_1 finos de la muestra, pero por lo general no debe ser menor de 15 minutos. Esta operación se facilita empleando el agitador mecánico de laboratorio.

6. Se quita la tapadera y se separa la malla de 1 ½ “ vaciando la fracción de suelo que ha sido retenida en la malla sobre un papel limpio. A las partículas que han quedado trabadas entre los hilos de la malla, no hay que forzarlas a pasar a través de la misma; inviértase el tamiz y con ayuda de una brocha o un cepillo de alambre, despréndalas y deposítelas sobre el papel.
7. Se pesa cuidadosamente la fracción de la muestra obtenida en el numeral 6 y se pone en una bandeja o cápsula. Se guarda esta fracción de muestra hasta el final de la prueba, para poder repetir las pesadas en caso de error.
8. Se hacen las pesadas de las fracciones que pasan por cada tamiz comenzando con el recipiente de fondo. Todos los pesos que pasan son acumulativos y se anotan en el formulario de registro en la columna correspondiente.

Cálculo

1. Se suman los pesos que pasan por cada malla y se verifica este total con el peso de la muestra que se colocó originalmente en el juego de tamices. Si el error es mayor que 1 %, entonces vuélvase a pesar cada fracción. Si el error es menor que 1 %, entonces se corrige acordemente la fracción más grande.
2. Se determinan los porcentajes del material que pasa por cada malla en relación al peso seco de la muestra original.
3. Con estos datos, se grafica la curva⁸² granulométrica en un papel semilogarítmico: en las ordenadas con escala aritmética, se anotan los porcentajes de material que pasa por las distintas mallas y en las abscisas con

escala logarítmica, se anotan las aberturas de las mallas, las cuales hipotéticamente corresponde al diámetro de las partículas.

Diámetro efectivo (D10)

Diámetro por el cual pasa el 10% de las partículas de un suelo y se determina gráficamente de la curva granulométrica.

Coefficiente de uniformidad

$$C_u = D_{60} / D_{10}$$

Donde :

C_u = Coeficiente de uniformidad

D_{10} = diámetro efectivo

D_{60} = diámetro por el cual pasa el 60 % de partículas, y se determina gráficamente de la curva granulométrica.

Coefficiente de graduación

$$C_g = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} \quad \text{_____}$$

Donde:

C_g = coeficiente de graduación

D_{30} = diámetro por el cual pasa el 30% de partículas, y se determina gráficamente de la curva granulométrica.

Porcentajes de grava, arena y fino.

Estos porcentajes se determinan a partir de la curva granulométrica o bien de los resultados de los porcentajes acumulativos que pasan por cada tamiz, en base a los criterios dimensionales de las partículas que se describen a continuación:

Grava: Partículas con diámetros comprendidos entre (3" - 2 mm.)

Arenas: Partículas con diámetros comprendidos entre (2mm – 0.075 mm).

Finos: Partículas de limo y arcilla con diámetros inferiores a 0.075 mm.

Descripción del suelo

La granulometría del suelo en estudio revela propiedades importantes para el proyecto, si fuera un suelo fino se caracteriza⁸⁴ por su plasticidad y si fuera un suelo grueso por su soltura y la combinación de suelos finos con gruesos hacen de un material propicio para compactar y soportar cargas.

El análisis de granulometría del suelo en estudio reveló que tiene un 18.44 % de Grava, un 50.35 % de Arena y un 31.21 % de finos, Es por consiguiente una Arena limosa color café oscuro con algunas partículas de grava.

Limites de atterberg

Son base para determinar la forma de trabajar el suelo y respuesta frente a la humedad y por otra parte sirven para el diseño de bases en pavimentos flexibles. Miden la consistencia del suelo en relación a la misma. Un suelo puede ser sólido hasta cierta cantidad de humedad; si ésta aumenta puede deformarse con poca presión, entonces se dice que está en un estado plástico; si la humedad crece de tal manera que el suelo fluye cuando se golpea, se dice que está en un estado líquido.

La determinación de estos estados y los límites entre ellos se da prácticamente arbitrariamente, según los ensayos que se explican a continuación.

Se utiliza el material que pasa un tamiz No.40, mezclándolo con agua hasta formar una pasta suave. Se coloca en el platillo de Casagrande hasta llenarlo aproximadamente 1/3 de su capacidad, formando una masa lisa. Se divide esta parte en dos, por medio de un ranurador especial. Se hace girar la manivela (o se conecta a un motorcito de electricidad) del 85 aparato a razón de dos golpes por segundo, contando el número de golpes (N) necesarios para que el fondo del surco, se cierre en una longitud de ½ pulgada aproximadamente. El número de golpes debe ser de 15 a

35. Luego se toma la muestra y se determina el contenido de humedad (W). El límite líquido se obtiene aplicando la fórmula siguiente:

$$L.L. = (N * 0.121) * W / 25$$

El límite plástico es el mínimo de humedad para el cual el suelo es plástico (AASHTO T-90). Para efectuar el ensayo, se utiliza una porción de la misma muestra preparada para el ensayo del límite líquido. Se deja secar hasta que alcance una consistencia que no se adhiera a la palma de la mano sobre una superficie lisa no absorbente, formando un cilindro aproximadamente 1/8 de pulgada (3 mm) de diámetro; al llegar a este tamaño, se vuelve a hacer una esfera al material y se repite el procedimiento reduciendo el contenido de humedad por el manipuleo, hasta que el cilindro se raje o empiece a desmoronarse; en este momento se determina el contenido de humedad y este, es el valor del límite plástico.

El índice de plasticidad (I.P), se calcula por la fórmula siguiente:

$$I.P. = L.L. - L.P$$

El suelo en estudio es una arena limosa color café oscuro, con algunas partículas de grava, por lo que el ensayo no era aplicable ya que era un material no plástico.

Proctor:

El ensayo proctor permite conocer las características de compactación de un suelo: humedad óptima y densidad máxima. Existen dos tipos de análisis: proctor estándar y proctor modificado.

Proctor modificado:

Se utiliza un molde cilíndrico de 4 pulgadas de diámetro y una altura de 4.58 pulgadas, con lo cual se obtiene un volumen de 1/30 de pie cúbico, se le coloca en la parte superior un collar del mismo diámetro para darle una altura adicional.

El molde se llena en tres capas aproximadamente iguales del material a ensayar, compactando cada una con 25 golpes de un martinete de 10 libras de peso, un diámetro de 2 pulgadas y una altura de caída de 18 pulgadas.

Cálculo de la densidad máxima

Luego de que se llena el cilindro con el material compactado, se quita el collar y se enrasa el cilindro, seguidamente se pesa el molde y su contenido, obteniendo así el peso bruto húmedo (P.B.H); restándole la tara del molde, se obtiene el peso neto húmedo, (P.N.H). Dividiendo el P.N.H. entre el volumen de la muestra (1/30 de pie cúbico), se obtiene el peso unitario húmedo (P.U.H). Luego se pesa la muestra al horno y se obtiene el peso neto seco (P.N.S) y de aquí el contenido de humedad (w) de la siguiente manera:

$$W = (P.N.H - P.N.S) / P.N.S$$

Con estos datos se puede obtener el peso unitario seco (P.U.S) por la relación:

$$P.U.S. = P.U.H. / (1+W)$$

Si se repite el mismo procedimiento, pero con diferentes contenidos de humedad, podremos trazar luego una curva que relaciona el contenido de humedad "W" con el peso unitario o densidad seca (P.U.S). El valor más alto de

la curva nos dará la densidad máxima y el contenido de humedad correspondiente, la humedad óptima.

Para nuestro material sometido a prueba, se encontró que la humedad óptima será de 14.6 % alcanzando así una densidad máxima de 106.4 Lb/pie³. Luego, estos datos encontrados nos sirvieron para el C.B.R.

C.B.R.

El C.B.R. se expresa como 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.

El C.B.R. es un índice del valor o capacidad de soporte de un suelo. Los ensayos se efectúan sobre muestras compactadas en el laboratorio.

El problema principal consiste en preparar en el laboratorio una muestra que tenga, prácticamente, la misma densidad y humedad que se proyecta alcanzar en el sitio donde se construirá el pavimento, para la cual se deben hacer tres probetas sobre muestras, a diferentes grados de compactación, a la humedad óptima y después se elabora un diagrama lectura de penetración – profundidad de penetración, de donde se puede determinar el C.B.R. a la densidad deseada.

Se compactan en cinco capas, con el martillo de 10 lbs. y 18 “ de caída, las tres muestras en los moldes preparados, usando para el primero 65 golpes por capa,

para el segundo 30 golpes por capa y para el tercero 10 golpes por capa. Se deben tomar muestras de humedad, para cada molde, con anticipación a su compactado y la última capa debe estar $\frac{1}{2}$ “ mas arriba de la unión del molde con su collarín.

Se retira el collarín de extensión y se rasa la superficie del molde hasta dejarlo completamente nivelado y se pesa el molde junto con la muestra compactada, y la base de soporte.

Se coloca un filtro de papel sobre la placa de soporte y luego se voltea el molde con la muestra compactada (el espacio dejado por el disco espaciador queda lógicamente en la parte superior) y se coloca sobre la placa de soporte. La muestra entonces se sumerge en agua. Luego de estar en saturación (96 horas) se saca el molde y se deja escurrir durante 15 minutos en posición vertical. Al pasar el tiempo indicado, se remueve el disco perforado, las pesas y el papel filtro.

Se colocan nuevamente las pesas sobre la muestra, produciendo una sobrecarga igual a la que se tuvo durante la inmersión. Se centra el molde sobre la base de la prensa de ensayo y se sienta el pistón de penetración sobre la superficie, con una carga inicial de 10 libras.

Se aplica la carga sobre el pistón produciendo una penetración de 0.05 pulgadas por minuto. Se toman las lecturas de carga correspondientes a 0.05, 0.1, 0.3, 0.4 y 0.5 pulgadas de penetración.

Con estos resultados, se dibuja una curva usando como abscisas la penetración del pistón y como ordenadas la carga. La calidad del material se obtiene por comparación de la curva del material ensayado con la curva “típica” que corresponde al mismo ensayo efectuado en una muestra de piedra triturada.

Los valores típicos para la piedra triturada son:

Carga estándar	Penetración
1,000 Lb./Pul ²	0.1
1,500 Lb./Pul ²	0.2
1,900 Lb./Pul ²	0.3
2,300 Lb./Pul ²	0.4
2,600 Lb./Pul ²	0.5

El valor soporte C.B.R. de un suelo es el que resulte mayor al aplicar la siguiente fórmula a los valores de carga correspondientes a penetración de 0.1 “y 0.2”, así.

$$\text{CBR} = ((\text{carga a una penetración dada}) * 100) / \text{carga estándar a la misma penetración.}$$

En general, se puede hacer la siguiente clasificación, atendiendo al valor soporte CBR.

100% - 80% son excelentes materiales para bases.

80% - 50% son buenos materiales para bases.

50% - 30% son buenos materiales para sub-base

30% - 20% son muy buenos materiales para sub-rasante.

20% - 10% son buenos materiales para sub-90 rasante.

El CBR obtenido del suelo en ensayo fue de 40%, por lo que el material es un buen suelo para sub-base.

9.2 Características técnicas de material de balasto

El balasto es un material clasificado que se coloca sobre la subrasante terminada de una carretera, con el objeto de protegerla y consiste por lo general de material granular natural o agregado triturado. El balasto debe ser de calidad uniforme, no podrá contener sustancias vegetales, perjudicial o extraño. El material de balasto debe tener un peso unitario suelto, no menor de 1,470 kilogramos / metros cúbicos (90 libras/pie cúbico) (AASHTO T-19). El tamaño máximo del agregado grueso del balasto, no debe exceder de 2/3 del espesor de la capa y en ningún caso debe ser mayor de 100 milímetros.

La porción de balasto retenida en el tamiz No. 4(4.75 mm) debe estar comprendida entre el 60% y el 40% en peso y debe tener un porcentaje de abrasión no mayor de 60, (AASHTO T-96); la porción que pase el tamiz No. 40 (0.425 mm.), debe tener un límite líquido no mayor de 35, determinado por AASHTO T-90; y la que pase el tamiz No. 200(0.075 mm), no debe exceder del 15% en peso, determinado por AASHTO T-11. El material debe tener un CBR, AASHTO T-193, mínimo de 30, efectuado sobre muestra saturada a 95% de compactación, AASHTO T-180.

Tabla X. Granulometría de un balasto

TAMIZ	% QUE PASA
75mm(3")	100
50mm(2")	90-100
No.4(4.75mm)	30-70
No.200(0.075)	8-20

9.3 Resultados del ensayo realizado a la subrasante de la carretera diseñada en el EPS

Los resultados obtenidos son:

De la granulometría obtuvimos; % de Grava: 18.44
 % de Arena: 50.35
 % de Finos: 31.21

Por lo que la descripción del suelo es una arena limosa oscuro con algunas partículas de grava.

Humedad óptima: 14.6%

Densidad máxima: 106.4 Lb/pie³.

Material no plástico.

C.B.R. 40 %. Por lo que el suelo analizado anteriormente es muy bueno para sub-base.

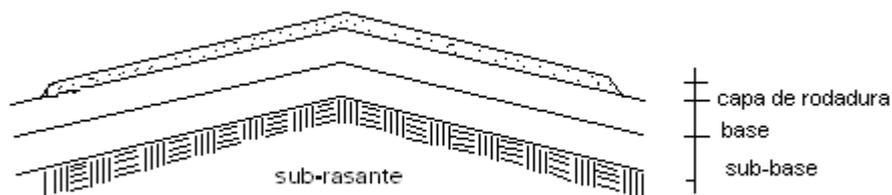
10. PAVIMENTOS

Es una estructura que transmite las cargas concentradas, en las ruedas de los vehículos, al suelo de fundación, sin⁹² que éste falle. Un pavimento

debe dar comodidad, con una superficie lisa no resbaladiza y resistente a los efectos climáticos como el sol, la lluvia y el hielo.

Partes y elementos estructurales de un pavimento.

Figura 20. Elementos estructurales de un pavimento



10.1 Diseño y dimensionamiento del espesor del pavimento

Tomando en cuenta el estudio de suelos y otros factores económicos, se selecciona el tipo de pavimento rígido, hombros y sub-base a utilizar. El espesor del pavimento se determina por los siguientes factores de diseño:

- a) Resistencia a la flexión del concreto (módulo de ruptura MR).

- b) Resistencia de la subrasante, o combinación de sub-rasante y sub-base (K).
- c) Las cargas, frecuencia y tipo de carga por eje del vehículo que soportará el pavimento.
- d) Período de diseño, el cual es usualmente de veinte años.

Módulo de ruptura

Las consideraciones sobre la resistencia a la flexión del concreto son aplicables en el procedimiento de diseño para el criterio de fatiga, el cual controla el agrietamiento de pavimento bajo cargas de camión respectivas. La flexión de un pavimento de concreto bajo cargas de eje, produce tanto esfuerzo de flexión como de compresión. Sin embargo, la relación de esfuerzos compresivos a resistencia a la compresión es bastante pequeña como para influenciar el diseño del espesor de la losa. Generalmente se utiliza el resultado de este ensayo a los 28 días.

Soporte de la sub-rasante

Este valor está definido por el módulo Westergar de reacción de la sub-rasante. Éste es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada entre la deflexión, en pulgadas, para dicha carga. Dado que la 94 prueba de carga de plato es larga y costosa, este valor, usualmente se calcula por correlación simple, como el CBR o la prueba del valor K. Puesto que las variaciones de este valor no afectan

considerablemente el espesor del pavimento no es necesaria su determinación exacta. Este valor varía entre 50 psi, para las arcillas más plásticas y 500 psi, para gravas y arenas no plásticas, la siguiente tabla muestra los valores aproximados de K para cuatro tipos de suelos.

Tipos de suelo	Soporte	Rango de valores K.
Suelos de grano fino en el cual el tamaño de partículas de limo y arcilla predominan	Bajo	75 – 120
Arenas y mezclas de arenas con grava, con una cantidad considerada de limo y arcilla	Medio	130-170
Arenas y mezclas de arenas con grava, relativamente libre de finos	Alto	180-220
Sub-bases tratadas con cemento	Muy alto	250-400

10.2 Métodos

La Asociación del Cemento Pórtland (PCA), ha desarrollado dos métodos para determinar el espesor de las diferentes capas de un pavimento que resista las cargas que ocasiona el tránsito.⁹⁵ Estos métodos son:

a) Método de capacidad

Este método se utiliza, cuando es posible obtener datos exactos de carga de tránsito.

b) Método simplificado

Se utiliza cuando no es posible obtener datos de carga por eje. Para el diseño del pavimento rígido de este proyecto, se utilizó el método simplificado.

Para este método, la PCA ha elaborado tablas basadas en distribuciones de carga-eje, para diferentes categorías de calles y carreteras. Estas tablas están diseñadas para un período de diseño de 20 años y contemplan un factor de seguridad de carga. Este factor es de 1.0, 1.1, 1.2, y 1.3 para las categorías 1, 2, 3, y 4 respectivamente.

Los pasos para el cálculo del espesor de un pavimento por medio de este método son:

- Estimar el tránsito promedio diario de camiones (TPDC) en ambas direcciones, no incluyendo camiones de dos ejes y cuatro llantas.
- Determinar la categoría de carga.

Con la información anterior, conociendo el módulo de ruptura del concreto y el tipo de juntas, buscar el espesor de la losa en la tabla correspondiente.

Según el tipo de tránsito que pasará sobre este pavimento y siendo una calzada principal, se llegó a la conclusión de que le corresponde una categoría 3 con un rango de TPD de 1000 a 2000 vehículos y y_{96} un 8% a 30% de TPDC.

Considerando el valor más bajo de TPD (3000 vehículos) con un 25% de vehículos pesados, se obtiene un TPDC de 750 en ambos sentidos, es decir, 375 en un sentido.

Se estimó un módulo de ruptura del concreto de 600 PSI; que es equivalente a un $f'c$ de 4000 PSI (281 kg/cm^2), a los 28 días de curado.

Tabla XI. Categorías de calles y calzadas

Categoría	Descripción
1	Calles residenciales, estacionamiento de automóviles
2	Calles residenciales alimentadoras, pocos autobuses
3	Avenidas, estacionamientos de industrias, regular cantidad de autobuses.
4	Calzadas, calles comerciales con muchos autobuses
5	autopistas.

A
efecto
s de
datos
prácti
cos se

usa la siguiente tabla.

Fuente: Ana Luisa Paz.Pavimentos,tipos. Pag. 105.

Tabla XII. Pavimento rígido para una categoría 3

SUB-RASANTE					
Capa	Buena	Regular		Pobre	
	Espesor en Cms.				
Losa*	16	18		20	
Sub-base granular	10	12	-	15	-
Sub-base suelo-cemento	-	-	8	-	10
Espesor total en Cm.	26	30	26	35	30

*La losa de concreto de 300 kg/cm² a la compresión. Para concreto de 250 kg/cm², aumentar el espesor de la losa 2 cm.

Las juntas, tiene por objeto controlar los esfuerzos del concreto, debido a su expansión y contracción, además de no permitir la formación de grietas irregulares en la losa de concreto. Las juntas más comunes en un pavimento rígido son:

- Juntas longitudinales
- Juntas transversales
- Juntas de expansión
- Juntas de construcción

10.3.1 Longitudinales

Controlan el agrietamiento longitudinal. La separación máxima entre juntas longitudinales es de 12.5 pies (3.81mts.), es la que determina el ancho del carril.

Lo común en nuestro medio, es construir la carpeta de rodadura carril por carril, cuando se trata de pavimento rígido, por lo que las juntas longitudinales se vuelven juntas de construcción del tipo “macho-hembra”. Puede llevar barras de anclaje cuando no existe confinamiento lateral.

10.3.2 Transversales

También son llamadas juntas de contracción, ya que controlan el agrietamiento transversal por contracción del concreto.

La profundidad de la ranura debe ser igual a un cuarto del espesor de la losa (como se indica en la figura 2). La separación máxima de las juntas transversales es

de 15 pies (4.57 mts.). La colocación de barras de transferencia depende de las características de la subrasante y del tipo de tránsito esperado para el pavimento.

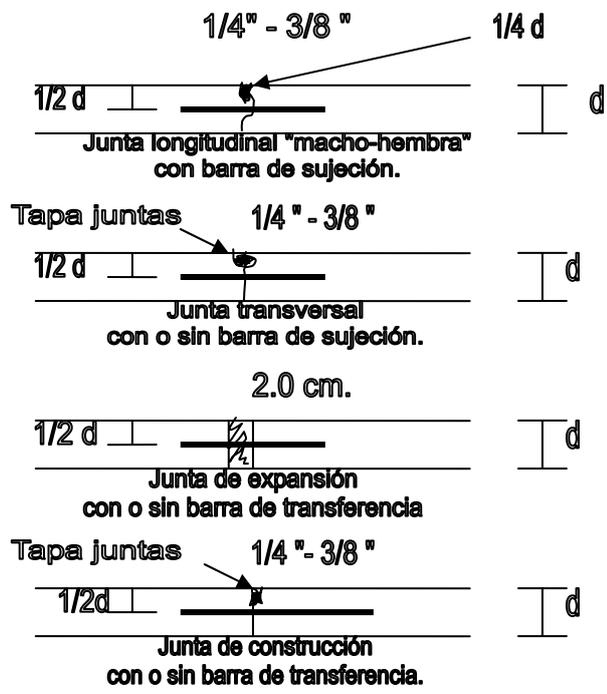
10.3.3. De expansión

Se construyen para disminuir las tensiones cuando el concreto se expande. Se colocan obligadamente frente a estructuras existentes y en intersecciones irregulares. Cuando las juntas de contracción controlan adecuadamente el agrietamiento transversal, las juntas de expansión no son necesarias.

Su construcción consiste en dejar una separación de 2 cm. En todo el espesor de la losa, la cual se rellena con un sello impermeable y compresible.

10.3.4. De construcción

Se construyen cuando hay una interrupción mayor de 30 minutos en la colocación del concreto. Son del tipo trabado, es decir lleva barras de acero o material adecuado, para formar tabiques, de modo que se forme una cara vertical con una traba apropiada.



En el diseño de la mezcla de concreto, se utilizaron tablas, que son resultado de numerosos ensayos de laboratorio y que ayudan a obtener mezclas con las características deseadas.

Al requerir un concreto con una resistencia a la compresión de 4000 lbs/plg² (281 kg/cm²) a los 28 días de curado, la tabla 13 indica un revenimiento máximo de 8 cm., la tabla 14 da una relación agua-cemento de 0.44. Conociendo el revenimiento máximo de la mezcla, se obtiene de la tabla 14, la cantidad de agua por metro cúbico de concreto, que para este caso es de 195 lts/m³, utilizando un tamaño máximo del agregado grueso de 1 pulgada. El porcentaje de arena sobre el agregado total, se obtiene de la tabla 16, al conocer el tamaño máximo del agregado grueso. Para este caso es de 42 %.

Pasos a seguir:

- A) Calcular la cantidad de cemento, dividiendo la cantidad de agua por metro cúbico por la relación agua-cemento:

$$\text{Cemento} = \frac{195 \text{ lts} / \text{m}^3}{0.44} \quad \text{Cemento} = 443.18 \text{ kg/m}^3$$

Tomando en consideración que un litro de agua pesa un kilogramo.

- B) Calcular la cantidad de agregado, restando el peso del agua y cemento del peso total de un metro cúbico de concreto:

$$\text{Agregado} = 2400 - 443.18 - 195 \quad \text{Agregado} = 1761.82 \text{ Kg/m}^3.$$

- C) La cantidad de arena se obtiene multiplicando el peso total de agregado por el porcentaje de arena correspondiente:

$$\text{Arena} = 1761.82 * 42\% \quad \text{Arena} = 739.96 \text{ Kg/m}^3.$$

- D) La cantidad de pedrín será el agregado total menos la cantidad de arena:

$$\text{Piedrín} = 1761.86 - 739.96 \quad \text{Piedrín} = 1021.86 \text{ Kg/ m}^3$$

Se concluye entonces que la proporción final será:

Cemento	:	Arena	:	Piedrín
443.18	:	739.96	:	1021.86
<hr style="width: 100%;"/>		<hr style="width: 100%;"/>		<hr style="width: 100%;"/>
443.18		443.18		443.18
1	:	1.67	:	2.31

Tomando en cuenta que en obra es muy difícil trabajar con fracciones, se adopta una proporción de 1:2:3 con la condición de tener una estricta supervisión, para asegurar la calidad de la mezcla.

Estructura	Asentamiento
Cimiento,muros,columnas,Vigas	10 cm.
Pavimentos, losas	8 cm.

Tabla XIV. Resistencias del concreto

Resistencia (Kg/cm ²)	Relación (agua-cemento)
352	0.3
316	0.38
281	0.44
246	0.51
211	0.58
176	0.67

Tabla XV. Asentamientos y litros de agua ¹⁰⁴ por m³

Asentamiento (cm)	Lts. de agua por m ³ .				
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"
3-5	205	200	185	180	175
8-10	225	215	200	195	180
15-18	240	230	210	205	200

Tabla XVI. Tamaño de agregados

Tamaño máximo Agregado grueso	% de arena sobre Agregado total.
3/8"	48
1/2"	46
3/4"	44
1"	42
1 1/2"	40

1. El pavimento rígido ofrece mayores ventajas que un pavimento flexible, ya que su mantenimiento es verdaderamente bajo en costo.
2. Con el diseño del tramo carretero Amatitlán-CA 9 sur hacia Palín, se contribuirá a solucionar uno de los grandes problemas de acceso al municipio de Amatitlán y a las áreas afectadas del lugar.
3. El desarrollo y la vida económica que representará este proyecto repercutirá grandemente a la comunidad Amatitlaneca, ya que a través de una vía de comunicación conlleva a realizar de mejor manera un proceso de desarrollo integral del lugar.
4. Es indudable que proyectos como el expuesto anteriormente en una sociedad impacta en gran manera y conlleva al desarrollo y prosperidad de los habitantes.

1. Realizar inspecciones periódicas por alguna unidad de mantenimiento de la Municipalidad para verificar que las cunetas estén libres de basura, o algún material extraño para evitar taponamientos y hasta el colapso del sistema de drenaje.
2. Visitar el tramo carretero por la unidad de mantenimiento, para la verificar el buen funcionamiento o deterioro de obras de arte del proyecto, para así llevar a cabo su pronta reparación.
3. Verificar la iluminación durante el trayecto para informar a la empresa encargada de la energía eléctrica cualquier anomalía del lugar.
4. Supervisar el transito para que no excedan velocidades mayores a la recomendada de diseño para evitar su deterioro.

1. Aguilar Fuentes, Byron de Jesús. planificación y diseño del tramo carretero comprendido desde el entronque del caserío La Cruz Regional, Cuilco, Huehuetenango, Vía aldea Pabitzaj hasta el inicio de la aldea Yamoj, Concepción Tutuapa, San Marcos. Tesis Ingeniero Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2001. 113 pág.
2. Cano Flores. William Alejandro. Levantamiento de polígono de prácticas de campo de laboratorio de topografía I,y II. Tesis Ingeniero civil. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 2001. 121 pág.
3. Paz Stubbs. Ana Luisa. Pavimentos, tipos y usos. Tesis Ingeniero Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2000. 187 pág.
4. Yalibat P. Gonzalo. Instructivo prácticas de mecánica de suelos. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Centro de investigaciones de Ingeniería. Sección de Mecánica de Suelos. 1996. 35 pág.
5. Dirección General de Caminos. Ministerio de Comunicaciones, infraestructura y vivienda. Especificaciones Generales para construcción de Carreteras y Puentes. Noviembre 2002.
6. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Ley general de Electricidad, Reglamento de la ley General de Electricidad. 1996. 86 pág.

ANEXO

RESUMEN DE CUANTIFICACIÓN

DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	PREC/UNIT	MONT/INVER
Trazo, colocación de trompos, nivel				
	109			
y topografía.	1	1	Q 2,400.00	Q 2,400.00
Reacondicionamiento de sub-				

rasante					
de 0.25 a 0.35 metros.	3304	m ³	Q 16.50	Q	54,516.00
Extracción y transporte de tierra	7700	m ³	Q 18.00	Q	138,600.00
Compactación de base granular					
0.10 m de espesor.	3304	m ²	Q 28.00	Q	92,512.00
Fundición de cunetas (incluye esca-					
vación, formaletas y desencofrado)	2000	ml.	Q 17.00	Q	34,000.00
Fundición de planchas de concreto	6000	m ²	Q 34.00	Q	204,000.00
Cemento.	17640	qq	Q 35.00	Q	617,400.00
Arena	742	m ³	Q 90.00	Q	66,780.00
Piedrín	770	m ³	Q 140.00	Q	107,800.00
			Sub-total	Q	1,318,008.00
Dirección de campo				Q	65,900.40
Administración				Q	131,800.80
Utilidades				Q	197,701.20
Total				Q	1,713,410.40

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

ACTIVIDAD	DIAS							
	5	10	15	20	25	30	35	40
Trazo, colocación de trompos, nivel y Topografía.	■							
Reacondicionamiento de sub-rasante de 0.25 a 0.35 metros.	■							
Extracción y transporte de tierra	■							
Compactación de base granular 0.10 m de espesor.	■							
Fundición de cunetas (incluye escavación, formaletas y desencofrado)	■							
Fundición de planchas de concreto	■							

ECUACIONES DEL ESTUDIO DEL SUELO

Coefficiente de uniformidad 111

$$C_u = D_{60} / D_{10}$$

Donde :

Cu = Coeficiente de uniformidad

D10 = diámetro por el cual pasa el 10% de las partículas de un suelo y se determina gráficamente de la curva granulométrica.

D60 = diámetro por el cual pasa el 60 % de partículas, y se determina gráficamente de la curva granulométrica.

Coeficiente de graduación

$$C_g = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Donde:

Cg = coeficiente de graduación

D30 = diámetro por el cual pasa el 30% de partículas, y se determina gráficamente de la curva granulométrica.

Densidad máxima

$$W = (P.N.H - P.N.S) / P.N.S$$

Con estos datos se puede obtener el 112 peso unitario seco (P.U.S) por la relación:

$$P.U.S. = P.U.H. / (1+W)$$

C.B.R.

C.B.R. = ((carga a una penetración dada)* 100)/carga estándar a la misma penetración.

En general, se puede hacer la siguiente clasificación, atendiendo al valor soporte C.B.R.

100% - 80% son excelentes materiales para bases.

80% - 50% son buenos materiales para bases.

50% - 30% son buenos materiales para sub-base

30% - 20% son muy buenos materiales para sub-rasante.

20% - 10% son buenos materiales para sub-rasante.

TABLAS

Tabla I. Levantamiento

113 **planimétrico**

Est.	P.o	Azimut
0	1	270°35'00"
1	2	269°45'00"
2	3	266°05'00"
3	4	269°35'00"
4	5	270°10'00"
5	6	268°55'00"
6	7	271°55'00"
7	8	272°10'00"
8	9	272°45'00"
9	10	269°55'00"
10	11	269°00'00"

Tabla II. Levantamiento altimétrico

Cam.	V.a	HI.	V.AD.	PV	COTA
BM.	1.252	101.252			100
0+00			0.971		100.281
0+020			0.715		100.537
0+040			0.24		101.012
PV.	1.425	102.526		0.151	101.101
0+060			1.263		101.263
0+080			1.171		101.355
PV.	1.451	102.952		1.025	101.501
0+100			1.429		101.523
0+120			1.29		101.662
PV.	1.594	103.306		1.24	101.712

Tabla III. Levantamiento de secciones

Izquierda		Caminamiento	Derecha	
0.10/5.60	-0.07/2	0+000	-0.05/2	-0.07/5.60
0.6/5.35	-0.022/2	0+020	-0.09/2	-0.16/5.35
0.09/4.64	-0.03/2	0+040	-0.11/2	-0.14/4.64
0.09/6.60	-0.001/2	0+060	0.01/2	0.46/6.60
0.081/6.20	-0.06/2	0+080	0/2	0.04/6.20
0.07/6.35	-0.06/2	0+100	-0.02/2	0.18/6.35
0.10/6.58	-0.03/2	0+120	0.02/2	0.18/6.58
-0.34/6.67	-0.04/2	0+140	-0.02/2	0.16/6.67
-0.08/6.65	-0.02/2	0+160	0.02/2	0.17/6.65
0.003/6.68	-0.041/2	0+180	0.01/2	0.26/6.68

Tabla IV. Cálculo planimétrico

116

Est.	P.o	Azimut	$(Az*\pi)/180=rad.$	Distancia	Xp	Yp
0	1	270°35'00"	4.72	20.00	-19.99	0.20

1	2	269°45'00"	4.70	25.13	-25.12	-0.10
2	3	266°05'00"	4.64	12.45	-12.42	-0.85
3	4	269°35'00"	4.70	24.97	-24.96	-0.18
4	5	270°10'00"	4.71	29.99	-29.98	0.08
5	6	268°55'00"	4.69	25.05	-25.04	-0.47
6	7	271°55'00"	4.74	25.00	-24.98	0.83
7	8	272°10'00"	4.75	24.93	-24.91	0.94
8	9	272°45'00"	4.76	24.96	-24.93	1.19
9	10	269°55'00"	4.71	24.96	-24.95	-0.03
10	11	269°00'00"	4.69	24.90	-24.89	-0.43
11	12	267°25'00"	4.66	24.96	-24.93	-1.12
12	13	264°40'00"	4.61	25.00	-24.89	-2.32
13	14	262°50'00"	4.58	24.97	-24.77	-3.11
14	15	263°25'00"	4.59	25.02	-24.85	-2.84
15	16	260°40'00"	4.54	24.99	-24.65	-4.05
16	17	260°05'00"	4.53	24.95	-24.57	-4.29
17	18	259°20'00"	4.52	25.00	-24.56	-4.62
18	19	261°55'00"	4.57	25.00	-24.75	-3.51
19	20	259°00'00"	4.52	24.96	-24.50	-4.76
20	21	259°00'00"	4.52	24.95	-24.49	-4.76
21	22	258°40'00"	4.51	25.00	-24.51	-4.91
22	23	259°00'00"	4.52	24.94	-24.48	-4.75
23	24	255°35'00"	4.46	25.00	-24.21	-6.22
24	25	253°50'00"	4.43	24.94	-23.95	-6.94
25	26	253°05'00"	4.41	24.97	-23.88	-7.26
26	27	251°20'00"	4.38	25.00	-23.68	-8.00
27	28	250°25'00"	4.37	25.05	-23.60	-8.39
28	29	249°45'00"	4.35	25.00	-23.45	-8.65
29	30	270°35'00"	4.72	24.97	-24.96	0.25
30	31	268°50'00"	4.69	25.01	-25.00	-0.50
31	32	269°45'00"	4.70	25.00	-24.99	-0.10
32	33	268°30'00"	4.68	26.02	-26.01	-0.68
33	34	272°20'00"	4.85	24.04	-23.78	3.48
34	35	270°10'00"	4.71	24.97	-24.96	0.07
35	36	271°35'00"	4.74	24.90	-24.89	0.68
36	37	267°20'00"	4.66	25.15	-25.12	-1.17
37	38	269°15'00"	4.69	24.77	-24.769	-0.32
38	39	271°15'00"	4.73	24.80	-24.79	0.54
39	40	255°55'00"	4.46	38.47	-37.31	-9.36

Tabla V. Cálculo altimétrico 117

Cam.	VA	AI	VI	PV	COTA
BM.	1.252	101.252			100

0+00			0.971		100.281
0+020			0.715		100.537
0+040			0.24		101.012
PV.	1.425	102.526		0.151	101.101
0+060			1.263		101.263
0+080			1.171		101.355
PV.	1.451	102.952		1.025	101.501
0+100			1.429		101.523
0+120			1.29		101.662
PV.	1.594	103.306		1.24	101.712
0+140			1.445		101.861
0+160			1.36		101.946
PV.	1.51	103.495		1.321	101.985
0+180			1.403		102.092
0+200			1.251		102.244
PV.	1.661	103.865		1.291	102.204
0+220			1.491		102.374
0+240			1.478		102.387
PV.	1.475	103.715		1.625	102.24
0+260			1.329		102.386
0+280			1.198		102.517
PV.	1.175	103.835		1.055	102.66
0+300			1.229		102.606
0+320			1.241		102.594
PV.	1.391	103.875		1.351	102.484
0+340			1.45		102.425
0+360			1.639		102.236
PV.	1.291	103.507		1.659	102.216
0+380			1.471		102.036
0+400			1.64		101.867
PV.	1.188	103.09		1.605	101.902
0+420			1.371		101.719
0+440			1.333		101.757
PV.	1.431	103.166		1.355	101.735
0+460			1.505		101.661
0+480			1.709		101.457
PV.	1.309	102.806		1.669	101.497
0+500			1.535		101.271
0+520			1.66		101.146
PV.	1.38	102.566		1.62	101.186

0+540			1.559		101.007
0+560			1.764		100.802
PV.	1.43	102.107		1.889	100.677
0+580			1.614		100.493
0+600			1.874		100.233
PV.	0.664	101.592		1.179	100.928
0+620			1.549		100.043
0+640			1.761		99.831
PV.	0.635	101.177		1.05	100.542
0+660			1.479		99.698
0+680			1.64		99.537
PV.	0.541	100.893		0.825	100.352
0+700			1.52		99.373
0+720			1.629		99.264
PV.	0.81	100.653		1.05	99.843
0+740			1.495		99.158
0+760			1.616		99.037
PV.	1.231	100.359		1.525	99.128
0+780			1.446		98.913
0+800			1.611		98.748
PV.	0.817	100.036		1.14	99.219
0+820			1.425		98.611
0+840			1.575		98.461
PV.	1.509	99.874		1.671	98.365
0+860			1.38		98.494
0+880			1.155		98.719
PV.	1.243	99.579		1.538	98.336
0+900			1.185		98.394
0+920			1.125		98.454
PV.	0.932	99.511		1	98.579
0+940			1.2		98.311
0+960			1.1		98.411
PV.	1.38	99.96		0.931	98.58
0+980			1.338		98.622
1+000			1.145		98.815

Tabla VI. Cálculo de secciones transversales

Izquierda		Caminamiento	Derecha	
0.10/5.60	-0.07/2		0+000	-0.05/2
0.6/5.35	-0.022/2	0+020	-0.09/2	-0.16/5.35
0.09/4.64	-0.03/2	0+040	-0.11/2	-0.14/4.64
0.09/6.60	-0.001/2	0+060	0.01/2	0.46/6.60
0.081/6.20	-0.06/2	0+080	0/2	0.04/6.20
0.07/6.35	-0.06/2	0+100	-0.02/2	0.18/6.35
0.10/6.58	-0.03/2	0+120	0.02/2	0.18/6.58
-0.34/6.67	-0.04/2	0+140	-0.02/2	0.16/6.67
-0.08/6.65	-0.02/2	0+160	0.02/2	0.17/6.65
0.003/6.68	-0.041/2	0+180	0.01/2	0.26/6.68
-0.03/3.92	-0.04/2	0+200	0.01/2	0.28/6.92
-0.04/6.80	-0.04/2	0+220	-0.002/2	0.24/6.80
-0.05/6.93	-0.04/2	0+240	0.03/2	0.29/6.93

Continuación de la tabla VI.

120

-0.26/7.25	0.002/2	0+260	-0.04/2	0.40/7.25
------------	---------	-------	---------	-----------

-0.13/6.45	-0.01/2	0+280	-0.03/2	0.215/6.45
-0.28/6.18	-0.05/2	0+300	-0.001/2	0.32/6.18
0.02/6.45	-0.04/2	0+320	-0.04/2	0.34/6.45
0.01/6.47	-0.03/2	0+340	-0.01/2	0.60/6.47
0.05/6.36	-0.002/2	0+360	0.018/2	0.44/6.36
0.18/6.02	-0.03/2	0+380	0.01/2	0.35/6.02
0.41/5.85	-0.1/2	0+400	0.01/2	0.46/5.85
0.01/5.55	-0.07/2	0+420	0.01/2	0.428/5.55
0.21/5.60	0.005/2	0+440	0.14/2	0.64/5.60
0.14/5.85	-0.19/2	0+460	0.05/2	0.47/5.85
-0.12/6.15	-0.07/2	0+480	0.02/2	0.40/6.15
-0.003/6.03	-0.123/2	0+500	0.07/2	0.60/6.03
0.141/6.00	-0.17/2	0+520	0.10/2	0.39/6.00
0.11/5.85	-0.09/2	0+540	0.03/2	0.55/5.85
-0.08/5.80	-0.14/2	0+560	0.05/2	0.40/5.80
0.03/6.15	-0.11/2	0+580	0.05/2	0.54/6.15
0.30/6.67	-0.04/2	0+600	-0.002/2	0.48/6.67
0.64/5.91	0.005/2	0+620	0.07/2	0.54/5.91
0.44/5.35	-0.03/2	0+640	0.04/2	0.49/5.35
0.62/5.25	0.02/2	0+660	0.06/2	0.40/5.25
0.73/5.30	0.01/2	0+680	-0.04/2	0.55/5.30
0.83/5.48	-0.02/2	0+700	0.06/2	0.92/5.48
0.75/5.42	0.04/2	0+720	0.07/2	0.91/5.42
0.73/5.62	0.02/2	0+740	0.03/2	0.86/5.62
0.82/5.75	0.02/2	0+760	0.10/2	0.97/5.75
0.88/5.85	0/2	0+780	0.06/2	1.03/5.85
0.27/6.20	0.04/2	0+800	0.10/2	1.10/6.20
0.38/6.22	0.03/2	0+820	0.07/2	1.21/6.22
0.76/6.30	0.08/2	0+840	0.04/2	1.27/6.30
0.80/6.40	0.05/2	0+860	0.06/2	1.05/6.40
1.07/6.30	-0.32/2	0+880	-0.004/2	1.03/6.30
0.02/5.60	-0.13/2	0+900	0.09/2	0.29/5.60
0.28/5.95	-0.008/2	0+920	0.005/2	0.08/5.95
0.20/6.25	0.008/2	0+940	0.007/2	0.05/6.25
0.02/6.60	-0.17/2	0+960	0.05/2	0.47/6.60
-0.16/6.45	-0.128/2	0+980	0.09/2	0.36/6.45
-0.16/6.45	-0.13/2	1+000	0.09/2	0.37/6.45

Tabla VII. Velocidades de diseño

VEL. DE DISEÑO.(Km).	CÓNCAVA VALORES DE K.	CONVEXA VALORES DE K.
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

Tabla VIII. Tabla de determinantes

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

Tabla IX. Desarrollo del método de determinantes

a	x	Y	b
	0	0	
0	-2.5	-0.1	0
0.3	-3	0.3	-0.75
0	0	0.5	-1.5
1.5	3	0.5	0
1.25	2.5	-0.1	-0.3
0	0	0	0
$\Sigma = 3.05$			$\Sigma = -2.55$

Tabla X. Granulometría de un balasto

TAMIZ	% QUE PASA
75mm(3")	100
50mm(2")	90-100
No.4(4.75mm)	30-70
No.200(0.075)	8-20

Categoría	Descripción
1	Calles residenciales, estacionamiento de automóviles
2	Calles residenciales alimentadoras, pocos autobuses
3	Avenidas, estacionamientos de industrias, regular cantidad de autobuses.
4	Calzadas, calles comerciales con muchos autobuses
5	autopistas.

Tabl

a XII. Pavimento rígido para una categoría 3

SUB-RASANTE					
Capa	Buena	Regular		Pobre	
	Espesor en Cms.				
Losa	16	18		20	
Sub-base granular	10	12	-	15	-
Sub-base suelo-cemento	-	-	8	-	10
Espesor total en Cm.	26	30	26	35	30

Estructura	Asentamiento
Cimiento,muros,columnas,vigas	10 cm.
Pavimentos, losas	8 cm.

Tabla XIV. Resistencias del concreto

Resistencia (Kg/cm²)	Relación (agua-cemento)
352	0.3
316	0.38
281	0.44
246	0.51
211	0.58
176	0.67

Tabla XV. Asentamientos y litros de agua por m³

Asentamiento (cm)	Lts. De agua por m ³ .				
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"
3-5	205	200	185	180	175
8-10	225	215	200	195	180
15-18	240	230	210	205	200

Tabla XVI. Tamaño de agregados

Tamaño máximo Agregado grueso	% de arena sobre Agregado total.
3/8"	48
1/2"	46
3/4"	44
1"	42
1 1/2"	40