



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

**DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO Y DRENAJE PLUVIAL PARA
UN SECTOR DE LA ALDEA SANTA MARÍA CAUQUE, DEL
MUNICIPIO DE SANTIAGO SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ**

Ligia Elizabeth Hun Aguilar
Asesorada por Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta

Guatemala, agosto de 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO Y DRENAJE PLUVIAL PARA UN SECTOR
DE LA ALDEA SANTA MARÍA CAUQUE, DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO
SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LIGIA ELIZABETH HUN AGUILAR

ASESORADA POR ING. MANUEL ALFREDO ARRIVILLAGA OCHAETA
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL PRIMERO:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL SEGUNDO:	Lic. Amahám Sánchez Álvarez
VOCAL TERCERO:	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL CUARTO:	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL QUINTO:	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR:	Ing. Christa del Rosario Classon de Pinto
EXAMINADOR:	Ing. Carlos Salvador Gordillo García
EXAMINADOR:	Ing. Juan Merck Cos
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:

DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO Y DRENAJE PLUVIAL PARA UN SECTOR DE LA ALDEA SANTA MARÍA CAUQUE, DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ

Tema que me fuera aprobado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 25 de marzo de 2003.

Ligia Elizabeth Hun Aguilar

AGRADECIMIENTOS

A:

- DIOS Y LA VIRGEN MARÍA** Por darme la agudeza para entender, la capacidad para retener, el método y la facilidad para aprender, y por permitirme culminar mis estudios profesionales.
- MIS PADRES** Por su paciencia, consejos, apoyo moral y económico, que me permitieron alcanzar esta meta.
- MIS HERMANAS** Por su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera.
- ING. MANUEL ARRIVILLAGA** Por su valiosa asesoría.
- ING. CELVIN ESTRADA** Por su colaboración y el aporte brindado al presente trabajo.
- ING. ALFREDO BEBER** Por sus sabias enseñanzas y buena disposición que mostró en ayudarme.

ACTO QUE DEDICO

A:

MIS PADRES

Carlos Enrique Hun Caal.

Alba Elia Aguilar López de Hun.

MIS HERMANAS

Ana del Carmen y Alba Leticia

Con mucho cariño.

MIS ABUELITOS

Y MI FAMILIA EN GENERAL

Con cariño.

MIS PADRINOS

Dra. Adelma Elizabeth de León Pérez.

Lic. Mario Leonel Velasco López.

Ing. Alfredo Beber Aceituno.

MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS

DE ESTUDIOS

Por los buenos momentos compartidos.

LA FACULTAD DE INGENIERÍA

DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	IX
OBJETIVOS	XI
INTRODUCCIÓN	XIII
1. INVESTIGACIÓN	
1.1 Caracterización del municipio de Santiago Sacatepéquez	1
1.1.1 Aspectos generales	1
1.1.1.1 Localización geográfica	1
1.1.1.2 Aspectos topográficos	2
1.1.1.3 Vías de comunicación	2
1.1.2 Aspectos sociales	2
1.1.2.1 Población	2
1.1.2.2 Educación	3
1.1.2.3 Vivienda	3
1.1.3 Aspectos económicos y de infraestructura básicos	3
1.1.3.1 Servicios públicos con que cuenta	3
1.1.3.2 Actividades económicas	4
1.1.4 Aspectos culturales y de participación social	4
2. SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	
2.1 Estudio preliminar de campo	7
2.1.1 Planimetría	7
2.1.2 Altimetría	8

2.2	Estudio de suelos	9
2.2.1	Ensayos para la clasificación del suelo	9
2.2.1.1	Análisis granulométrico	10
2.2.1.2	Límites de consistencias	11
2.2.1.2.1	Límite líquido	11
2.2.1.2.2	Límite plástico	12
2.2.1.2.3	Índice plástico	12
2.2.2	Ensayos para el control de la construcción	13
2.2.2.1	Determinación del contenido de humedad	14
2.2.2.2	Densidad máxima y humedad óptima	14
2.2.2.3	Ensayo de equivalente de arena	16
2.2.3	Ensayos para la determinación de la resistencia del suelo	16
2.2.3.1	Ensayo de valor soporte del suelo (CBR)	16
2.2.4	Análisis de resultados	18
2.3	Diseño geométrico de carreteras	18
2.3.1	Elementos geométricos del alineamiento transversal	19
2.3.2	Alineamiento horizontal y vertical	21
2.3.2.1	Alineamiento horizontal	21
2.3.2.1.1	Diseño de curvas horizontales	22
2.3.2.2	Alineamiento vertical	23
2.3.2.2.1	Diseño de curvas verticales	23
2.3.3	Diseño de localización	24
2.3.4	Corrimientos de línea	24
2.3.5	Diseño de la sub-rasante	25
2.3.6	Consideraciones para el diseño geométrico	27
2.4	Pavimentos rígidos	27
2.4.1	Generalidades	27
2.4.2	Definición de pavimento	28

2.4.2.1	Capas de un pavimento	28
2.4.2.1.1	Sub-rasante	28
2.4.2.1.2	Sub-base	29
2.4.2.1.3	Base	31
2.4.2.1.4	Capa de rodadura	34
2.4.3	Factores de diseño	35
2.4.3.1	Módulo de ruptura del concreto (MR)	35
2.4.3.2	Módulo de reacción del suelo (k)	36
2.4.3.3	Tráfico y cargas de diseño	37
2.4.3.4	Tipos de juntas	37
2.4.4	Diseño del pavimento rígido	42
2.4.5	Consideraciones para el diseño del pavimento rígido	55
2.5	Drenaje pluvial	57
2.5.1	Normas de diseño	57
2.5.1.1	Diámetros mínimos	57
2.5.1.2	Velocidades mínimas y máximas	58
2.5.1.3	Profundidad de la tubería	58
2.5.1.4	Pozos de visita	59
2.5.1.5	Tragantes	60
2.5.2	Diseño hidráulico	60
2.5.2.1	Coefficiente de escorrentía	60
2.5.2.2	Intensidad de lluvia	62
2.5.2.3	Áreas tributarias	63
2.5.2.4	Tiempo de concentración	63
2.5.2.5	Pendiente del terreno	64
2.5.2.6	Caudal de diseño	64
2.5.2.7	Velocidad de flujo a sección llena	65
2.5.3	Ejemplo de cálculo del drenaje pluvial	66
2.6	Presupuesto del pavimento rígido y drenaje pluvial	71

CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	81
APÉNDICES	83
ANEXOS	93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Mapa de Santiago Sacatepéquez	5
2	Sección típica de una carretera	19
3	Planta de una curva horizontal	22
4	Sección de una curva vertical	23
5	Tipos de juntas	41
6	Interrelación aproximada de las clasificaciones de suelos y los valores de soporte	46
7	Profundidad de la tubería	59
8	Índice de planos	83
9	Planta general (drenaje pluvial)	84
10	Planta-perfil (drenaje pluvial)	85
11	Planta-perfil (drenaje pluvial)	86
12	Planta-perfil (drenaje pluvial)	87
13	Planta-perfil (drenaje pluvial)	88
14	Plano de detalles (drenaje pluvial)	89
15	Planta general (pavimento rígido)	90
16	Planta-perfil (pavimento rígido)	91
17	Planta-perfil (pavimento rígido)	92
18	Ensayo de límites de Atterberg	93
19	Ensayo de granulometría	94
20	Ensayo de compactación	95
21	Ensayo de Razón Soporte California (CBR)	96

TABLAS

I	Tipos de graduación para material de sub-base o base granular	33
II	Categorías de carga por eje	45
III	Tipos de suelos de sub-rasante y valores aproximados de k	47
IV	Valores de k para diseño sobre bases granulares (PCA)	47
V	Valores de k para diseño sobre bases de suelo-cemento (PCA)	47
VI	TPDC permisible, carga por eje categoría 1	48
VII	TPDC permisible, carga por eje categoría 2	49
VIII	TPDC permisible, carga por eje categoría 2	50
IX	TPDC permisible, carga por eje categoría 3	51
X	TPDC permisible, carga por eje categoría 3	52
XI	TPDC permisible, carga por eje categoría 4	53
XII	TPDC permisible, carga por eje categoría 4	54
XIII	Algunos coeficiente de escorrentía utilizados en Guatemala	61
XIV	Fórmulas de intensidad de lluvia	62
XV	Calculo hidráulico del drenaje pluvial	69
XVI	Presupuesto y cuadro de cantidades de trabajo	71
XVII	Presupuesto de pozos de visita	72
XVIII	Presupuesto de tragantes	73
XIX	Presupuesto de colector principal	74
XX	Presupuesto de trabajos preliminares	75
XXI	Presupuesto de construcción de pavimento rígido	76

GLOSARIO

Azimut	Ángulo horizontal referido a un norte magnético arbitrario, su rango va desde 0 a 360 grados.
Bordillos	Son las estructuras de concreto simple, que se construyen en el centro, en uno o en ambos lados de una carretera, y que sirve para el ordenamiento del tráfico y seguridad del usuario.
Carretera	Vía de tránsito público construida dentro de los límites del derecho de vía.
Compactación	Es la técnica por la cual los materiales aumentan su resistencia y disminuyen su compresibilidad.
Contracción	Reducir a menor volumen.
Cotas invert	Cota o altura de la parte inferior del tubo ya instalado.

Geotécnica	Técnica que aplica el estudio de la composición y propiedades del suelo, para el asiento de todo tipo de construcciones y obras públicas.
Infraestructura	Conjunto de las obras de una construcción.
Período de diseño	Periodo durante el cual el sistema prestará un servicio eficiente.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación, se desarrolla el diseño del pavimento rígido y drenaje pluvial del sector agrícola de la aldea Santa María Cauque. Este documento cuenta con dos capítulos.

En el primer capítulo se desarrolla la fase de investigación, que constituye la caracterización del municipio de Santiago Sacatepéquez al cual pertenece esta aldea, dando a conocer aspectos como, población, educación, económicos y de infraestructura, culturales y de participación social, entre otros.

En el segundo capítulo se desarrolla la fase de servicio técnico profesional, que establece los principales puntos que intervienen en el desarrollo de estos proyectos, como la topografía, los principales estudios de suelos que se deben realizar en proyectos de pavimentación, las bases para un buen diseño geométrico de carreteras, los principales factores que intervienen en el dimensionamiento de losas de concreto en pavimentos y la descripción del método simplificado de la PCA, así como todo lo relacionado con el diseño del drenaje pluvial, en general las normas y/o métodos de diseño que se utilizaron para la realización de estos proyectos.

Así como también se presenta el presupuesto y cuadro de resumen de las cantidades de trabajo de los proyectos. El producto de estos estudios se presenta en los planos que forman parte del apéndice al final de este documento.

OBJETIVOS

General

Contribuir con la Municipalidad de Santiago Sacatepéquez y con la aldea Santa María Cauque a resolver la problemática de infraestructura vial a través del estudio de pavimentación y drenaje pluvial; contribuyendo así con el desarrollo económico de sus habitantes.

Específicos

1. Brindar a la Municipalidad de Santiago Sacatepéquez un esquema del diseño de la pavimentación y drenaje pluvial de la calle principal de los cultivos en la aldea Santa María Cauque.
2. Ofrecer a la aldea de Santa María Cauque, la infraestructura que les permita tener una mejorar las condiciones del transporte de sus cultivos.

INTRODUCCIÓN

El medio circundante está afecto globalmente a las unidades de desarrollo social y natural, ya que es resultante de la interacción de los aspectos físicos, biológicos, sociales, económicos, políticos y culturales, sin olvidarnos de la infraestructura. Es por ello que la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, a través del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), ha involucrado a los estudiantes, en la realización de proyectos de infraestructura, consiguiendo llevar soluciones que combinen la economía con la técnica.

Para una comunidad cuya principal actividad económica, es la agricultura, las vías de acceso son de vital importancia, es por ello que debe tomarse en cuenta el estado de éstas, para garantizar el desarrollo económico de la misma.

La decisión de realizar el estudio de pavimentación y drenaje pluvial en un sector de la aldea Santa María Cauque, obedece a la necesidad que los pobladores de ésta han manifestado; este proyecto beneficiaría a las familias agricultoras que allí trabajan.

El presente trabajo involucra la planificación y el diseño del pavimento rígido y drenaje pluvial para la calle principal que da acceso al área agrícola de la Aldea Santa María Cauque, del Municipio de Santiago Sacatepéquez, dando una información detallada del cálculo hidráulico para el drenaje pluvial así como los estudios que fueron realizados al suelo, y los parámetros utilizados para el diseño del pavimento rígido. También se incluyen los planos detallados, necesarios para la ejecución del proyecto.

1. INVESTIGACIÓN

1.1 Caracterización del municipio de Santiago Sacatepéquez

1.1.1 Aspectos generales

Santiago Sacatepéquez es un municipio del departamento de Sacatepéquez, tiene una extensión de 15 kilómetros cuadrados, la distancia a la cabecera departamental de Antigua Guatemala es de 20 kilómetros y a la capital es de 36 kilómetros.

Santiago Sacatepéquez, posee su propio gobierno municipal, compuesto por un alcalde, un concejal primero (vice–alcalde), un síndico y cuatro concejales. Este municipio cuenta con cuatro aldeas, las cuales son: Santa María Cauque, San José Pacúl, Pachalí y El Manzanillo, la principal es Santa María Cauque y tres caseríos.

1.1.1.1 Localización geográfica

Colinda al norte con Santo Domingo Xenacoj (Sacatepéquez) y San Pedro Sacatepéquez (Guatemala); al este con Mixco (Guatemala); al sur con San Bartolomé Milpas Altas, Antigua Guatemala y San Lucas Sacatepéquez (Sacatepéquez); al oeste con Sumpango (Sacatepéquez).

1.1.1.2 Aspectos topográficos

Está compuesto por la cuenca del río Achiguate, María Linda y Motagua, con una elevación de 2,040 metros sobre el nivel del mar, su latitud es 14° 36' 26" - 14° 40' 12" norte longitud 90° 43' 30" - 90° 37' 24" Oeste, la zona de vida es Bosque Húmedo Montano Sub-tropical.

1.1.1.3 Vías de comunicación

Cuenta con 4.3 kilómetros de carreteras asfaltadas, 6 kilómetros de terracería, y 7 kilómetros de caminos vecinales de un total de 17.3 kilómetros según fuente de la Dirección General de Caminos (DGC) al año 2,001.

1.1.2 Aspectos sociales

1.1.2.1 Población

Santiago Sacatepéquez tiene una población total por género de 11,707 hombres y 10,950 mujeres, perteneciendo el 84.9% a la población indígena y un 12.3% a la población no indígena, ubicándose el 63.56% en un área urbana y un 36.44% en el área rural. Tiene una densidad poblacional de 1,555 personas por km², con una tasa de crecimiento poblacional del 3.1%, según fuente del Instituto Nacional de Estadística (INE).

1.1.2.2 Educación

Tiene una tasa de incorporación a la primaria de un total de 331 de los cuales son 167 hombres y 164 mujeres. La tasa de analfabetismo en el departamento de Sacatepéquez es del 21%, del cual Santiago Sacatepéquez tiene el 32.8%, según fuente del Ministerio de Educación MINEDUC al año 2000.

1.1.2.3 Vivienda

Se cuenta con 1,696 viviendas en el área urbana y 1,297 en el área rural, para un total de 2,993 viviendas. Los materiales más utilizados para la construcción de las mismas son: el block, la lepa o palos, el adobe, la madera, el ladrillo, la lámina metálica, el concreto y el bajareque, según el X Censo de Población y V de Habitación 1994 para el departamento de Sacatepéquez. Y déficit total del 3.33%.

1.1.3 Aspectos económicos y de infraestructura básicos

1.1.3.1 Servicios públicos con que cuenta

El 80.47 % cuenta con servicio de agua entubada, un 84.90% con sistema de drenaje y/o letrinas, un 75% tiene servicio de tren de aseo y 3,023 hogares cuentan con energía eléctrica, para el año 2001 según fuente de la Municipalidad de Santiago Sacatepéquez.

1.1.3.2 Actividades económicas

Entre las principales actividades económicas están: la agricultura (90%), la agroindustria (8%), la ganadería (1%) y el turismo (1%). Tiene un índice de pobreza del 42.03% y tasa de desempleo del 59.75%.

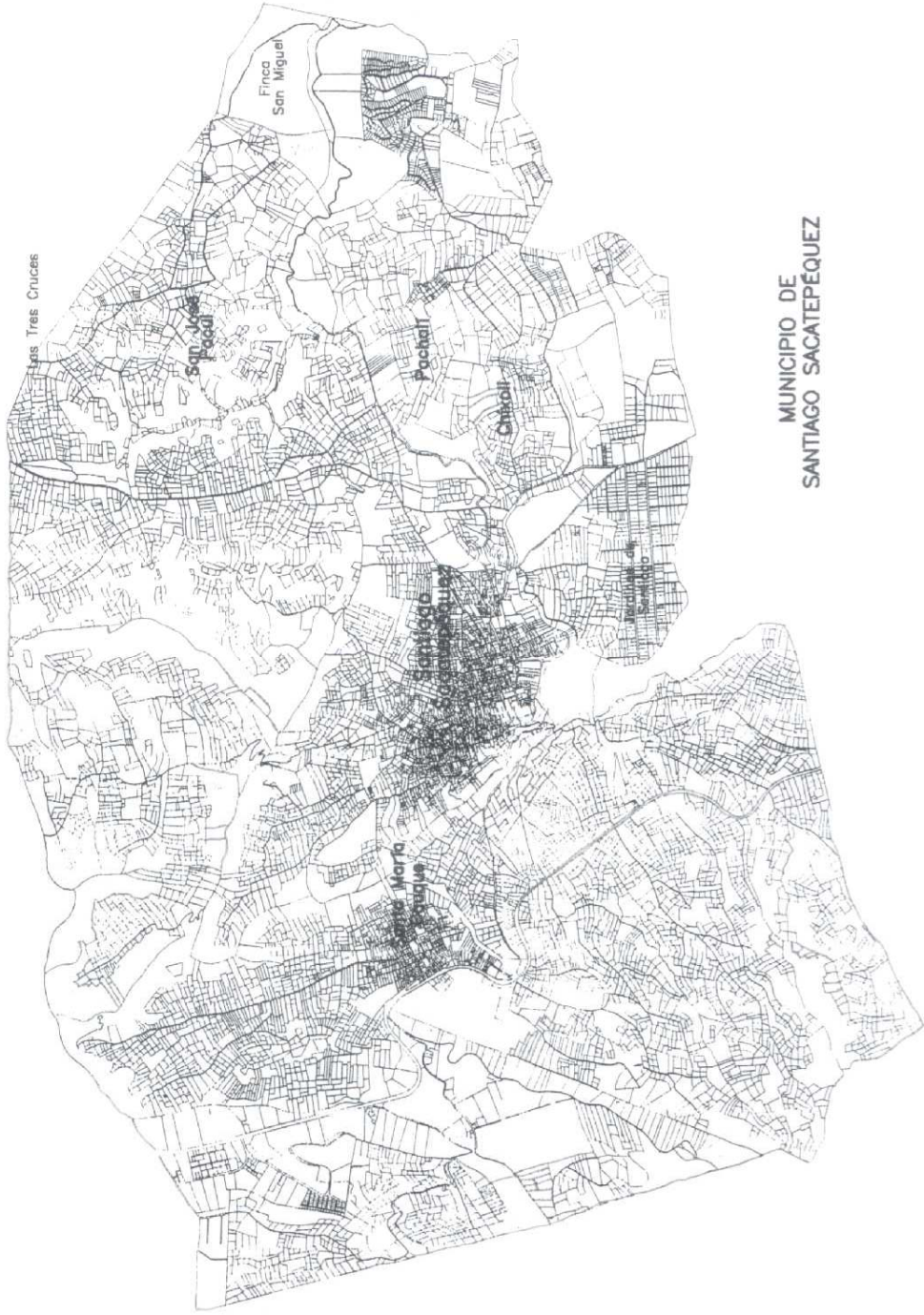
1.1.4 Aspectos culturales y de participación social

El grupo étnico del municipio de Santiago Sacatepéquez es el Cakchiquel, cuyo traje típico es la morga y el güipil rojo; el idioma predominante es el español y el plato típico es el pulique y los tamalitos blancos.

La fiesta titular la celebran el 25 de julio en honor del apóstol Santiago, con actos religiosos, culturales, sociales, deportivos y folklóricos.

También conmemoran la Cuaresma y Semana Santa, entre otras, pero la que ha dado mayor renombre internacional al lugar, sin duda alguna, es la del Día de Todos los Santos (1 de noviembre) y Día de los Difuntos (2 de noviembre) ya que en esa oportunidad los vecinos suelen visitar las tumbas donde reposan sus seres queridos en el cementerio general, las que han sido pintadas previamente y que lucen adornadas con ofrendas florales, a donde llegan en horas de la mañana, a orar en sufragio de las almas de sus familiares; así como también la tradición de elevar los gigantescos y vistosos barriletes.

Figura 1. Mapa de Santiago Sacatepéquez



Fuente: Municipalidad de Santiago Sacatepéquez, Departamento de Catastro

2. SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

Estudio preliminar de campo

Una de las bases fundamentales en un proyecto vial es la topografía. La aplicación de la planimetría y altimetría es determinante para obtener las libretas de campo y planos que reflejen las condiciones geométricas del lugar de ejecución de un proyecto determinado.

2.1.1 Planimetría

Es el conjunto de trabajos realizados para obtener una representación gráfica del terreno, sobre un plano horizontal, suponiendo que no existe la curvatura terrestre. Esta representación o proyección se denomina plano.

La medida de polígonos por el método de ángulos de deflexión o desviación, es el método más utilizado, especialmente en poligonales abiertas, en que sólo hay que tomar algunos detalles al recorrer el itinerario. Desde luego, es el procedimiento casi exclusivamente aplicado en los levantamientos de carreteras, vías férreas, canales y tuberías de conducción de líquidos.

Los ángulos de deflexión o deflexiones, se miden ya sea hacia la derecha (según el reloj) o hacia la izquierda (contra el reloj) a partir de la prolongación de la línea de atrás y hacia la estación de adelante. Los ángulos de deflexiones o desviación son siempre menores de 180° , y debe especificarse en las notas el sentido de giro en que se miden.

Se recomienda el uso del método de simples deflexiones, utilizando como método de orientación de estación a estación el de 180°. Así el aparato indicará directamente el valor de la deflexión, anotando si ésta es derecha o si es izquierda.

Para un levantamiento topográfico de carreteras, el levantamiento debe ser considerado de primer orden lo cual hace necesario tener que contar con teodolitos con una aproximación de diez segundos como lo adecuado.

2.1.2 Altimetría

Altimetría es el conjunto de trabajos realizados para obtener la diferencia de nivel entre puntos diferentes, cuyas distancias horizontales son conocidas. Por diferencia de nivel se entiende como una distancia medida verticalmente. La altimetría permite obtener los datos indispensables para representar sobre el papel la tercera dimensión del terreno.

La nivelación puede ser simple o compuesta. La nivelación compuesta es aquella que entre cada punto de vuelta para la nivelación existen puntos intermedios a los que se les desea conocer sus cotas, presentándose esta situación cuando previamente se ha trazado una poligonal a la cual se le desea conocer su perfil. Este tipo de nivelación además permite conocer pendientes de la sub-rasante y poder así diseñarla. La nivelación simple es aquella que consta únicamente de puntos de vuelta y cuyo objetivo es determinar la diferencia de nivel y cotas del punto inicial y final.

El aparato usado para este procedimiento se llama nivel, el cual es un aparato que determina diferencias de nivel (distancias verticales) entre puntos, y consta únicamente con movimiento horizontal.

Para la referencia de cualquier nivelación será necesaria la altura de un punto que haya sido previamente nivelado o por medio de alfileros, pero lo más usual en Guatemala es tener bancos de marca (BM) colocados por la Dirección General de Caminos o en su lugar por el Instituto Geográfico Militar. De haber un BM cercano puede hacerse una nivelación simple para determinar la cota de referencia. La cota del BM servirá de referencia para la nivelación por realizar.

2.2 Estudio de suelos

El tipo de suelo existente en el sitio determinará en gran medida la estructura del pavimento por construir. Así, en la gran mayoría de los casos, por condiciones de trazo geométrico, topografía y calidad de los suelos naturales de apoyo, es necesario colocar una capa de transición sobre la cual se construyan las losas de concreto.

Los ensayos de suelos deben llevarse a cabo de acuerdo con la división siguiente:

1. Para la clasificación del tipo de suelo
2. Para el control de la construcción
3. Para determinar la resistencia del suelo

2.2.1 Ensayos para la clasificación del suelo

Estos ensayos se usan para identificar suelos de modo que puedan ser descritos y clasificados adecuadamente. Dentro de estos ensayos, los principales son el análisis granulométrico y los límites de consistencia.

2.2.1.1 Análisis granulométrico

La granulometría es la propiedad que tiene los suelos naturales de mostrar diferentes tamaños en su composición. En la clasificación de los suelos para el uso en ingeniería se está acostumbrado utilizar algún tipo de análisis granulométrico, este ensayo constituye una parte de los criterios de aceptabilidad de suelos para carreteras.

El análisis generalmente se hace en dos etapas.

- a. La primera se realiza por medio de una serie de tamices convencionales para suelos de granos grandes y medianos o suelos granulares como: piedra triturada, grava y arenas.

El análisis consiste en pasar la mezcla que se analizará por mallas de aberturas conocidas, después se pesa el material retenido en cada una de las mallas y la información obtenida del análisis granulométrico se presenta en forma de curva, para poder comparar el suelo y visualizar más fácilmente la distribución de los tamaños gruesos presentes como una masa total. Los tamaños inferiores a la malla #200 se consideran finos.

- b. La segunda por un proceso de vía húmeda para suelo de granos finos como limos, limos-arenosos, limos-arcillosos y arcillas. Este análisis mecánico vía húmeda se basa en el comportamiento de material granular en suspensión dentro de un líquido al sedimentarse.

Para suelos excesivamente finos se deberá usar el método del hidrómetro, pero este caso no es muy aplicado a carreteras, pues los materiales finos son materiales poco recomendables para bases y sub-bases de pavimentos. Solamente en el caso de que más del 12% de la muestra pase a través del tamiz #200, es necesario el procedimiento de la granulometría por hidrómetro según AASHTO T 88. Todo el análisis granulométrico deberá ser hecho por vía húmeda según lo descrito en AASHTO T 27.

2.2.1.2 Límites de consistencias

Sirven para determinar, las propiedades plásticas de suelos arcillosos o limosos. Los límites de consistencia de los suelos, están representados por su contenido de humedad, y se conocen como:

2.2.1.2.1 Límite líquido

Es el estado del suelo cuando se comporta como una pasta fluida. Se define como el contenido de agua necesario para que, a un determinado número de golpes (normalmente 25), en la copa de casagrande, se cierre 1.27 cm a lo largo de una ranura formada en un suelo remoldado, cuya consistencia es la de una pasta dentro de la copa.

El límite líquido fija la división entre el estado casi líquido y el estado plástico. El límite líquido en ocasiones puede utilizarse para estimar asentamientos en problemas de consolidación, ambos límites juntos son algunas veces útiles para predecir la máxima densidad en estudios de compactación.

El límite líquido es una medida de la resistencia al corte del suelo a un determinado contenido de humedad. Las investigaciones muestran que el límite líquido aumenta a medida que el tamaño de los granos o partículas presentes en el suelo disminuyen. El procedimiento analítico para la determinación de este límite se basa en la norma AASHTO T 89 teniendo como obligatoriedad al hacerlo sobre muestra preparada en húmedo.

2.2.1.2.2 Límite plástico

Es el estado límite de suelo ya un poco endurecido, pero sin llegar a ser semisólido. El límite plástico es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico. A este nivel de contenido de humedad el suelo está en el vértice de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso.

El límite plástico se define como el contenido de agua (expresado en porcentaje del peso seco), con el cual se agrieta un cilindro de material de 3 mm (1/8 de pulgadas) de diámetro al rodarse con la palma de la mano o sobre una superficie lisa. El proceso analítico para este ensayo se encuentra en la norma AASHTO T 90.

2.2.1.2.3 Índice plástico

El índice de plasticidad es el más importante y el más usado, y es simplemente la diferencia numérica entre el límite plástico y el límite líquido. Indica el margen de humedades, dentro del cual se encuentra en estado plástico tal como lo definen los ensayos. Si el límite plástico es mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se considera no plástico.

Tanto el límite líquido como el límite plástico, dependen de la calidad y del tipo de arcilla; sin embargo, el índice de plasticidad, depende generalmente, de la cantidad de arcilla en el suelo.

Cuando un suelo tiene un índice plástico (I.P.) igual a cero el suelo es no plástico; cuando el índice plástico es menor de 7, el suelo es de baja plasticidad; cuando el índice plástico está comprendido entre 7 y 17 se dice que el suelo es medianamente plástico, y cuando el suelo presenta un índice plástico mayor de 17 se dice que es altamente plástico.

2.2.2 Ensayos para el control de la construcción

La compactación de suelos en general es el método más barato de estabilización disponible. La estabilización de suelos consiste en el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo para obtener una óptima estructura, resistencia al corte y relación de vacíos deseable.

Para determinar las características de resistencia y de esfuerzo–deformación de los materiales de apoyo, será necesario investigarlos por cualquiera de las siguientes características:

- a. Por penetración
- b. Por resistencia al esfuerzo cortante
- c. Por aplicación de cargas

2.2.2.1 Determinación del contenido de humedad

El contenido de humedad es la relación entre el peso del agua contenida en la muestra y el peso de la muestra después de ser secada al horno, expresada en tanto por ciento. En otras palabras no es nada más que el porcentaje o cantidad de agua presente en el suelo. Es necesario determinar el contenido de humedad para realizar los siguientes ensayos: el ensayo de compactación Proctor, el ensayo de valor soporte, los límites de consistencia, y las densidades de campo.

2.2.2.2 Densidad máxima y humedad óptima (Ensayo Proctor)

La masa de los suelos, está formada por partículas sólidas y vacíos, estos vacíos pueden estar llenos de agua, de aire o de ambos a la vez. Si la masa de un suelo se encuentra suelta, tienen mayor número de vacíos, los que, conforme se someta a compactación, van reduciéndose hasta llegar a un mínimo, que es cuando la masa del suelo, alcanza su menor volumen y su mayor peso, esto se conoce como DENSIDAD MÁXIMA. Para alcanzar la densidad máxima, es necesario que la masa del suelo tenga una humedad determinada, la que se conoce como HUMEDAD ÓPTIMA.

Cuando el suelo alcanza su máxima densidad tendrá mejores características, tales como:

- a. Se reduce el volumen de vacíos y la capacidad de absorber humedad.
- b. Aumenta la capacidad del suelo, para soportar mayores cargas.

El ensayo de compactación Proctor consiste en tomar una cantidad de suelo, pasarlo por el tamiz, añadirle agua y compactarlo en un molde cilíndrico en tres capas con veinticinco golpes por capa con un martillo de compactación. Luego de compactada la muestra, ésta es removida del molde y desbaratada nuevamente para obtener pequeñas porciones de suelo que servirán para determinar el contenido de humedad en ese momento del suelo. Se añade más agua a la muestra, tendiendo a obtener una muestra más húmeda y homogénea y se procede a hacer nuevamente el proceso de compactación. Esto se repite sucesivamente para obtener datos para la curva de densidad seca contra contenido de humedad.

Para carreteras en Guatemala es obligatorio el uso del ensayo Proctor modificado. El proceso analítico debe hacerse según lo descrito en la norma AASHTO T 180. Para este ensayo se utiliza un martillo de compactación de caída controlada, cuyo peso sea de 10 libras y se aumenta el número de capas a cinco.

El Proctor modificado, tiene ventaja sobre el estándar en lo siguiente:

- a. Mejor acomodación de las partículas que forman la masa de un suelo, reduciendo su volumen y aumentando el peso unitario o densidad.
- b. Al tener una humedad óptima más baja, las operaciones de riego son más económicas, lo que facilita la compactación.

2.2.2.3 Ensayo de equivalente de arena

Esta prueba es para evaluar de manera cualitativa la cantidad y actividad de los finos presentes en los suelos por utilizar. Consiste en ensayar los materiales que pasan la malla #4 en una probeta estándar parcialmente llena de una solución que propiciará la sedimentación de los finos. Se hace con el fin de conocer el porcentaje relativo de finos plásticos que contienen los suelos y lo agregados pétreos.

Este ensayo se lleva a cabo principalmente, cuando se trata de materiales que se usarán como base, sub-base, o ya sea como materiales de bancos de préstamo. El procedimiento analítico se rige por la norma AASHTO T 176.

2.2.3 Ensayos para la determinación de la resistencia del suelo

2.2.3.1 Ensayo de valor soporte del suelo (CBR)

El valor relativo de soporte de un suelo (CBR), es un índice de su resistencia al esfuerzo cortante, en condiciones determinadas de compactación y humedad, se expresa en porcentaje de la carga requerida, para producir la misma penetración, en una muestra estándar de piedra triturada.

Para este ensayo es necesario conocer la humedad óptima y la humedad actual del suelo, para así, poder determinar la cantidad de agua que se añadirá a la muestra de suelo. Los cilindros se compactan en cinco capas, para 10, 30 y 65 golpes, por cada capa. Para cada cilindro compactado se obtendrá el porcentaje de compactación (%C), el porcentaje de expansión y el porcentaje de CBR. El procedimiento analítico se rige por la norma AASHTO T 193.

Expansión

A cada cilindro se le coloca un disco perforado, con vástago ajustable y el disco de 10 a 13lb. Sobre el vástago ajustable, se coloca el extensómetro, montado sobre un trípode, ajustando la lectura a cero.

Luego se sumerge en el agua durante cuatro días, tomando lecturas a cada 24 hr., controlando la expansión del material. Es importante tener en cuenta, que el peso de 10 a 13 lb. colocado sobre el disco perforado con vástago ajustable, corresponde aproximadamente al peso de una losa de concreto. El objeto de sumergir la muestra, durante cuatro días en agua, es para someter a los materiales usados en la construcción, a las peores condiciones que puedan estar sujetos en el pavimento.

Determinación de la resistencia a la penetración

Después de haber tenido la muestra en saturación durante cuatro días, se saca del agua escurriéndola durante quince minutos. Se le quita la pesa, el disco perforado y el papel filtro, se mide la resistencia a la penetración. Cuando se empieza la prueba, se coloca nuevamente sobre la muestra, el peso, el extensómetro ajustado a cero con el pistón colocado sobre la superficie de la muestra, se procede a hincar el pistón, a una velocidad de penetración de 1.27 cm. (0.51) por minuto.

Se toma la presión, expresada en libras por pulgada cuadrada necesaria para hincar a determinadas penetraciones.

2.2.4 Análisis de resultados

De los ensayos realizados, se obtuvo que el suelo estudiado tiene las siguientes características:

Descripción del suelo: limo arenoso color café

Clasificación: S.C.U.: ML P.R.A.: A – 4

Límite líquido: 34.6%

Índice Plástico: 1.3 %

Densidad seca máxima γ_d : 98.2 lb/pie³

Humedad óptima Hop = 18.4%

CBR. al 95% de compactación es de 19% aprox.

Como puede verse, este material cumple con los requisitos de subrasante, dado que su límite líquido no es mayor del 50%, el 95% de compactación requerida se alcanzará con la humedad óptima según el ensayo de Proctor modificado y el CBR es mayor que el 5%.

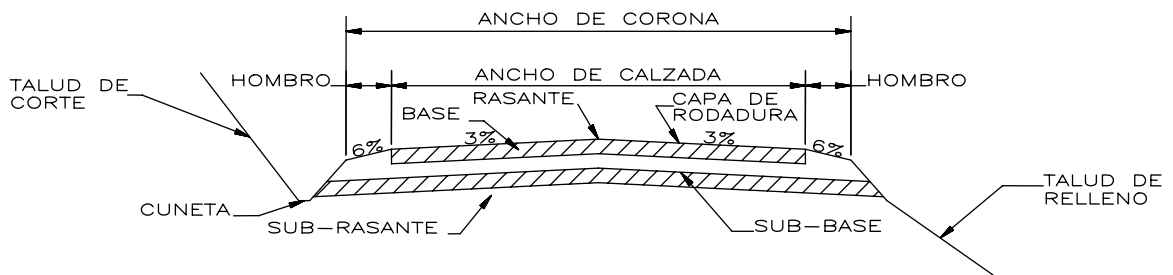
2.3 Diseño geométrico de carreteras

Un diseño geométrico de carreteras, óptimo, es aquel que se adapta económicamente a la topografía del terreno y cumple a la vez con las características de seguridad y comodidad del vehículo. Sin embargo la selección de un trazado y su adaptabilidad al terreno depende de los criterios del diseño geométrico adoptado. Estos criterios a su vez dependen del tipo e intensidad del tráfico futuro, así como de la velocidad del proyecto.

2.3.1 Elementos geométricos del alineamiento transversal

Los elementos geométricos del alineamiento transversal son aquellos que definen el perfil del terreno en dirección normal al eje del alineamiento horizontal. Sobre la sección transversal es posible definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman la carretera en el punto correspondiente a cada sección.

Figura 2. Sección típica de una carretera



Ancho de corona. Es la superficie de la carretera que queda comprendida entre las aristas del terreno y los interiores de las cunetas. Los elementos que definen el ancho de corona son: la rasante, ancho de calzada, pendiente transversal y los hombros.

Rasante. Es la línea que se obtiene al proyectar sobre un plano vertical el desarrollo de la corona en la parte superior del pavimento. Este elemento es fundamental para el diseño ya que señala el nivel final de la carretera.

Ancho de calzada. El ancho de calzada es la parte del ancho de corona, destinada a la circulación de vehículos, constituido por uno o más carriles

Hombros. El hombro es el área o superficie adyacente a ambos lados de la calzada, que se diseña para obtener ventajas tales como la conservación del pavimento, la protección contra humedad y posibles erosiones en la calzada, proporcionando al mismo tiempo seguridad al usuario al poder disponer de un espacio adicional fuera del ancho de calzada.

Cunetas y contracunetas. Son obras de drenaje que pertenecen a la sección típica. Son canales o conductos abiertos para la conducción del agua, construidas paralelamente al eje de la carretera para drenar el agua de lluvia.

Pendiente transversal. Es la pendiente que se le da a la corona en el eje perpendicular al de la carretera. Según su relación con los hombros y el alineamiento horizontal pueden darse tres tipos:

- a. Pendiente por bombeo. Es la pendiente transversal que se da a la corona, en las tangentes del alineamiento horizontal, con el objetivo de facilitar el escurrimiento superficial del agua.
- b. Pendiente por peralte. Es la inclinación dada a la corona sobre una curva, para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga que ejerce el peso del vehículo en movimiento.
- c. Pendiente por transición. Es el bombeo dado para el cambio gradual de la pendiente por peralte hacia la pendiente por bombeo.

Taludes. Son los planos inclinados de la terracería que pertenecen a la sección típica de una carretera. Los taludes determinan los volúmenes de tierra tanto en corte como en relleno.

2.3.2 Alineamiento horizontal y vertical

El alineamiento horizontal y vertical permiten hacer diseños donde se conjuguen a un mismo tiempo el recorrido de la vía tanto en su longitud como en su elevación. El procedimiento geométrico implica el uso de tangentes y curvaturas, en diversas combinaciones para establecer el trazo horizontal o alineación de la ruta, y de niveles y pendientes verticales para desarrollar el perfil de la misma en el plano vertical.

2.3.2.1 Alineamiento horizontal

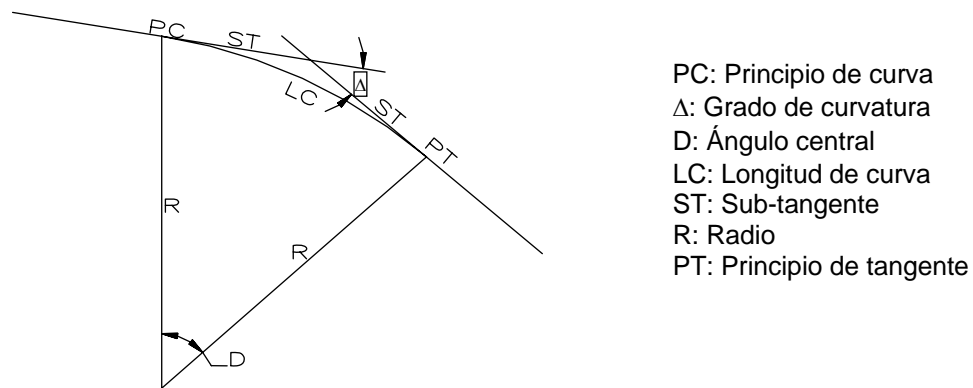
El alineamiento horizontal es la proyección sobre un plano horizontal del eje de una carretera. Debe ser capaz de ofrecer seguridad y permitir asimismo uniformidad de operación a velocidad aproximadamente uniforme.

Los elementos que definen al alineamiento horizontal son los siguientes.

- a. Tangentes. Son las proyecciones rectas sobre un plano horizontal que unen a las curvas circulares.
- b. Curvas circulares. Son proyecciones sobre un plano horizontal de arcos de círculo. La longitud de una curva circular está determinada desde el principio de una curva hasta el principio de la tangente o el final de la misma curva.
- c. Curvas de transición. Su función es proporcionar un cambio gradual a un vehículo, en un tramo en tangente a un tramo en curva.

Este tipo de transición es muy importante pues generalmente los estancamientos de agua de lluvia ocurren en tramos en curva más no en los tramos rectos (tangentes). El trazo y construcción de esta transición debe ser meticulosamente realizado para garantizar un drenaje adecuado.

Figura 3. Planta de una curva horizontal



2.3.2.1.1 Diseño de curvas horizontales

Las curvas horizontales se diseñan en las vías de comunicación cuando hay cambio de dirección dentro de las proyecciones horizontales, son utilizadas para unir dos tangentes consecutivas.

Para el cálculo de elementos de curva es necesario tener las distancias entre los puntos de intersección de localización, los deltas (Δ) y el grado de curva (G) que será colocado por el diseñador. Con el grado (G) y el delta (Δ) se calculan los elementos de la curva que se localizan en la figura 3.

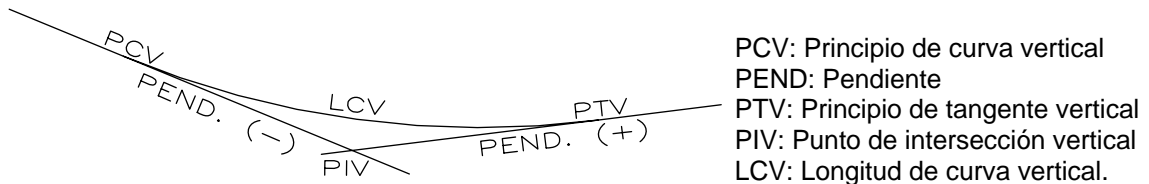
El radio de las curvas por usar, se determina por condiciones o elementos de diseño para que los vehículos puedan salvarlas sin peligro de colisión, con seguridad, tratando que la maniobra de cambio de dirección se efectúe sin esfuerzos demasiado bruscos.

2.3.2.2 Alineamiento vertical

En el perfil de una carretera, la rasante es la línea de referencia que define los alineamientos verticales. Aparte de la topografía del terreno, también la determinan las características del alineamiento horizontal, la seguridad, visibilidad, velocidad del proyecto y paso de vehículos pesados en pendientes fuertes.

Un alineamiento vertical está formado por tangentes y curvas. Las tangentes se caracterizan por su pendiente que sirve para delimitar el diseño de la sub-rasante.

Figura 4. Sección de una curva vertical



2.3.2.2.1 Diseño de curvas verticales

El diseño de curvas verticales es una etapa importante desde la perspectiva de la funcionalidad para el uso de la vía. Las curvas verticales deben cumplir ciertos requisitos de servicio, tales como los de una apariencia tal que el cambio de pendientes sea gradual y no produzca molestias al conductor del vehículo, permitiendo un cambio suave entre pendientes diferentes.

2.3.3 Diseño de localización

Consiste en diseñar la línea final o línea de localización en planta, la cual será la definitiva para el proyecto que se trate. Deberá contener todos los datos necesarios para la cuadrilla de topográfica proceda a marcar en el campo la ruta seleccionada, tanto planimétricamente como altimétricamente.

2.3.4 Corrimientos de línea

Los corrimientos de línea se hacen cuando por razones especiales el caminamiento preliminar no llene los requerimientos del proyecto, tales como: especificaciones, pasos obligados, suelos rocosos, barrancos, etc.

Existen tres tipos de corrimientos de línea, el primero que cambia totalmente en 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, 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 (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 revisar 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.

Segundo caso: es un 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.

Para el cálculo se necesita contar con las coordenadas de los puntos en cuestión, así como de los azimut de las rectas involucradas, se conservan los azimut de ambas rectas pero se calculan las distancias a las que estas dos rectas en cuestión se interceptan, formando con esto un solo punto de intersección en lugar de dos.

Tercer caso: este corrimiento de línea se calcula cuando 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.

2.3.5 Diseño de la 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 la capa de rodadura en proyectos de asfaltos y debajo del balasto en proyectos de terracería.

La sub-rasante es la que define el volumen de movimiento de tierras, el que a su vez se convierte en el renglón más caro en la ejecución. Un buen criterio para diseñarla es obtener la sub-rasante más económica.

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 especificaciones o criterios que regirán el diseño

Datos de la clase de material del terreno

Los criterios para diseñar la sub-rasante en diferentes tipos de terrenos se exponen a continuación:

- a. Terrenos llanos: son aquellos cuyo perfil tiene pendientes longitudinales pequeñas y uniformes a la par de pendientes transversales escasas. En este tipo de terreno la sub-rasante se debe diseñar en relleno, con pendientes paralelas al terreno natural, con una elevación suficiente para dar cabida a las estructuras del drenaje transversal.
- b. Terrenos ondulados: son aquellos que poseen pendientes oscilantes entre el 5% al 12%. La sub-rasante en estos terrenos se debe diseñar buscando cámaras balanceadas en tramos no mayores de 500 metros. También se debe tener presente no exceder las pendientes mínimas y máximas permitidas por las especificaciones.
- c. Terrenos montañosos: su perfil obliga a grandes movimientos de tierras, las pendientes generalmente son las máximas permitidas por las especificaciones.

2.3.6 Consideraciones para el diseño geométrico

Por las mismas características geométricas del terreno y las del pavimento rígido, el tipo de drenaje utilizado para el diseño de este proyecto es por medio de tragantes, por lo que la construcción de cunetas y contracunetas no se contemplan en el diseño. Además el diseño geométrico de la calle únicamente se hizo algunos corrimientos de línea en el alineamiento horizontal y se diseñó la sub-rasante con pendientes paralelas al terreno natural.

2.4 Pavimentos rígidos

2.4.1 Generalidades

Los pavimentos rígidos consisten en una mezcla de cemento pórtland, arena de río, agregado grueso y agua, tendido en una sola capa y pueden o no incluir, según la necesidad, la capa de sub-base y base, que al aplicarles cargas rodantes no se deflecten perceptiblemente, y al unir todos los elementos antes mencionados, constituyen una losa de concreto, de espesor, longitud y ancho variable.

Los pavimentos de concreto hidráulico están sujetos a los esfuerzos siguientes:

- a. Esfuerzos abrasivos causados por las llantas de los vehículos.
- b. Esfuerzos directos de compresión y acortamiento causados por las cargas de las ruedas.
- c. Esfuerzos de compresión y tensión que resultan de la deflexión de las losas bajo las cargas de las ruedas.

- d. Esfuerzos de compresión y tensión debidos a la combadura del pavimento por efectos de los cambios de temperatura.

2.4.2 Definición de pavimento

Pavimento es toda estructura que descansa sobre el terreno de fundación o sub-rasante, formada por las diferentes capas de sub-base, base y carpeta de rodadura. Tiene el objetivo de distribuir las cargas del tránsito sobre el suelo, proporcionando una superficie de rodadura suave para los vehículos, y proteger al suelo de los efectos adversos del clima, los cuales afectan su resistencia al soporte estable del mismo.

El pavimento soporta y distribuye la carga en una presión unitaria lo suficientemente disminuida para estar dentro de la capacidad del suelo que constituye la capa de apoyo, reduciendo la tendencia a la formación de fallas.

2.4.2.1 Capas de un pavimento

2.4.2.1.1 Sub-rasante

Es la capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad tal que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Su función es servir de soporte para el pavimento después de ser estabilizada, homogenizada y compactada. Dependiendo de sus características puede soportar directamente la capa de rodadura de un pavimento rígido.

Requisitos para el material de sub-rasante

- a. Valor soporte. El material debe tener un CBR, AASHTO T 193, mínimo del 5%, efectuado sobre muestras saturadas a 95% de compactación, AASHTO T 180, y deberá tener una expansión máxima del 5%.
- b. Graduación. El tamaño de las partículas que contenga el material de sub-rasante, no debe exceder de 7.5 centímetros.
- c. Plasticidad. El límite líquido, AASHTO T 89, no debe ser mayor del 50%, determinados ambos, sobre muestra preparada en húmedo, AASHTO T 146. cuando las Disposiciones Especiales lo indiquen expresamente.

2.4.2.1.2 Sub-base

Es la capa de la estructura del pavimento, destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad el efecto de las cargas del tránsito proveniente de las capas superiores del pavimento, de tal manera que el suelo de sub-rasante las pueda soportar.

Normalmente es muy necesaria y casi siempre las condiciones de la sub-rasante la exigen, sus funciones son:

- a. Eliminar la acción de bombeo.
- b. Aumentar el valor soporte y proporcionar una resistencia más uniforme a los de concreto.
- c. Hacer mínimos los efectos de cambio de volumen en los suelos de la sub-rasante

La sub-base puede tener un espesor compactado variable por tramos, de acuerdo con las condiciones y características de los suelos existentes en la sub-rasante, pero en ningún caso dicho espesor debe ser menor de 100 milímetros ni mayor de 700 milímetros.

Requisitos para el material de sub-base común

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

- a. Valor soporte. El material debe tener un CBR, AASHTO T 193, mínimo de 30, efectuado sobre muestras saturadas a 95% de compactación, AASHTO T 180.
- b. Piedras grandes y exceso de finos. El tamaño de las piedras que contenga el material de sub-base, no debe exceder de 70 milímetros ni exceder de $\frac{1}{2}$ espesor de la capa. El material de sub-base no debe tener más del 50% en peso, de partículas que pasen el tamiz #40 (0.425 mm), ni más del 25% en peso, de partículas que pasen el tamiz #200 (0.075 mm).
- c. Plasticidad y cohesión. El material de sub-base debe tener las características siguientes:

Equivalente de arena. No debe ser menor de 25%, determinado por el método AASHTO T 176.

Plasticidad. La porción que pasa el tamiz #40 (0.425 mm), no debe de tener un índice de plasticidad AASHTO T 90, mayor de 6 ni un límite líquido, AASHTO T 89, mayor de 25, determinados ambos, sobre muestra preparada en húmedo, AASHTO T 146, cuando las Disposiciones Especiales lo indiquen expresamente, el índice de plasticidad puede ser más alto, pero en ningún caso mayor de 8.

- d. Impurezas. El material de sub-base debe estar exento de materias vegetales, basuras, terrones de arcilla, o sustancias que incorporadas dentro de la capa sub-base puedan causar fallas en el pavimento.

2.4.2.1.3 Base

Constituye la capa intermedia entre la capa de rodamiento y la sub-base. Generalmente se la usa en los pavimentos flexibles. Esta capa permite reducir los espesores de carpeta, dada su función estructural importante al reducir los esfuerzos cortantes que se transmiten hacia las capas inferiores. Además cumple una función drenante del agua atrapada dentro del cuerpo del pavimento.

Estas bases pueden ser de materiales granulares tales como piedra o grava triturada, de arena y grava, de mezcla o estabilizaciones mecánicas de suelos y agregados, o bien suelo-cemento, e inclusive de productos bituminosos y agregados pétreos. Su espesor varía entre 10 y 30 centímetros. Las funciones de la base en los pavimentos de concreto en su orden de prioridad son como sigue:

- a. Para prevenir el bombeo

- b. Ayudar a controlar los cambios de volumen (hinchamiento y encogimiento) en suelos susceptibles a sufrir este tipo de cambios.
- c. Proporcionar una superficie uniforme para el soporte de las losas.
- d. Aumentar la capacidad estructural del pavimento.
- e. Prevenir la desindicación que ocurre en las bases granulares bajo el tráfico.

Requisitos para el material de base granular

- a. Valor soporte. Debe tener un CBR determinado por el método AASTHO T 193 mínimo de 70% efectuado sobre una muestra saturada, a 95% de compactación determinada por el método AASTHO T 180 y un hinchamiento máximo de 0.5% en el ensayo efectuado según AASTHO T 193.
- b. Abrasión. La porción de agregado retenida en el tamiz #4 (4.75mm), no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión determinado por el método AASTHO T 96, mayor del 50 a 500 revoluciones.
- c. Partículas planas o alargadas. No más del 25% en peso del material retenido en el tamiz #4 (4.75 mm), pueden ser partículas planas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas.
- d. Impurezas. El material de base granular debe estar exento de materias vegetales, basura, terrones de arcilla o sustancias que incorporadas dentro de la capa de sub-base o base granular pueden causar fallas en el pavimento.

- e. Plasticidad y cohesión. El material de la capa base granular en el momento de ser colocado en la carretera, no debe tener en la fracción que pasa el tamiz #40 (0.425 mm), incluyendo el material de relleno, un índice de plasticidad mayor de 6 para la base, determinado por el método AASHTO T 90, ni un límite líquido mayor de 25 tanto para la base, según AASHTO T 89, determinados ambos sobre muestra preparada en húmedo de conformidad con AASHTO T 146.
- f. Graduación. El material para capa de base granular debe llenar los requisitos de graduación, determinada por los métodos AASHTO T 27 y AASHTO T 11, para el tipo que se indique en las Disposiciones Especiales, de los que se estipulan en la tabla I.

Tabla I. Tipos de graduación para material de sub-base o base granular

Tamiz Núm.	Estándar Mm	Porcentaje por peso que pasa un tamiz de abertura cuadrada (AASHTO T 27)					
		TIPO A (Sub-base) 50mm (2") máximo	TIPO A (Base) 50mm (2") máximo		TIPO B (Sub-base y Base) 38.1mm (1½") máximo		TIPO B (Sub-base y Base) 25mm (1") máximo
		A – 1	A – 1	A – 2	B – 1	B – 2	C – 1
2"	50.0	100	100	100			
1½"	37.5				100	100	
1"	25.0	60 – 90	65 – 90	60 – 85			100
¾"	19.0				60 – 90		
⅜"	9.5						50 – 85
#4	4.75	20 – 60	25 – 60	20 – 50	30 – 60	20 – 50	35 – 65
#10	2.0						25 – 50
#40	0.425						12 – 30
#200	0.075	3 – 12	3 – 12	3 – 10	5 – 15	3 – 10	5 – 15

Fuente: Dirección General de Caminos, Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas, República de Guatemala. **Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes**. Pág. 304-2

- g. Equivalente de arena. El equivalente de arena no debe ser menor de 30 tanto para base, según AASHTO T 176.

2.4.2.1.4 Capa de rodadura

En pavimentos rígidos está constituida de losas de concreto de cemento Pórtland simple o reforzado, diseñada de tal manera que soporte las cargas del tránsito. Constituye el área propiamente dicha por donde circulan los vehículos y peatones.

Es necesario que tengan otros elementos, no estructurales, para proteger tanto esta capa como las inferiores, como juntas de dilatación rellenas con material elastomérico (para su impermeabilización), bordillos, cunetas o bien un sistema de alcantarillado pluvial, para el drenaje correcto del agua que pueda acumular en su superficie.

Ésta debe tener las siguientes funciones:

- a. Proveer un valor soporte elevado, para que resista muy bien las cargas concentradas que provienen de ruedas pesadas, trabajando a flexión y lo distribuye bien al material existente debajo.
- b. Textura superficial poco resbaladiza aún cuando se encuentre húmeda, salvo que esté cubierta con lodo, aceite y otro material deslizante.
- c. Proteger la superficie sobre la cual está construido el pavimento de los efectos destructivos del tránsito.
- d. Prevenir a la superficie de la penetración del agua.
- e. Buena visibilidad, por su color claro de una mayor seguridad al tráfico nocturno de vehículos.

- f. Gran resistencia al desgaste, con poca producción de partículas de polvo.

2.4.3 Factores de diseño

El espesor de diseño del pavimento de concreto es determinado principalmente con base en los siguientes factores de diseño.

- a. Resistencia a la flexión del concreto (módulo de ruptura MR).
- b. Resistencia de la sub-rasante, o combinación de la sub-rasante y la base (k).
- c. Los pesos, frecuencia y tipo de carga por eje de camión que el pavimento tiene que soportar.
- d. Período de diseño.

2.4.3.1 Módulo de ruptura del concreto (MR)

Las consideraciones sobre la resistencia a la flexión del concreto son aplicables en el procedimiento de diseño para el criterio de fatiga (para controlar agrietamiento) y erosión (para controlar la erosión del terreno de soporte, bombeo y diferencia de elevación de juntas).

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. En cambio los promedios de esfuerzos de flexión y de las fuerzas de flexión son mucho mayores y por eso son usados estos valores para el diseño de espesores de los pavimentos rígidos.

La fuerza de flexión está determinada por el módulo de ruptura del concreto (MR), el cual está definido con el esfuerzo máximo de tensión en la fibra extrema de una viga de concreto. La resistencia a la tensión del concreto es relativamente baja. Una buena aproximación para la resistencia a la tensión será dentro del 11 a 23% del esfuerzo de compresión. En concretos de 3000 a 4000 PSI la relación es del orden del 15%.

El proceso para determinar el módulo de ruptura, será llevado a cabo según la norma ASTM C-78. El resultado del ensayo a los veintiocho días, es comúnmente usado para el diseño de espesores de autopistas y calles; por lo que es recomendado utilizar las porciones superiores de las tablas de diseño, con resistencias a la flexión en el rango de 600 y 650 PSI.

2.4.3.2 Módulo de reacción del suelo (k)

El soporte de la sub-rasante y de la base, está definido por el módulo de *Westergard* de reacción de la sub-rasante (k). Éste es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada en un área cargada, dividida entre la deflexión, en pulgadas, para dicha carga. El valor de k está expresado en libras por pulgada cuadrada por pulgada (PSI-pulg.).

Módulo de reacción (k), es una prueba que indica la característica de resistencia que implica elasticidad del suelo. Se dice que es igual al coeficiente del esfuerzo aplicado por una placa entre la deformación correspondiente, producida por este esfuerzo. Esta propiedad del suelo es muy importante en el diseño de pavimentos, pero dado que la prueba de carga de plato es tardada y cara, el valor de k, es usualmente estimado por correlación a una prueba simple, tal como la Relación de Soporte de California (CBR), o una prueba del valor R.

El resultado es válido dado que no se requiere una determinación exacta del valor k ; las variaciones normales de un valor estimado no afectan apreciablemente los requerimientos del espesor del pavimento.

Cuando no cuente con información geotécnica del sitio, la tabla III proporciona órdenes de magnitud en los módulos de reacción de las capas de apoyo.

2.4.3.3 Tráfico y cargas de diseño

El factor más importante en el diseño de espesores de pavimento es el número y peso de las cargas por eje. Este es derivado de las estimaciones de TPD y de TPDC en ambas direcciones. En este punto se tendría que recurrir al análisis del tránsito promedio diario anual al final como al inicio del periodo de diseño. Sin embargo este análisis solamente es posible si se tienen datos sobre el volumen y categoría de tránsito clasificado para la vía.

La Dirección General de Caminos, por medio de su Departamento de Estadísticas es la encargada de hacer los recuentos de tránsito clasificado en las carreteras de todo el país. Sin embargo la estación de conteo se ubica en carreteras de interés nacional.

2.4.3.4 Tipos de juntas

Las juntas tienen por objeto principal, permitir la construcción del pavimento por losas separadas para evitar grietas de construcción, estableciendo al mismo tiempo una unión adecuada entre ellas, que asegure la continuidad de la superficie de rodadura y la buena conservación del pavimento.

La mayoría de las grietas en el concreto son debidas a tres efectos.

- a. Cambio de volumen por encogimiento por secado.
- b. Esfuerzos directos por cargas aplicadas.
- c. Esfuerzos de flexión por pandeo.

Los tipos de juntas más comunes en los pavimentos de concreto caen dentro de dos clasificaciones: transversales y longitudinales, que a su vez se clasifican como de contracción, de construcción y de expansión.

Juntas longitudinales

Son juntas paralelas al eje longitudinal del pavimento. Estas juntas se colocan para prevenir la formación de grietas longitudinales, pueden ser en forma mecánica, unión macho-hembra. La profundidad de la ranura superior de esta junta, no debe ser inferior de un cuarto del espesor de la losa. La separación máxima entre juntas longitudinales es de 12.5 pies (3.81 m), es la que determina el ancho del carril.

Juntas transversales

Controla las grietas causadas por la retracción del fraguado del concreto. La ranura de la junta, debe por lo menos tener una profundidad de un cuarto del espesor de la losa. Se construyen perpendicularmente al tráfico. 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. La separación máxima de las juntas transversales es de 15 pies (4.57 m). La colocación de las barras de transferencia depende de las características de la sub-rasante y del tipo de tránsito esperado para el pavimento.

Juntas de expansión

Estas son necesarias cuando existan estructuras fijas, tales como: puentes, aceras, alcantarillas, etc. Donde sea necesario este tipo de junta, se dejará una separación de dos centímetros. 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

Juntas de construcción

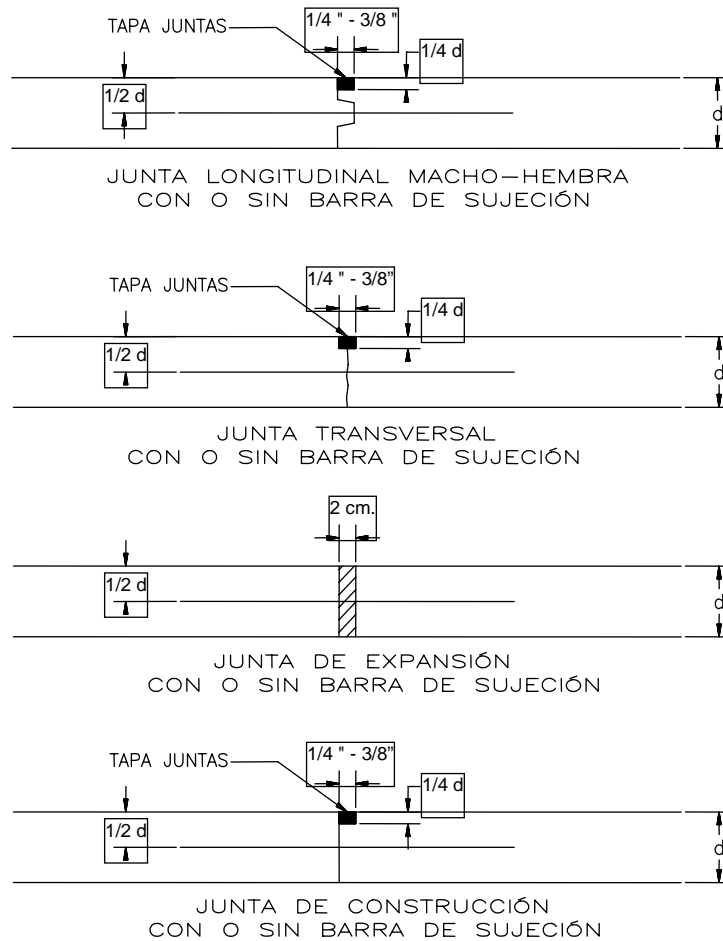
Se construyen cuando hay una interrupción no mayor de treinta minutos en la colocación del concreto. Son del tipo trabado, es decir lleva barras de acero o material adecuado, para formar tabiques, de modo que se forme una cara vertical con una traba apropiada.

Existen dos dispositivos de transferencia de cargas entre las losas en zonas de juntas, las barras de sujeción y las dovelas o pasajuntas.

Las barras de sujeción, se utilizan en las juntas longitudinales para ligar losas de carriles o franjas contiguas. Se deben utilizar barras de acero de refuerzo corrugadas, colocadas a la mitad del espesor con el espaciamiento especificado y son hechas solamente para garantizar la continuidad del pavimento. La junta de trabe por agregados o barras de sujeción se construyen insertando una barra de acero para hacer la interconexión entre dos losas separadas. Este tipo de junta es más sencillo en su construcción pero requiere de espesores más altos de la losa de concreto.

Las dovelas o pasajuntas, se utilizan normalmente en juntas transversales de construcción, contracción y de expansión y fueron diseñadas para la transmisión de carga de una losa hacia la siguiente. La junta tipo dovela se logra haciendo un detalle macho-hembra en el concreto en el sentido longitudinal. Este detalle requiere más trabajo, pero garantiza una disminución en el espesor de la losa.

Figura 5. Tipos de juntas



Fuente: Chacón Valdez, Henry Ernesto. **Diseño de Pavimento Rígido de la Calzada principal al Municipio de El Progreso.** Pág. 38

Las tablas de diseño de la PCA incluyen dos tipos de juntas debido a su transferencia de carga, del tipo dovela o pasajunta y del tipo de trabe por agregado

El tipo de trabe por agregado, se utiliza en las juntas longitudinales para ligar losas de carriles o franjas contiguas. Este tipo de junta es más sencillo en su construcción pero requiera de espesores más altos de la losa de concreto.

El tipo dovela o pasajunta, se utiliza normalmente en juntas transversales de construcción, contracción y de expansión y fueron diseñadas para la transmisión de carga de una losa hacia la siguiente.

2.4.4 Diseño del pavimento rígido

Para el dimensionamiento del espesor de losas de un pavimento rígido la Portland Cement Association (PCA) ha elaborado dos métodos para el cálculo del espesor de pavimentos rígidos, el método de capacidad y el método simplificado.

1. Método de capacidad. Es el procedimiento de diseño aplicado cuando hay posibilidades de obtener datos de distribución de carga por eje de tránsito. Este método asume datos detallados de carga por eje, que son obtenidos de estaciones representativas.
2. Método simplificado. Éste es aplicado cuando no es posible obtener datos de carga por eje, y se utilizan tablas basadas en distribución compuesta de tráfico clasificado en diferentes categorías de carreteras y tipos de calles (Ver Tabla II). Las tablas de diseño están calculadas para una vida útil proyectada del pavimento de veinte años y se basan solamente en el tránsito estimado en la vía.

Este método sugiere un diseño basado en experiencias generales de comportamiento del pavimento, hechos a escala natural, sujetos a ensayos controlados de tráfico, la acción de juntas y hombros de concreto. Este método asume que el peso y tráfico de camiones en ambos carriles varía de 1 a 1.3 según sea el uso de la carretera, para prevenir sobrecarga de los camiones.

La secuencia de cálculo para el dimensionamiento del espesor de losas de un pavimento rígido es la siguiente:

Determinar la categoría de la vía según los criterios de la tabla II.

Establecer el tipo de junta por utilizar (tipo dovela o de trabe por agregado).

Decidir incluir o excluir hombros o bordillos en el diseño.

Determinar el módulo de ruptura del concreto. Se recomienda utilizar un módulo de ruptura de 600 PSI o bien de 650 PSI.

Determinar el módulo de reacción k de la sub-rasante. Se puede encontrar un valor aproximado a través del porcentaje de CBR, en la figura 6. El valor aproximado de k , cuando se utiliza una base, se puede obtener de las tablas IV y V, bases granulares y bases de suelo-cemento, respectivamente.

Determinar el volumen de tránsito promedio diario de camiones o su porcentaje del tránsito promedio diario de vehículos, según la tabla II.

Determinar el espesor de losa según las tablas VI, VII, VIII, IX, X, XI y XII de diseño, determinado con los parámetros anteriores.

El método simplificado, incluye en el análisis solamente al tráfico promedio diario de camiones (TPDC), el cual incluye solo camiones de seis llantas y unidad simples de tres ejes, excluyendo *pick-ups*, paneles y otros tipos livianos. Sólo se utiliza el número de ejes simples o tandem esperado para la vida útil del proyecto.

Además el método simplificado de la PCA permite la el uso o no, de hombros o bordillos. El uso de hombros o bordillo de concreto es recomendable por el hecho de ser útil en reparación o prevención de accidentes en la carretera, además de reducir el espesor de la los en algunos caos de una pulgada o más. La función del bordillo es servir como viga lateral para aumentar la resistencia del concreto a esfuerzos de flexión, disminuyendo grandemente el efecto de la tensión en el concreto.

Tabla II. Categorías de carga por eje

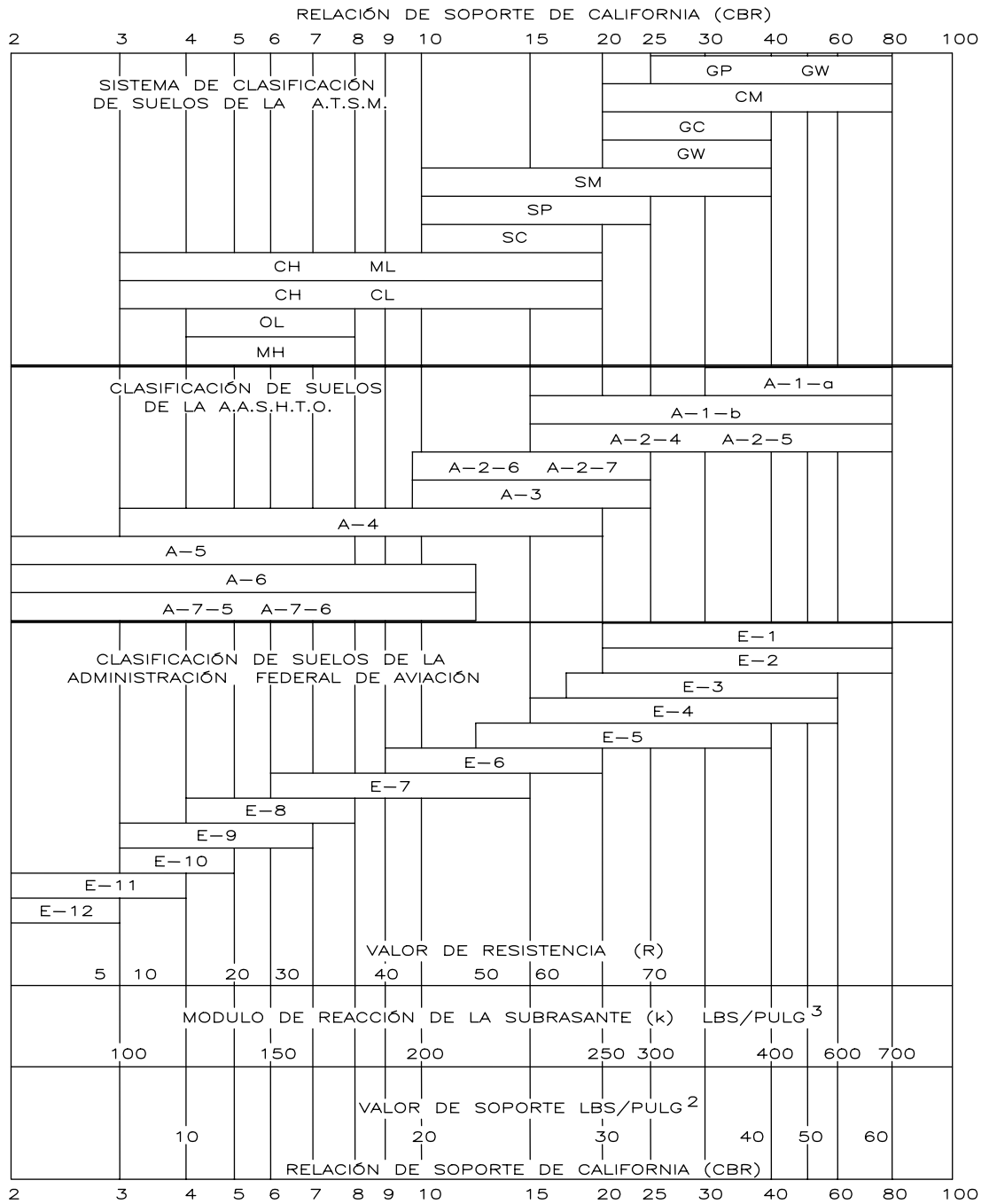
CATEGORÍAS DE TRÁFICO EN FUNCIÓN DE CARGA POR EJE						
CATEGORÍA POR EJE		TPDA	TPPD		CARGA MÁXIMA POR EJE	
Cargados	Descripción		%	Por día	Eje sencillo	Ejes dobles
1	Calles residenciales, carreteras rurales y secundarias (cajo a medio)	200 – 800	1 – 3	Hasta 25	22	36
2	Calles colectoras, carreteras rurales y secundarias (altas), carreteras primarias y calles arteriales (bajo)	700 – 5000	5 – 18	40 – 1000	26	44
3	Calles arteriales, carreteras primarias (medio), super carreteras o interestatales urbanas y rurales (bajo y medio)	3000 – 12000 en 2 carriles 3000 – 5000 en 4 carriles	8 – 30	500 – 1000	30	52
4	Calles arteriales, carreteras primarias, super carreteras (altas) interestatales urbanas (altas) interestatales urbanas y rurales (medio a alto)	3000 – 20000 en 2 carriles 3000 – 150000 en 4 carriles o más	8 – 30	1500 – 8000	34	60

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

TPPD: Camiones de dos ejes, camiones de cuatro llantas excluidos.

Fuente: Salazar Rodríguez, Aurelio. **Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos.** Pág. 148

Figura 6. Interrelación aproximada de las clasificaciones de suelos y los valores de soporte



Fuente: Salazar Rodríguez, Aurelio. **Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos.** Pág. 5

Tabla III. Tipos de suelos de sub-rasante y valores aproximados de k

TIPOS DE SUELOS	SOPORTE	RANGO DE VALORES DE k (PCI)
Suelos de grano fino, en el cual el tamaño de partículas de limo y arcilla predominan.	Bajo	75 – 120
Arenas y mezclas de arena con grava, con una cantidad considerada de limo y arcilla.	Medio	130 – 170
Arenas y mezclas de arena con grava, relativamente libre de finos.	Alto	180 – 220
Sub-base tratadas con cemento.	Muy alto	250 – 400

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

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

Sub-rasante Valor de k (PCI)	Valores de k sobre la base (PCI)			
	Espesor 4 pulg.	Espesor 6 pulg.	Espesor 9 pulg.	Espesor 12 pulg.
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

Fuente: Hernández Monzón, Jorge. **Consideraciones generales para el diseño de los diferentes tipos de pavimentos.** Pág. 68

Tabla V. Valores de k para diseño sobre bases de suelo-cemento (PCA)

Sub-rasante Valor de k (PCI)	Valores de k sobre la base (PCI)			
	Espesor 4 pulg.	Espesor 6 pulg.	Espesor 9 pulg.	Espesor 12 pulg.
50	170	230	310	390
100	280	400	520	640
200	470	640	830	----

Fuente: Hernández Monzón, Jorge. **Consideraciones generales para el diseño de los diferentes tipos de pavimentos,** Pág. 68

**Tabla VI. TPDC permisible, carga por eje categoría 1
Pavimentos con juntas con agregados de trabe (no necesita
dovelas)**

	Sin hombros de concreto o bordillo			Con hombros de concreto o bordillo				
	Espesor de la losa Pulg.	Soporte BAJO ALTO	Sub-rasante MEDIO	Sub-base	Espesor de la losa Pulg.	Soporte BAJO ALTO	Sub-rasante MEDIO	Sub-base
MR = 650PSI	4.5		0.1		4 4.5	0.9 25		0.2 8
	5 5.5	3 45	0.1 3	0.8 15	5 5.5	330 320	30	130
	6 6.5	430 330	40	160				
	5 5.5	0.4 9		0.1 3	4 4.5	0.1 5		1
	6 6.5	98 760	8 76	36 300	5 5.5	75 730	6 73	27 290
MR = 550PSI	5.5	1	0.1	0.3	4.5	0.6		0.2
	6 6.5	18 160	1	6 60	5 5.5	13 150	0.8 13	4 57
	7 7.5	110 620		400	6	130		480

NOTA: El diseño controla el análisis por fatiga

NOTA: Una fracción de TPPD indica que el pavimento puede soportar un número ilimitado de caminos para pasajeros, automóviles y pick-ups, pero pocos vehículos pesados por semana (TPPD 0.3X7 días indica dos camiones pesados por semana)

TPPD excluye camiones de dos ejes y cuatro llantas, de manera que el número de camiones permitidos puede ser mayor.

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

**Tabla VII. TPDC permisible, carga por eje categoría 2
Pavimentos con juntas doveladas**

NOTA: El diseño controla el análisis por fatiga
 TPPD excluye camiones de dos ejes y cuatro llantas, de manera que el número de camiones permitidos será mayor.

	Sin hombros de concreto o bordillo				Con hombros de concreto o bordillo					
	Esesor de la losa Pulg.	Soporte BAJO	Sub-rasante MEDIO	Sub-base ALTO MUY ALTO	Esesor de la losa Pulg.	Soporte BAJO	Sub-rasante MEDIO	Sub-base ALTO MUY ALTO		
MR = 650PSI	5.5		5		5 5.5	42 9	3 42	9 120		
	6			4	6	96	380	970		
	6.5	59 490	9	43	120	3400 710	2600			
	7	80 3100		320	840	7	4200			
	7.5	490	1900							
8	2500									
MR = 600PSI	6	11			5	8		1		
	6.5	110		8	24	5.5	1	8	23	
	7	15	70	190	6	19	84	220		
	7.5	750 110	440	1100	6.5	810 160	620	1500	5200	
8	590	2300		7	1000	3600				
8.5	2700									
MR = 550PSI	6.5	19		4	5.5	17		3		
	7	150		11	34	6	3	14	41	
	7.5	890	19	84	230	6.5	160 29	120	320	1100
	8	120	470	1200	7	210	770	1900		
	8.5	560	2200		7.5	1100	4000			
9	2400									

Fuente: Salazar Rodríguez, Aurelio. **Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos.** Pág. 150

Tabla VIII. TPDC permisible, carga por eje categoría 2

	Sin hombros de concreto o bordillo				Con hombros de concreto o bordillo					
	Espesor de la losa Pulg.	Soporte BAJO	Sub-rasante MEDIO	Sub-base ALTO MUY ALTO	Espesor de la losa Pulg.	Soporte BAJO	Sub-rasante MEDIO	Sub-base ALTO MUY ALTO		
MR = 650PSI	5.5		5		5 5.5	42 9	3 42	9 120		
	6		4	12	6	96	380	700*		
	6.5	59	9	43	120	450	650*	1000* 1400* 2100*		
	7	80	320	840	7	1100*	1900*			
	7.5	1200*	490	1200*	1500*					
8	1300*	1900*								
MR = 600PSI	6	11			5	8		1		
	6.5		8	24	5.5	1	8	23		
	7	15	70	190	6	19	84	220		
	7.5	750	110	440	1100	6.5	810	160	620	1400* 2100*
8	590	1900*			7	1000	1900*			
8.5	1900*									
MR = 550PSI	6.5			4	5.5			3		
	7		11	34	6	3	14	41		
	7.5	150	19	84	230	6.5	160	29	120	320
	8	890	120	470	1200	7	1100	210	770	1900
	8.5	560	2200			7.5	1100			
9	2400									

Pavimentos con juntas con agregados de trabe

* Rige el análisis de erosión de otra manera controla el análisis por fatiga.

Fuente: Salazar Rodríguez, Aurelio. **Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos.** Pág. 150

**Tabla IX. TPDC permisible, carga por eje categoría 3
Pavimentos con juntas doveladas**

TPPD excluye camiones de dos ejes y cuatro llantas, el total de camiones permitidos puede ser mayor.

* El diseño lo rige el análisis por erosión; de otra manera controla el criterio de fatiga.

	Sin hombros de concreto o bordillo				Con hombros de concreto o bordillo				
	Esesor de la losa Pulg.	Soporte BAJO	Sub-rasante MEDIO	Sub-base ALTO MUY ALTO	Esesor de la losa Pulg.	Soporte BAJO	Sub-rasante MEDIO	Sub-base ALTO MUY ALTO	
MR = 650PSI	7.5	250			6.5	320	83		
	8	130		130 350	7	52	220	550	
	8.5	160	640	1600	7.5	1900	320	1200 2900 9800	
	9	700	2700	7000 11500*	8	1600	5700	13800	
	9.5	2700	10800		8.5	6900	23700*		
10	9900								
MR = 600PSI	8	73			6.5	67			
	8.5	310	140	380	7	440	120		
	9	160	640	1700	7.5	270		680	
	9.5	6200	630	2500 6500	8	2300	370	1300 3200 10800	
	10	2300	9300		8.5	1600	5800	14100	
10.5	7700				9	6000			
MR = 550PSI	8.5	70			7	82			
	9	300	120 340		7.5	480	130		
	9.5	1300	120	520 1300 5100	8	67	270	670 2300	
	10	460	1900	4900 19100	8.5	330	1200	2900 9700	
	10.5	1600	6500	17400	9	1400	4900	11700	
11	4900				9.5	5100	18600		

Fuente: Salazar Rodríguez, Aurelio. **Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos.** Pág. 151

**Tabla X. TPDC permisible, carga por eje categoría 3
Pavimentos con juntas con agregado de trabe**

TPPD excluye camiones de dos ejes y cuatro llantas, el número total de vehículos podrá ser mayor.

* El análisis de fatiga controla el diseño, de otra manera se rige el criterio de erosión.

Fuente: Salazar Rodríguez, Aurelio. **Guía para el diseño y construcción de**

	Sin hombros de concreto o bordillo				Con hombros de concreto o bordillo			
	Espesor de la losa Pulg.	Soporte BAJO	Sub-rasante MEDIO	Sub-base ALTO MUY ALTO	Espesor de la losa Pulg.	Soporte BAJO	Sub-rasante MEDIO	Sub-base ALTO MUY ALTO
MR = 650PSI	7.5		250*	60*	7.5	750	220*	510
	8		130*	350*	8	610	1100	1500
	8.5	830	160*	640*	900	1300	950	1800
	9	680	1000	1300	2000	9	1500	2900
	9.5	960	1500	2000	2900	9.5	2300	4700
	10	1300	2100	2800	4300	10	3500	7700
	10.5	1800	2900	4000	6300	10.5	5300	
	11	2500	4000	5700	9200	11	8100	
MR = 600PSI	8			73*	7			120*
	8.5	310*		140*	380*	7.5	440*	67*
	9	1300	160*	640*	1300	2000	8	370*
	9.5		630*	1500	2000	2900	8.5	950
	10	1300	2100	2800	4300	9	1500	2900
	10.5	1800	2900	4000	6300	9.5	2300	4700
	11	2500	4000	5700	9200	10	3500	7700
	11.5	3300	5500	7900		10.5	5300	
MR = 550PSI	8	56*			7	82*		
	8.5				70*	7.5		130*
	9	300*		120*	340*	8	67*	270*
	9.5	1300*				8.5	2300*	670*
	10	120*	520*	1300*	2900	9	330*	1200*
	10.5	460*	1900*	2800	4300	9.5	1400*	2900
	11	1600*	2900	4000	6300	10	2300	4700
	11.5	2500	4000	5700	9200	10.5	3500	7700
12	3300	5500	7900		11	5300		
	4400	7500				8100		

pavimentos rígidos. Pág. 152

**Tabla XI. TPDC permisible, carga por eje categoría 4
Pavimentos con juntas doveladas**

	Sin hombros de concreto o bordillo				Con hombros de concreto o bordillo					
	Espesor de la losa Pulg.	Soporte	Sub-rasante	Sub-base	Espesor de la losa Pulg.	Soporte	Sub-rasante	Sub-base		
		BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO	
MR = 650PSI	8			270		400				
	8.5			120	340	7.5		240	620	
		1300					2100			
	9		140	580	1500	8				
	9.5	5600				8.5	330	1200	3000	9800
		570	2300	5900		1500	5300	12700	41100*	
		4700*								
	10	2000	8200	18700*	5900*	9	5900	21400	44900*	
	10.5	6700	24100*	31800*	45800*	9.5	22500	52000*		
	11	21600	39600*			10	45200*			
	11.5	39700*								
MR = 600PSI	8.5					7.5			130	
		300					490			
	9			120	340	8		270	690	
	9.5	1300				8.5	2300			
			120	530	1400		340	1300	3000	
			5200				9900			
	10	480	1900	5100	19300	9	1400	5000	12000	40200
	10.5	1600	6500	17500	45900*	9.5	5200	18800	45900	
	11	4900	21400	53800*		10	18400			
	11.5	14500	65000*							
	12	44000								
MR = 550PSI	9					8			130	
	9.5	260				8.5	480			
					280			250	620	
		1100					2100			
	10			390	1100	9	280	1000	2500	
	10.5	4000				9.5	8200			
		320	1400	3600	13800		1100	3900	9300	30700
	11	1000	4300	11600	46600	10	3800	13600	32900	
	11.5	3000	13100	37200		10.5	12400	46200		
	12	8200	40000			11	40400			

TPPD excluye camiones de dos ejes y cuatro llantas, el número de camiones permitido podrá ser mayor.

* El diseño queda regido por el criterio de erosión; de otra manera controla el criterio de fatiga.

Fuente: Salazar Rodríguez, Aurelio. **Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos.** Pág. 153

**Tabla XII. TPDC permisible, carga por eje categoría 4
Pavimentos con juntas con agregado de trabe**

	Sin hombros de concreto o bordillo					Con hombros de concreto o bordillo				
	Espesor de la losa Pulg.	Soporte		Sub-rasante	Sub-base	Espesor de la losa Pulg.	Soporte		Sub-rasante	Sub-base
		BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO		BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
MR = 650PSI	8	270*				7	100*			
	8.5	120* 340*				7.5	240* 620*			
		990					400* 910			
	9	140*	580*	1100	1500	8	330*	770	1100	1700
	9.5	570*	1200	1600	2300	8.5	720	1300	1900	3100
	10	1100	1700	2200	3400	9	1100	2100	3200	5700
	10.5	1500	2300	3200	4900	9.5	1700	3400	5500	10200
	11	2000	3300	4500	7200	10	2600	5500	9200	17900
11.5	2700	4500	6300	10400						
12	3600	6100	8800	14900	11	5900	13600	24200		
13	6300	11100	16800		12	12800				
14	10800									
MR = 600PSI	8.5	300*				7.5	130* 490*			
	9	120* 340*				8	270* 690*			
	9.5	1300* 120* 530* 1400* 2300				8.5	1700 340* 1300 1900 3100			
	10	480*	1700	2200	3400	9	1100	2100	2200	5700
	10.5	1500	2300	3200	4900	9.5	1700	3400	5500	10200
	11	2000	3300	4500	7200	10	2600	5500	9200	17900
	11.5	2700	4500	6300	10400					
	12	3600	6100	8800	14900	11	5900	13600	24200	
13	6300	11100	16800		12	12800				
14	10800									
MR = 550PSI	9	260*				8	130* 480*			
	9.5	1100* 280*				8.5	250* 620* 2100*			
	10	3400 390* 1100*				9	280* 1000* 2500* 5700			
	10.5	320*	1400*	3200	4900	9.5	1100*	3400	5500	10200
	11	1000*	3300	4500	7200	10	2600	5500	9200	17900
	11.5	2700	4500	6300	10400					
	12	3600	6100	8800	14900	11	5900	13600	24200	
	13	6300	11100	16800		12	12800			
14	10800									

TPPD excluye camiones de dos ejes y cuatro llantas, el número total de camiones podrá ser mayor.

* El análisis de fatiga controla el diseño, de otra manera se rige el criterio de erosión.

Fuente: Salazar Rodríguez, Aurelio. **Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos**. Pág. 154

2.4.5 Consideraciones para el diseño del pavimento rígido

1. Sub-rasante

Por el estudio de suelos efectuado, se sabe que el material existente en el lugar del proyecto, sirve para una sub-rasante, y ya que esta capa se utiliza como soporte del pavimento será necesario reacondicionarla.

Reacondicionamiento de la sub-rasante existente

Este trabajo consiste en la eliminación de toda la vegetación y materia orgánica o cualquier otro material existente, así como escarificar, homogenizar, mezclar, uniformizar, conformar y compactar la sub-rasante de una carretera previamente construida para adecuar su superficie a la sección típica y elevaciones del proyecto establecidas en los planos, efectuando cortes y rellenos con un espesor no mayor de 200 milímetros, con el objeto de regularizar y mejorar, mediante estas operaciones, las condiciones de la sub-rasante como cimiento de la estructura del pavimento.

La sub-rasante reacondicionada debe ser compactada en su totalidad con un contenido de humedad dentro de ± 3 por ciento de la humedad óptima, hasta lograr el 95 por ciento de compactación respecto a la densidad máxima, AASHTO T 180.

2. Base

Para el diseño de pavimento rígido se ha establecido la utilización de una base tipo granular con un espesor de 4 pulg. (10 cm). La capa de base deberá conformarse, ajustándose a los alineamientos y secciones típicas de pavimentación y compactarse en su totalidad, hasta lograr el 100% de la densidad máxima determinada por el método AASHTO T 180.

Cuando el espesor a compactar exceda de 300 milímetros, el material debe ser colocado, tendido y compactado en dos o más capas, nunca menores de 100 milímetros. Se establece una tolerancia en menos del 3% respecto al porcentaje de compactación especificado, para aceptación de la capa base.

3. Carpeta de rodadura

Para el dimensionamiento de la losa de concreto hidráulico, se ha establecido un módulo de ruptura del concreto de 650 PSI, y la resistencia nominal a la compresión de 4000 PSI a los veintiocho días.

Se ha definido la categoría de la carreta (tabla II), como categoría 2, ya que es una carretera rural. El módulo de reacción (k), de la sub-rasante en combinación con la base, tiene un soporte alto y se ha decidido por las características geométricas de pavimentos la utilización de bordillos a ambos lados de la carretera para encauzar el agua pluvial a los tragantes, y las juntas serán de agregado de trabe.

De la tabla VIII, se obtuvo que el espesor de la losa de concreto será de 6.5 pulg. (17 cm). Se utilizarán juntas transversales a cada 4.50 metros y las juntas longitudinales, instaladas en el centro de la calle (2.50 metros).

2.5 Drenaje pluvial

El drenaje tiene la finalidad de evitar que el agua llegue a la carretera y desalojar la que inevitablemente siempre llega. Toda el agua que llega en exceso a la carretera tiene dos orígenes: puede ser de origen pluvial o de corrientes superficiales, es decir ríos. El agua de escorrentía superficial, por lo general se encuentra con la carretera en sentido casi perpendicular a su trazo, por lo que se utiliza para esto, drenaje transversal, según el caudal que se presente. El agua pluvial debe encauzarse hacia las orillas de la carretera con un pendiente adecuada en sentido transversal; a ésta se le llama bombeo normal y generalmente es del 3%.

2.5.1 Normas de diseño

2.5.1.1 Diámetros mínimos

En el diseño de un sistema de alcantarillado pluvial, se toma como diámetro mínimo 12". Un cambio de diámetro en el diseño está influido por la pendiente, el caudal o la velocidad, para lo que toman en cuenta los requerimientos hidráulicos.

2.5.1.2 Velocidades mínimas y máximas

Es recomendable, en tubería de concreto, que la velocidad del flujo en líneas de alcantarillado pluvial, no sea mayor de 3.00 m/s, para proporcionar una acción de autolimpieza, es decir, capacidad de arrastre de partículas. No existiendo una velocidad de flujo mínima, dado que no habrá caudal en época de verano.

En el caso de alcantarillado pluvial, bajo estas condiciones deberán instalarse rejillas o construirse estructuras que eviten el ingreso de material rocoso de gran tamaño.

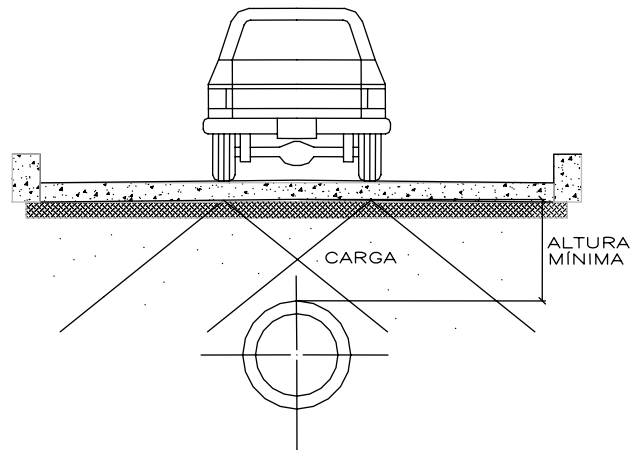
2.5.1.3 Profundidad de la tubería

La profundidad mínima para instalar la tubería debe ser tal que el espesor del relleno evite el daño a los conductos, ocasionados por las cargas vivas y de impacto. En todo diseño de un sistema de drenaje pluvial, se deben respetar las profundidades mínimas ya establecidas. La profundidad mínima se mide desde la superficie del suelo, hasta la parte superior del tubo, determinada de la siguiente manera:

Tráfico normal = 1.00 metros

Tráfico pesado = 1.20 metros

Figura 7. Profundidad de la tubería



2.5.1.4 Pozos de visita

Los pozos de visita son parte de las obras accesorias de un alcantarillado y son empleados como medios de inspección y limpieza. Se diseñarán pozos de visita para localizarlos en distancias no mayores de 100 metros.

La diferencia de cotas invert entre las tuberías que entran y la que sale de un pozo de visita será como mínimo de 0.03 metros. Cuando el diámetro interior de la tubería que entra a un pozo de visita sea menor que el diámetro interior de la que sale, la diferencia de cotas invert, será como mínimo, la diferencia de dichos diámetros. Siempre que la diferencia de cotas invert entre la tubería que entra y la que sale de un pozo de visita sea mayor de 0.70 metros, deberá diseñarse un accesorio especial (un derivador de caudal que funcione como dissipador de energía), que encauce el caudal con un mínimo de turbulencia, de lo contrario se producirían caudales máximos que destruyen el sistema.

2.5.1.5 Tragantes

Los tragantes son las aberturas que en las superficies de las calles o en los bordillos, dan acceso a las aguas pluviales a los tubos de drenaje. Por los sistemas combinados y de tormenta, se diseñarán tragantes para localizarlos en los siguientes casos:

- a. En las partes bajas, al final de cada cuadra a 3.00 metros antes de la esquina.
- b. En puntos intermedios de las cuadras el caudal acumulado provoque un tirante de agua superior a 0.10 metros
- c. Únicamente en aquellas calles que cuenten con pavimento o que hallan recibido o vayan a recibir algún tipo de tratamiento para estabilizar su superficie

2.5.2 Diseño hidráulico

2.5.2.1 Coeficiente de escorrentía

En el porcentaje de agua total llovida tomada en consideración, puesto que no todo el volumen de precipitación pluvial drena por medio de alcantarilla natural o artificial. Esto se debe a la evaporación, infiltración, retención del suelo, etc. Por lo que existirá diferente coeficiente para cada tipo de terreno, el cual será mayor cuanto más impermeable sea la superficie. Este coeficiente está en función del material sobre el cual circula el agua y varía desde 0.01 a 0.95.

El coeficiente de escorrentía promedio se calcula por medio de la siguiente relación:

$$C = \frac{\sum (c * a)}{\sum a}$$

donde:

c: Coeficiente de escorrentía en cada área parcial.

a: Área parcial.

C: Coeficiente de escorrentía promedio del área drenada.

Tabla XIII. Algunos coeficiente utilizados en Guatemala

Tipo de Superficie	C
Comercial	
Centro de la Ciudad	0.70 – 0.75
Periferia	0.50 – 0.70
Residencial	
Casas individuales	0.30 – 0.50
Colonias	0.40 – 0.60
Condominios	0.60 – 0.75
Residencial Sub-Urbana	0.25 – 0.40
Industrial	
Pequeñas fábricas	0.50 – 0.80
Grandes fábricas	0.60 – 0.90
Parque y cementerios	0.10 – 0.25
Campos de recreo	0.20 – 0.35
Campos	0.10 – 0.30
Techos	0.10 – 0.30
Pavimentos	0.70 – 0.90
Concreto y asfalto	0.85 – 0.90
Piedra, ladrillo o madera en buenas condiciones	0.75 – 0.90
Piedra, ladrillo o madera en malas condiciones	0.40 – 0.75
Calles	
Terracota	0.25 – 0.60
De arena	0.15 – 0.30
Parques, jardines, paradas, etc.	0.05 – 0.25
Bosques y tierra cultivada	0.01 – 0.20

Fuente: Ing. Joram Matías Gil Laroj. **Evaluación de Tragante Pluviales para la Ciudad de Guatemala. 1984**

2.5.2.2 Intensidad de lluvia

La intensidad de lluvia es el espesor de la lámina de agua por unidad de tiempo producida por ésta; suponiendo que el agua permanece en el sitio donde cayó. Se mide en milímetros por hora.

La intensidad de lluvia se determina a través de registros pluviográficos elaborados por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), con base en estaciones pluviométricas ubicadas a inmediaciones de las cabeceras departamentales. Este tipo de información es por lo común es insuficiente en localidades muy pequeñas, pero se puede hacer uso de información de localidades vecinas o de características similares.

Se ha adoptado como norma general para los sistemas de alcantarillado pluvial en el interior de la Republica, diseñarlos para una intensidad que se vea igualada o excedida una vez cada cinco o diez años en promedio.

Tabla XIV. Fórmulas de intensidad de lluvia

	1 año	2 años	5 años	10 años	20 años
Ciudad de Guatemala (Zona Atlántica)		$\frac{2838}{t+18}$	$\frac{3706}{t+22}$	$\frac{4204}{t+23}$	$\frac{4604}{t+24}$
Ciudad de Guatemala (Zona Pacífica)					$\frac{6889}{t+40}$
Bananera, Izabal		$\frac{5771}{t+4889}$	$\frac{710395}{t+5380}$	$\frac{7961}{t+5663}$	$\frac{366777}{t+5843}$
Labor Ovalle Quetzaltenango		$\frac{9777}{t+3.80}$	$\frac{11285}{t+3.24}$	$\frac{13235}{t+3.49}$	
El Pito Chicolá, Suchitepequez		$\frac{11033}{t+10110}$	$\frac{11618}{t+9219}$	$\frac{13455}{t+10414}$	
La Fragua Zacapa		$\frac{37005}{t+5069}$	$\frac{39905}{t+4175}$	$\frac{4040}{t+37.14}$	
Chimaltenango Balanya	$\frac{1538}{t+1668}$	$\frac{1712}{t+8.70}$	$\frac{2201}{t+1017}$		

Fuente: **Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología**
INSIVUMEH

2.5.2.3 Áreas tributarias

Es la que contribuye a la escorrentía del agua de la estructura de drenaje. El área por drenar se determinará sumando al área de las calles, el área de los lotes que son tributarios al ramal en estudio.

2.5.2.4 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración es el tiempo necesario para que el agua superficial descienda desde el punto más remoto de la cuenca hasta el punto de estudio. Se divide en tiempo de entrada y tiempo de flujo dentro de la alcantarilla.

Para el diseño de sistemas de alcantarillado pluvial, se considera que los tramos iniciales tienen un tiempo de concentración de doce minutos. El tiempo de flujo dentro de la alcantarilla, para tramos consecutivos, se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$T_2 = T_1 + \frac{L}{60V}$$

donde:

T1 = Tiempo de concentración en el tramo anterior en minutos.

L = Longitud del tramo anterior en metros.

V = Velocidad a sección llena en el tramo anterior en metros por segundo.

2.5.2.5 Pendiente del terreno

Siendo el criterio general que los sistemas de alcantarillado trabajen por gravedad, existe una pendiente mínima al sistema, que permite que el agua conducida se desplace libremente, la que es del 0.50% y la máxima la que alcance la velocidad máxima admisible para la tubería por utilizar.

Para calcular la pendiente del terreno se utiliza la relación siguiente:

$$S\% = \frac{Cota\ del\ terreno_{FINAL} - Cota\ del\ terreno_{INICIAL}}{Longitud\ del\ tramo} \times 100$$

2.5.2.6 Caudal de diseño

Para calcular el caudal de diseño se utilizan dos métodos, el empírico y el racional. Por la naturaleza del proyecto se utilizará el racional, el cual asume que el caudal máximo para un punto dado se alcanza cuando el área tributaria está contribuyendo con su escorrentía, durante un período de precipitación máxima, debe prolongarse durante un periodo igual o mayor que el que necesita la gota de agua más lejana para llegar hasta el punto considerado. Este método está representado por la siguiente fórmula:

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

donde:

Q = Caudal (m³/s)

C = Es la relación entre la escorrentía y la cantidad de lluvia caída en el área

I = Intensidad de lluvia (mm/h)

A = Área por drenar en hectáreas.

2.5.2.7 Velocidad de flujo a sección llena

La velocidad del flujo a sección llena se calculó con la relación de *Manning*.

$$V = \frac{0.03429 \cdot D^{2/3} \cdot S^{1/2}}{n}$$

donde:

V = Velocidad del flujo a sección llena (m/s)

D = Diámetro de la sección circular (pulg.)

S = Pendiente del gradiente hidráulico (m/m)

n = Coeficiente de rugosidad de *Manning* (Para tubería de Concreto con diámetros menores de 24" n = 0.015, para diámetros mayores de 24" n = 0.013 y para PVC n = 0.009)

2.5.3 Ejemplo de cálculo del drenaje pluvial

Tramo 4 – 5

Pendiente del terreno

$$S\% = \frac{95.20 - 91.91}{100} \times 100 = 3.29$$

Área tributaria acumulada = 18.62

Integración del coeficiente de escorrentía "C"

Áreas Tributarias	C	A	c*a
Techos	0.30	2.9132	0.87396
Calles adoquinadas	0.75	0.6652	0.49887
Calles de terracería	0.25	0.2160	0.05400
Tierra cultivada	0.20	27.8836	5.57673
Calles a pavimentar	0.90	0.6820	0.61376
Sumatoria		32.36	7.62
		C =	0.24

Tiempo de concentración

$$T_2 = 12.76 + \frac{80}{60 * 2.61} = 13.26 \text{ min}$$

Intensidad de lluvia

$$I = \frac{2201}{13.26 + 10.17} = 93.94 \text{ mm/h}$$

Caudal de diseño

$$q = \frac{0.24 * 93.94 * 18.62}{360} * 1000 = 1144.21 \text{ L/s}$$

Velocidad a sección llena

$$V = \frac{(0.03429)(30^{2/3})(1.05^{1/2})}{0.013} = 2.61 \text{ m/s}$$

Caudal a sección llena

$$Q = (2.61) \left(\pi \frac{(30 * 0.0254)^2}{4} \right) (1000) = 1190.09 \text{ m}^3/\text{s}$$

Relación q/Q y v/V

$$\begin{aligned} q/Q &= 114421/119009 = 0.961449 \\ v/V &= 1.138789 \end{aligned}$$

El valor de la relación de la velocidad de gasto y la velocidad a sección llena es obtenido por medio de las tablas de elementos hidráulicos de una alcantarilla de sección transversal circular (sin corrección por variaciones en aspereza con la profundidad). Ver tablas en fuente: Merritt, Loftin Y Ricketts. Manual del Ingeniero Civil. México: 4ª. Edición. 1999.

$$I = \frac{2201}{1326 + 1017} = 9394 \text{ mm/h}$$

Velocidad de diseño

$$v = 1.138789 * 2.61 = 2.97 \text{ m/s}$$

Entonces

$$Q > q \quad 119009 > 114421 \quad \text{sí cumple}$$

$$v < 3.00 \text{ m/s} \quad 2.97 < 3.00 \quad \text{sí cumple}$$

Tabla XV. Cálculo hidráulico del drenaje pluvial

POZO DE	COTA DEL TERRENO		LONGITUD (m)	PENDIENTE TERR. %	ÁREAS TRIBUTARIAS		TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	INTENSIDAD DE LLUVIA	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	PENDIENTE TUBERÍA %	DIÁMETRO TUBO (pulg.)	SECCIÓN LLENA		
	INICIAL	FINAL			LOCAL	ACUMULADA						V(m/s)	Q(L/s)	
1	2	99.44	98.52	43.71	2.11	10.62	10.62	12.00	99.28	0.24	1.60	24	2.41	702.21
2	3	98.52	96.89	73.58	2.21	2.41	13.03	12.30	97.94	0.24	1.10	30	2.67	1218.09
3	4	96.89	95.20	80.00	2.11	2.55	15.58	12.76	95.98	0.24	1.10	30	2.67	1218.09
4	5	95.20	91.91	100.00	3.29	3.04	18.62	13.26	93.94	0.24	1.05	30	2.61	1190.09
5	6	91.91	90.04	60.00	3.12	1.65	20.27	13.90	91.44	0.24	0.90	36	2.73	1791.66
6	7	90.04	89.09	30.22	3.14	0.78	21.05	14.27	90.07	0.24	0.90	36	2.73	1791.66
7	8	89.09	87.13	38.60	5.08	1.00	22.05	14.45	89.40	0.24	0.90	36	2.73	1791.66
8	9	87.13	85.64	83.43	1.79	2.13	24.18	14.69	88.55	0.24	0.85	36	2.65	1741.18
9	10	85.64	84.69	47.73	1.98	1.11	25.29	15.21	86.72	0.24	0.85	36	2.65	1741.18
10	11	84.69	83.23	49.48	2.95	1.05	26.34	15.51	85.70	0.24	0.85	36	2.65	1741.18
11	12	83.23	82.19	30.51	3.40	0.57	26.90	15.82	84.68	0.24	0.85	36	2.65	1741.18
12	13	82.19	80.81	40.00	3.45	0.66	27.56	16.01	84.06	0.24	0.80	36	2.57	1689.19
13	14	80.81	78.65	60.00	3.60	0.91	28.48	16.27	83.24	0.24	0.80	36	2.57	1689.19
14	15	78.65	75.57	57.35	5.37	0.78	29.25	16.66	82.03	0.24	0.80	36	2.57	1689.19
15	16	75.57	73.81	45.21	3.89	0.55	29.80	17.03	80.91	0.24	0.80	36	2.57	1689.19
16	17	73.81	72.18	37.40	4.36	0.41	30.22	17.33	80.05	0.24	0.80	36	2.57	1689.19
17	18	72.18	71.45	19.99	3.65	0.21	30.42	17.57	79.35	0.24	0.80	36	2.57	1689.19
18	19	71.45	68.80	76.28	3.48	0.71	31.13	17.70	78.98	0.24	0.80	36	2.57	1689.19
19	20	68.80	67.26	46.63	3.29	0.38	31.51	18.19	77.60	0.24	0.80	36	2.57	1689.19
20	21	67.26	65.88	37.05	3.74	0.27	31.78	18.49	76.78	0.24	0.80	36	2.57	1689.19
21	22	65.88	65.31	25.21	2.27	0.16	31.94	18.73	76.15	0.24	0.80	36	2.57	1689.19
22	23	65.31	64.65	22.25	2.93	0.12	32.06	18.90	75.72	0.24	0.80	36	2.57	1689.19
23	24	64.65	63.43	38.98	3.15	0.15	32.22	19.04	75.35	0.24	0.80	36	2.57	1689.19
24	25	63.43	61.98	33.50	4.32	0.06	32.28	19.29	74.70	0.24	0.80	36	2.57	1689.19
25	26	61.98	61.29	19.96	3.46	0.01	32.29	19.51	74.15	0.24	0.80	36	2.57	1689.19
26	27	61.29	58.94	80.02	2.94	0.03	32.32	19.64	73.83	0.24	0.75	36	2.49	1635.55
27	28	58.94	58.44	34.45	1.46	0.01	32.33	20.18	72.53	0.24	0.75	36	2.49	1635.55
28	29	58.44	58.39	25.77	0.18	0.01	32.34	20.41	71.98	0.24	0.75	36	2.49	1635.55

Continuación

POZO DE	A	RELACION q/Q	RELACION v/V	DATOS DE DISEÑO		PROFUNDIDAD TUBO		COTA INVERT		ANCHO (m)	EXC. (m ³)
				v(m/s)	q(L/s)	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL		
1	2	0.981870	1.139860	2.74	689.48	2.00	1.78	96.83	96.13	1.01	110.24
2	3	0.685341	1.076562	2.88	834.81	2.28	1.46	95.48	94.67	1.16	224.83
3	4	0.803147	1.11574	2.97	978.31	2.06	1.25	94.07	93.19	1.16	224.56
4	5	0.961449	1.138789	2.97	1144.21	3.45	1.21	90.99	89.94	1.16	359.14
5	6	0.676650	1.073617	2.93	1212.33	2.56	1.23	88.44	87.90	1.31	221.44
6	7	0.692159	1.078300	2.94	1240.11	1.88	1.20	87.25	86.97	1.31	97.50
7	8	0.719603	1.087184	2.97	1289.28	2.30	1.29	85.87	85.53	1.31	137.52
8	9	0.804317	1.11574	2.95	1400.46	2.59	1.20	84.23	83.52	1.31	308.29
9	10	0.823915	1.116207	2.96	1434.58	1.80	1.26	82.92	82.51	1.31	153.59
10	11	0.848017	1.121457	2.97	1476.55	2.26	1.22	81.51	81.09	1.31	172.79
11	12	0.855862	1.123699	2.98	1490.21	2.12	1.34	80.19	79.93	1.31	106.13
12	13	0.897318	1.131068	2.91	1515.74	2.34	1.28	78.93	78.61	1.31	143.38
13	14	0.917931	1.134259	2.92	1550.56	2.98	1.30	76.91	76.43	1.31	241.09
14	15	0.929362	1.135688	2.92	1569.87	3.90	1.28	73.83	73.37	1.31	264.23
15	16	0.933897	1.136174	2.92	1577.53	2.63	1.23	72.02	71.66	1.31	169.12
16	17	0.936748	1.136329	2.92	1582.35	2.58	1.25	70.31	70.01	1.31	139.24
17	18	0.934874	1.136174	2.92	1579.18	1.85	1.28	69.41	69.25	1.31	65.22
18	19	0.952141	1.137957	2.93	1608.35	3.28	1.24	67.25	66.64	1.31	318.40
19	20	0.946960	1.137465	2.93	1599.60	2.39	1.23	65.49	65.12	1.31	167.00
20	21	0.944942	1.137334	2.93	1596.19	2.33	1.24	64.02	63.72	1.31	131.52
21	22	0.941816	1.136922	2.92	1590.91	1.59	1.22	63.37	63.17	1.31	76.90
22	23	0.940187	1.138041	2.93	1588.16	1.72	1.25	62.67	62.49	1.31	70.12
23	24	0.940060	1.136778	2.92	1587.94	2.15	1.23	61.59	61.28	1.31	133.32
24	25	0.933852	1.136174	2.92	1577.46	2.43	1.25	60.08	59.81	1.31	121.33
25	26	0.927252	1.135349	2.92	1566.31	1.75	1.22	59.31	59.15	1.31	62.99
26	27	0.954452	1.138293	2.84	1561.06	3.02	1.27	57.35	56.75	1.31	321.92
27	28	0.938010	1.136632	2.83	1534.17	1.47	1.23	56.55	56.30	1.31	102.51
28	29	0.931234	1.135853	2.83	1523.08	1.26	1.40	56.27	56.07	1.31	76.03

2.6 Presupuesto del pavimento rígido y drenaje pluvial

Tabla XVI. Presupuesto y cuadro de cantidades de trabajo

PROYECTO	CONSTRUCCIÓN DE DRENAJE PLUVIAL Y PAVIMENTO RÍGIDO				
UBICACIÓN	ALDEA SANTA MARÍA CAJULÉ, MUNICIPIO DE SANTIAGO SACATEPÉQUEZ	FECHA	JUNIO DE 2003		
Núm	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	POZOS DE VISTA	29	UNIDAD	\$ 946.54	\$ 27,449.77
2	TRAGANTES	18	UNIDAD	\$ 247.53	\$ 4,455.52
3	COLECTOR PRINCIPAL	1294.43	m ^l	\$ 88.61	\$ 114,698.98
TOTAL DE CONSTRUCCIÓN DE DRENAJE PLUVIAL =					\$ 146,604.28
4	PRELIMINARES	6800	m ²	\$ 4.16	\$ 28,318.52
5	CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO	6800	m ²	\$ 15.17	\$ 103,139.41
TOTAL DE CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO =					\$ 131,457.94
TOTAL DEL PROYECTO =					\$ 278,062.21

NOTA: Los costos indirectos se componen de planificación 5%, supervisión 10% y administración 5%.

Tipo de cambio \$ 1.00 = Q 7.92 para el día 17 de julio de 2003.

La longitud del proyecto es de 1,360 metros aproximadamente.

Tabla XVII. Presupuesto de pozos de visita

PROYECTO	CONSTRUCCIÓN DE DRENAJE PLUMAL		
UBICACIÓN	ALDEA SANTA MARÍA CAJUE, MUNICIPIO DE SANTIAGO SACATEPÉQUEZ	FECHA	JUNIO DE 2003
CÓDIGO DEL RENGLÓN	1	DESCRIPCIÓN	
CANTIDAD	29	UNIDAD	POZOS DE VISITA DE Ø1.50

MATERIAL				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO BASE	COSTO DIRECTO
LADRILLO TAYU DE 0.065* 0.11* 0.23	48.00	MILLAR	\$ 123.11	\$ 5,909.09
CEMENTO PÓRILAND 4000 PS	374	SACOS	\$ 4.42	\$ 1,652.78
ARENA DE RÍO	35.70	m ³	\$ 9.47	\$ 338.07
PIEDRA DE 1/2 FLG	8.40	m ³	\$ 16.41	\$ 137.88
ACERONúm 2 GRADO 40 (1/4")	2.03	qq	\$ 17.05	\$ 34.60
ACERONúm 3 GRADO 40 (3/8")	11.81	qq	\$ 17.05	\$ 201.31
ACERONúm 4 GRADO 40 (1/2")	24.50	qq	\$ 17.05	\$ 417.61
ACERONúm 6 GRADO 40 (3/4")	14.87	qq	\$ 17.05	\$ 253.47
ALAMBRE DE AVARRE	3.20	qq	\$ 28.41	\$ 90.91
TOTAL DE MATERIALES=				\$ 9,035.71

MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO BASE	COSTO DIRECTO
EXCAVACIÓN	163.84	m ³	\$ 1.89	\$ 310.30
LEVANTADO MÁS ACABADO	434	m ²	\$ 2.53	\$ 1,095.96
ARMADO DE HIERRO DE 1/4"	365.4	m	\$ 0.08	\$ 27.68
ARMADO DE HIERRO DE 3/8"	942.5	m	\$ 0.09	\$ 89.25
ARMADO DE HIERRO DE 1/2"	1100.6	m	\$ 0.11	\$ 125.07
ARMADO DE HIERRO DE 3/4"	296.9	m	\$ 0.15	\$ 44.98
FUNDICIÓN	14.18	m ³	\$ 8.21	\$ 116.38
RELLENO	63.61	m ³	\$ 1.26	\$ 80.32
RETIRO DE CARGA SOBRIANTE	100.23	m ³	\$ 1.26	\$ 126.55
SUB-TOTAL =				\$ 2,016.49
MANO OBRA INDIRECTA			50%	\$ 1,008.25
PRESTACIONES			75%	\$ 1,512.37
TOTAL DE MANO DE OBRA =				\$ 4,537.11

INTEGRACIÓN DE PRECIO UNITARIO TOTAL		
TOTAL DE MANO DE OBRA	\$	4,537.11
TOTAL DE MATERIALES	\$	9,035.71
SUB-TOTAL =		\$ 13,572.83
COSTO INDIRECTO	20%	\$ 2,714.57
TRANSPORTE E IMPREVISTOS	15%	\$ 2,035.92
MAQUINARIA Y EQUIPO (% MO.)	4.5%	\$ 90.74
TOTAL =		\$ 27,449.77
PRECIO UNITARIO		\$ 946.54

Tabla XVIII. Presupuesto de tragantes

PROYECTO	CONSTRUCCIÓN DE DRENAJE PLUVIAL		
UBICACIÓN	ALDEA SANTA MARÍA CAUQUE, MUNICIPIO DE SANTIAGO SACATEPÉQUEZ	FECHA	JUNIO DE 2003
CÓDIGO DEL RENGLÓN	2	DESCRIPCIÓN	
CANTIDAD	18	UNIDAD	TRAGANTES

MATERIAL				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO BASE	COSTO DIRECTO
LADRILLO TAYUNO DE 0.065*0.11*0.23	7.74	MILLAR	\$ 101.01	\$ 781.82
CEMENTO PÓRTLAND 4000 PSI	108	SACOS	\$ 4.42	\$ 477.27
ARENA DE RÍO	7.66	m³	\$ 9.47	\$ 72.54
PIEDRÍN DE 1/2 P.L.G	4.28	m³	\$ 16.41	\$ 70.25
ACERO No. 2 GRADO 40 (1/4")	2.20	qq	\$ 18.31	\$ 40.28
ACERO No. 3 GRADO 40 (3/8")	8.50	qq	\$ 18.31	\$ 155.62
ALAMBRE DE AVARRE	1.58	qq	\$ 28.41	\$ 44.89
TOTAL DE MATERIALES =				\$ 1,642.66

MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO BASE	COSTO DIRECTO
EXCAVACIÓN	45.617	m³	\$ 1.89	\$ 86.40
LEVANTADO MÁS ACABADOS	138.24	m³	\$ 2.53	\$ 349.09
FUNDICIÓN	7.78	m³	\$ 8.21	\$ 63.85
ARMADO DE HIERRO	892.7	m	\$ 0.19	\$ 169.07
RELLENO	4.15	m³	\$ 1.26	\$ 5.24
RETIRO MÁS CARGA SOBRIANTE	41.47	m³	\$ 1.26	\$ 52.36
SUB-TOTAL =				\$ 726.01
MANO OBRA INDIRECTA			50%	\$ 363.01
PRESTACIONES			75%	\$ 544.51
TOTAL DE MANO DE OBRA =				\$ 1,633.52

INTEGRACIÓN DE PRECIO UNITARIO TOTAL		
TOTAL DE MANO DE OBRA		\$ 1,633.52
TOTAL DE MATERIALES		\$ 1,642.66
SUB-TOTAL =		\$ 3,276.19
COSTO INDIRECTO	20%	\$ 655.24
TRANSPORTE E IMPREVISTOS	15%	\$ 491.43
MAQUINARIA Y EQUIPO (% M.O.)	4.5%	\$ 32.67
TOTAL =		\$ 4,455.52
PRECIO UNITARIO		\$ 247.53

Tabla XIX. Presupuesto de colector principal

PROYECTO	CONSTRUCCIÓN DE DRENAJE PLUMAL		
UBICACIÓN	ALDEA SANTA MARÍA CAJUE, MUNICIPIO DE SANTIAGO SACATEPÉQUEZ	FECHA	JUNIO DE 2003
CÓDIGO DEL RENGÓN	3	DESCRIPCIÓN	
CANTIDAD	1301.35	ML	COLECTOR PRINCIPAL

MATERIAL				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO BASE	COSTO DIRECTO
COLECTOR DE 24" CONCRETO	43	TUBOS	\$ 11.24	\$ 483.21
COLECTOR DE 30" CONCRETO	251	TUBOS	\$ 20.08	\$ 5,039.02
COLECTOR DE 36" CONCRETO	1013	TUBOS	\$ 27.40	\$ 27,755.18
LADRILLO TAYU DE 0.065* 0.11* 0.23	1.3	MILLAR	\$ 123.11	\$ 160.04
CEMENTO PORTLAND 4000 PSI	843	SACOS	\$ 4.42	\$ 3,725.38
ARENA DE RÍO	93.5	m³	\$ 9.47	\$ 885.42
TOTAL DE MATERIALES =				\$ 38,048.23

MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO BASE	COSTO DIRECTO
EXCAVACIÓN	4720.37	m³	\$ 2.53	\$ 11,920.13
INSTALACIÓN DE TUBERÍA 24"	42.3	m	\$ 2.78	\$ 117.50
INSTALACIÓN DE TUBERÍA 30"	249.3	m	\$ 3.28	\$ 818.41
INSTALACIÓN DE TUBERÍA 36"	1009.75	m	\$ 3.79	\$ 3,824.81
RELLENO	3058.01	m³	\$ 1.26	\$ 3,861.12
RETIRO MÁS CARGA SOBRIANTE	160.95	m³	\$ 1.26	\$ 203.22
SUB-TOTAL =				\$ 20,745.19
MANO OBRA INDIRECTA			50%	\$ 10,372.59
PRESTACIONES			75%	\$ 15,558.89
TOTAL DE MANO DE OBRA =				\$ 46,676.68

INTEGRACIÓN DE PRECIO UNITARIO TOTAL		
TOTAL DE MANO DE OBRA		\$ 46,676.68
TOTAL DE MATERIALES		\$ 38,048.23
SUB-TOTAL =		\$ 84,724.91
COSTO INDIRECTO	20%	\$ 16,944.98
TRANSPORTE E IMPREVISTOS	15%	\$ 12,708.74
MAQUINARIA Y EQUIPO (% M.O.)	4.5%	\$ 933.53
TOTAL =		\$ 115,312.16
PRECIO UNITARIO		\$ 88.61

Tabla XX. Presupuesto de trabajos preliminares

PROYECTO	CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO		
UBICACIÓN	ALDEA SANTA MARÍA CAUQUE, MUNICIPIO DE SANTIAGO SACATEPÉQUEZ	FECHA	JUNIO DE 2003
CÓDIGO DEL RENGLÓN	4	DESCRIPCIÓN	
CANTIDAD	6800	m ²	PRELIMINARES

MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO BASE	COSTO DIRECTO
LIMPIEZA	6800	m ²	\$ 0.38	\$ 2,575.76
TRAZO Y ESTACQUEADO	1360	m ^l	\$ 0.44	\$ 601.01
CONFORMACIÓN DE LA SUB-RASANTE	6800	m ²	\$ 0.63	\$ 4,292.93
RELLENADO DE BASE	680	m ³	\$ 2.53	\$ 1,717.17
SUB-TOTAL =				\$ 9,186.87
MANO OBRA INDIRECTA			50%	\$ 4,593.43
PRESTACIONES			75%	\$ 6,890.15
TOTAL DE MANO DE OBRA =				\$ 20,670.45

INTEGRACIÓN DE PRECIO UNITARIO TOTAL		
TOTAL DE MANO DE OBRA		\$ 20,670.45
TOTAL DE MATERIALES		\$ 0.00
SUB-TOTAL =		\$ 20,670.45
COSTO INDIRECTO	20%	\$ 4,134.09
TRANSPORTE IMPREVISTOS	15%	\$ 3,100.57
MAQUINARIA Y EQUIPO (% M.O.)	4.5%	\$ 413.41
TOTAL =		\$ 28,318.52
PRECIO UNITARIO		\$ 4.16

Tabla XXI. Presupuesto de construcción de pavimento rígido

PROYECTO	CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO		
UBICACIÓN	ALDEA SANTA MARÍA CALQUE, MUNICIPIO DE SANTIAGO SACATEPÉQUEZ	FECHA	JUNIO DE 2003
CÓDIGO DEL RENGLÓN	5	DESCRIPCIÓN	
CANTIDAD	6800	m ²	CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO

MATERIAL				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO BASE	COSTO DIRECTO
SELECTO PARA BASE	680	m ²	\$ 2.97	\$ 2,017.68
CEMENTO PÓRTLAND 4000 PSI	10006	SACOS	\$ 4.42	\$ 44,218.43
ARENA DE RÍO	502.5	m ³	\$ 9.47	\$ 4,758.52
PIEDRÍN	798.25	m ³	\$ 16.41	\$ 13,102.59
SELLO DE JUNTAS	307	GAL	\$ 1.14	\$ 348.86
TOTAL DE MATERIALES =				\$ 64,446.09

MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO BASE	COSTO DIRECTO
COLOCACIÓN DE SELECTO PARA BASE	680	m ²	\$ 1.39	\$ 944.44
CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO	1156	m ²	\$ 1.89	\$ 2,189.39
CONSTRUCCIÓN DE JUNTAS	3554	ml	\$ 0.38	\$ 1,346.21
SELLADO DE JUNTAS	1.3	m ³	\$ 580.81	\$ 755.05
SUB-TOTAL =				\$ 5,235.10
MANO OBRA INDIRECTA			50%	\$ 2,617.55
PRESTACIONES			75%	\$ 3,926.33
TOTAL DE MANO DE OBRA =				\$ 11,778.98

INTEGRACIÓN DE PRECIO UNITARIO TOTAL		
TOTAL DE MANO DE OBRA		\$ 11,778.98
TOTAL DE MATERIALES		\$ 64,446.09
SUB-TOTAL =		\$ 76,225.06
COSTO INDIRECTO	20%	\$ 15,245.01
TRANSPORTE E IMPREVISTOS	15%	\$ 11,433.76
MAQUINARIA Y EQUIPO (% M.O.)	4.5%	\$ 235.58
TOTAL =		\$ 103,139.41
PRECIO UNITARIO		\$ 15.17

CONCLUSIONES

1. Para evaluar si el suelo encontrado en el lugar del proyecto, era o no apto para formar parte constituyente del pavimento por diseñar, fue necesario realizarle una serie de estudios, para valorar el material de una forma adecuada y predecir el comportamiento del mismo bajo carga.
2. El método simplificado de la PCA, utilizado para el diseño del pavimento rígido del tramo carretero, es un método de fácil aplicación, ya que gran parte del procedimiento del mismo se basa en tablas, por lo que tiene gran aplicación cuando no se tienen ensayos de control de tráfico.
3. El pavimento por construirse deberá soportar y distribuir las cargas en una presión unitaria lo suficientemente disminuida para estar dentro de la capacidad del suelo que constituye la capa de apoyo, reduciendo la tendencia a la formación de fallas.
4. El sistema de drenaje pluvial fue diseñado para que conforme a las especificaciones que proceden tenga un desempeño satisfactorio en todo su periodo de diseño.

RECOMENDACIONES

1. Para obtener buenos resultados en la ejecución del proyecto de pavimentación del tramo carretero, es conveniente contratar los servicios de un laboratorio de suelos para garantizar una buena conformación y compactación de la sub-rasante y la base.
2. Para una buena construcción de cualquier proyecto, se debe contar con una estricta y profesional supervisión que verifique que se cumplan las especificaciones y la obra se ejecute conforme a los planos.
3. El concreto que se utilice en la construcción del proyecto deberá de llenar los requisitos estipulados en el diseño del mismo, y en las especificaciones que se ubican en los planos.
4. La construcción del sistema de drenaje pluvial deberá hacerse apegándose a los planos presentados, ya que cualquier variación de los mismos puede influir en el rendimiento del sistema y en la vida útil del proyecto.
5. Dar mantenimiento al sistema de drenaje pluvial, al inicio y al final de cada invierno, para garantizar el buen funcionamiento del sistema durante período de vida.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ing. Crespo Villalaz, Carlos. **Mecánica de Suelos y Cimentaciones**. 4ª. ed. México: Editorial Limusa, 1999
2. Díaz Flores, Juan Carlos. Diseño de: Pavimento y Drenaje Pluvial de un Sector de las zonas 1 y 9, y Drenaje Sanitario del Cantón Choquí zona 5, Quetzaltenango. Tesis Ing. Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1998
3. Díaz Gómez, Juan José. Diseño de la línea de conducción de agua potable y escuela de nivel primario del cantón Satabal I y pavimento rígido del sector central de la cabecera municipal de San Pedro Jocopilas, El Quiché. Tesis Ing. Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 2003
4. Dirección General de Caminos, Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas, República de Guatemala. **Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes**. Guatemala, 1975
5. Flores Arango, Eddy Rolando. Análisis comparativo para la construcción de pavimentos flexibles, rígidos y semi-rígidos. Tesis Ing. Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 2002
6. Mejía Gómez, Hugo Abad. Diseño del Pavimento Rígido para dos vías de acceso principal, al municipio de El Progreso, Departamento de Jutiapa. Tesis ing. Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1996

7. Paz Stubbs, Ana Luisa. Pavimentos, tipos y usos. Tesis ing. Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 2000
8. Pérez Cahuex, Edwin Gudelio. Planificación y diseño de pavimento rígido y drenaje pluvial de un sector de la zona 4, de la ciudad de San Marcos. Tesis ing. Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1997
9. Salazar Rodríguez, Aurelio. **Guía para el Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos.** México: Editorial IMCVC, 1998

APÉNDICE

Figura 8. Índice de planos

ÍNDICE DE PLANOS	
CONTENIDO	HOJA
Planta General (Drenaje Pluvial)	1/9
Planta—Perfil (Drenaje Pluvial)	2/9
Planta—Perfil (Drenaje Pluvial)	3/9
Planta—Perfil (Drenaje Pluvial)	4/9
Planta—Perfil (Drenaje Pluvial)	5/9
Plano de Detalles (Drenaje Pluvial)	6/9
Planta General (Pavimento Rígido)	7/9
Planta—Perfil (Pavimento Rígido)	8/9
Planta—Perfil (Pavimento Rígido)	9/9

USAC UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE SANTIAGO
FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA EN CIVIL
CARRERA DE INGENIERÍA EN OBRAS DE BARRIO, ZONAS URBANAS Y PAVIMENTO RÍGIDO
CARRERA DE INGENIERÍA EN OBRAS DE BARRIO, ZONAS URBANAS Y PAVIMENTO RÍGIDO

INDICE DE PLANOS

FOLIO: 09
TOTAL: 09

Figura 9. Planta general (drenaje pluvial)

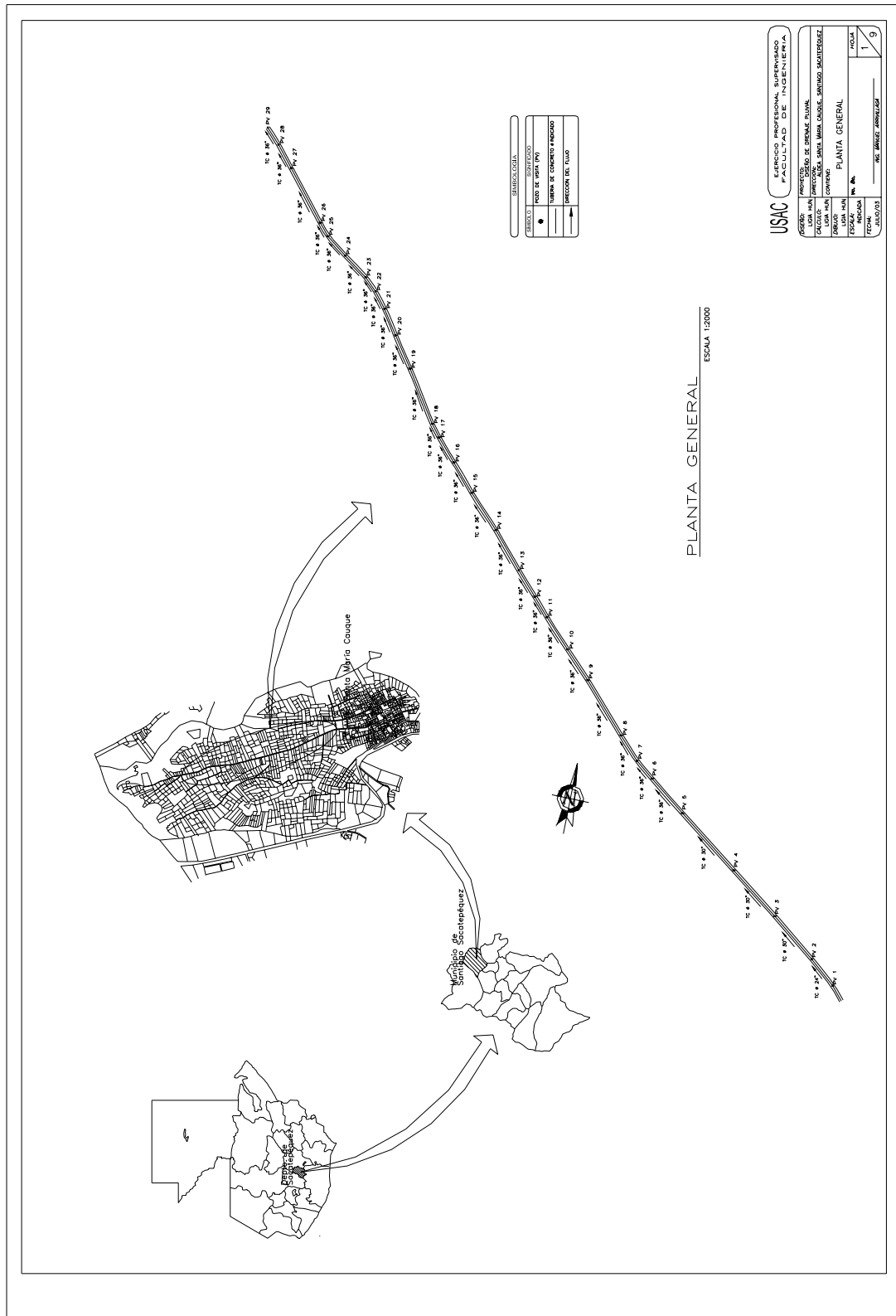


Figura 10. Planta-perfil (drenaje pluvial)

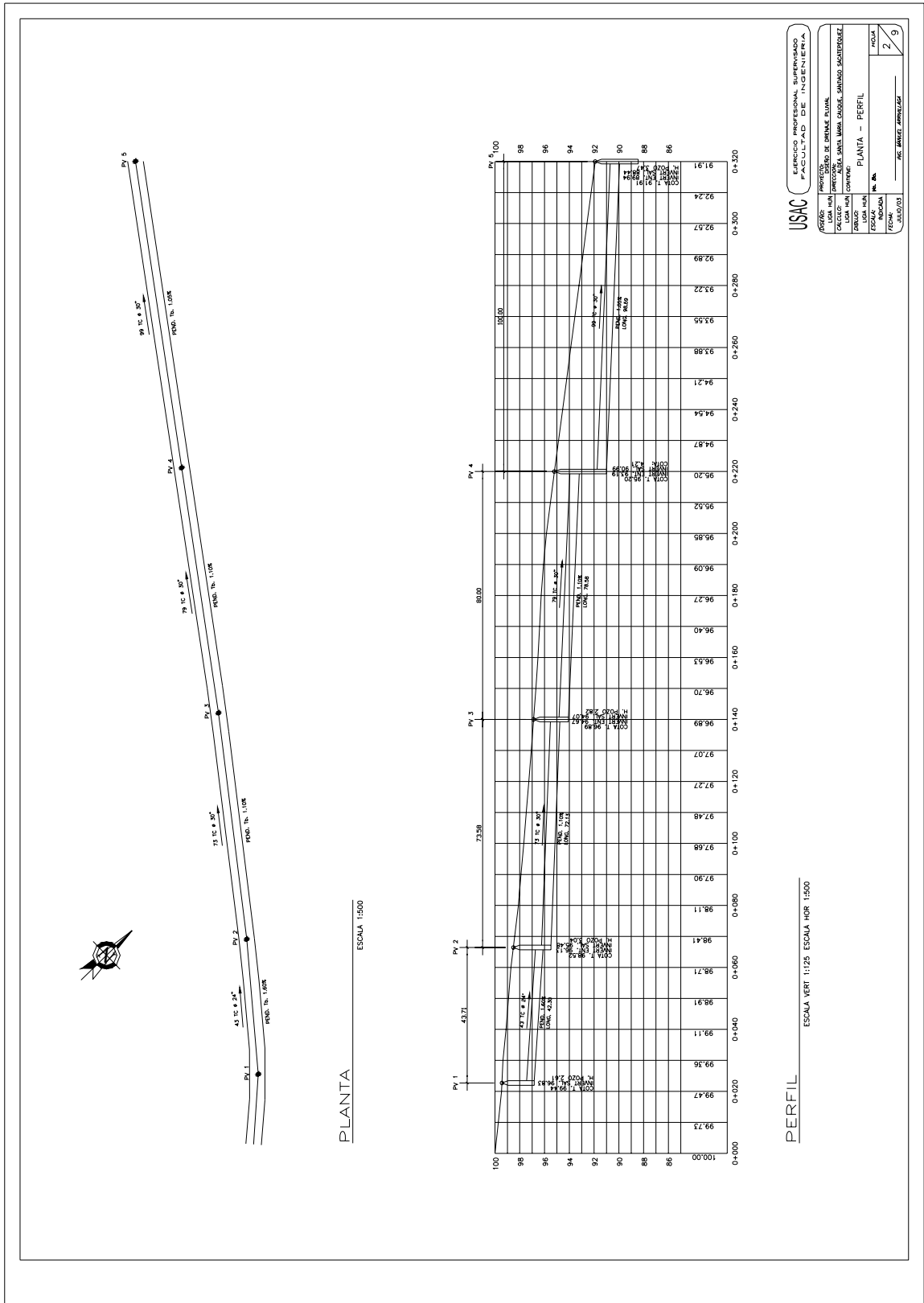


Figura 11. Planta-perfil (drenaje pluvial)

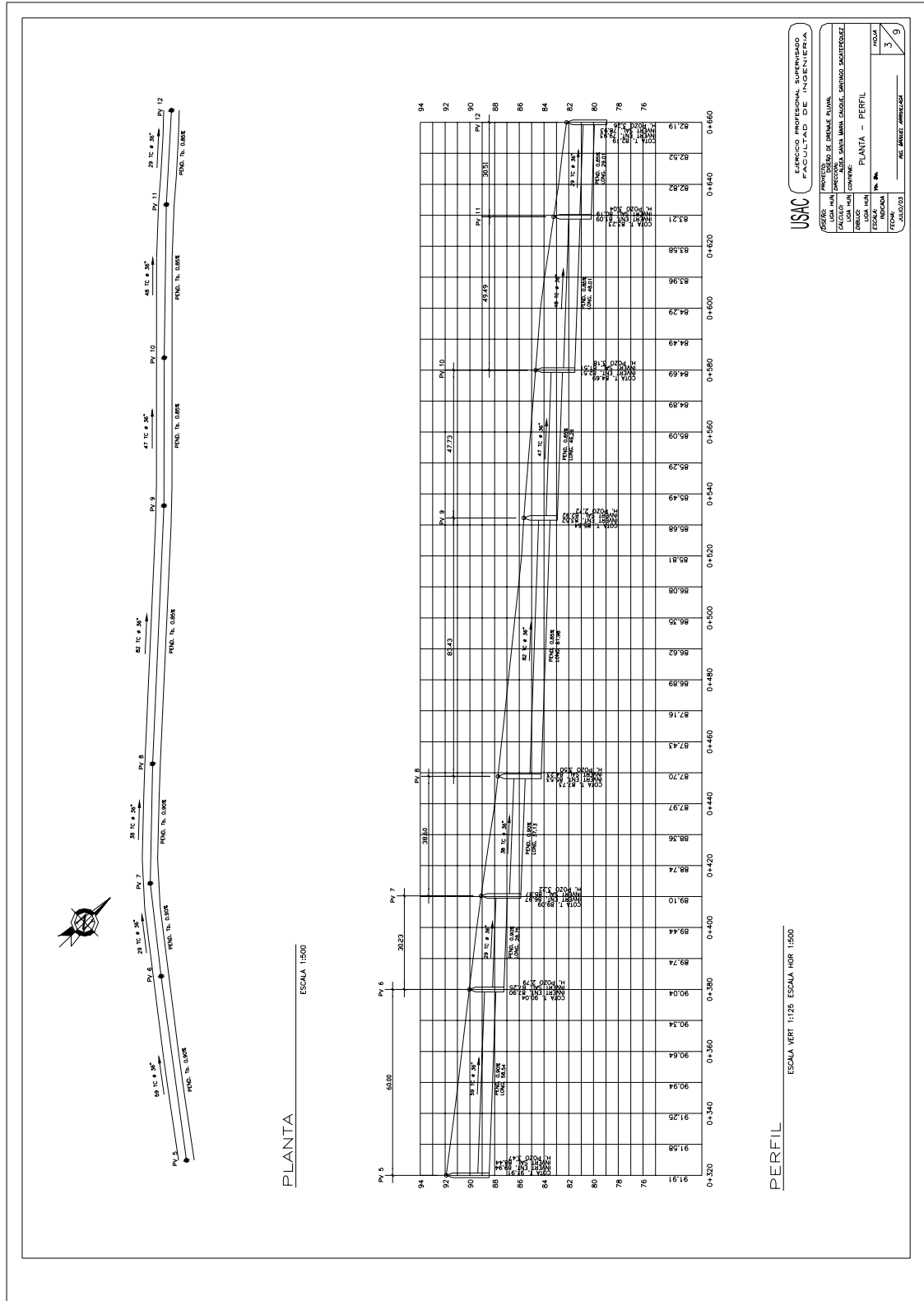


Figura 12. Planta-perfil (drenaje pluvial)

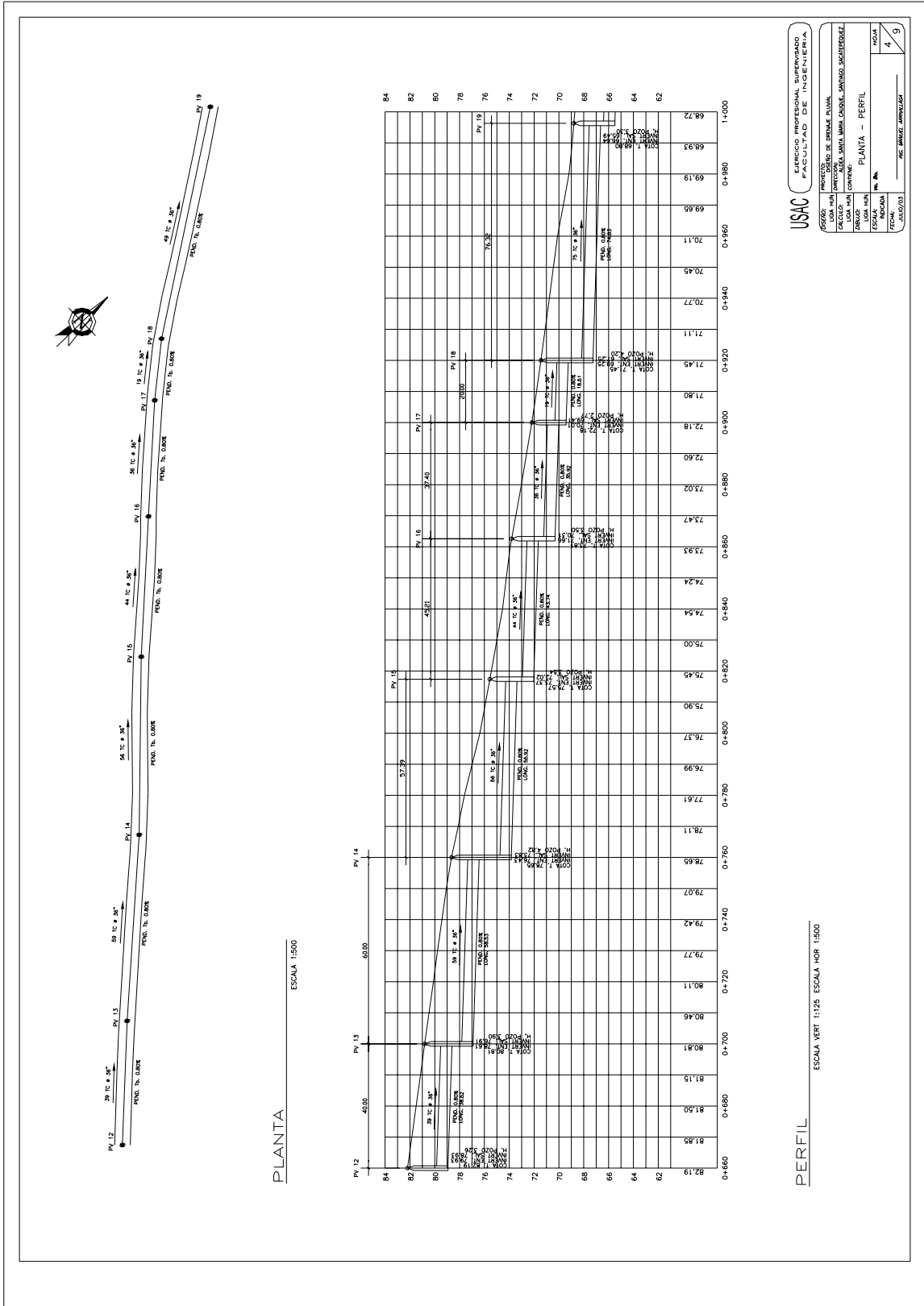


Figura 13. Planta-perfil (drenaje pluvial)

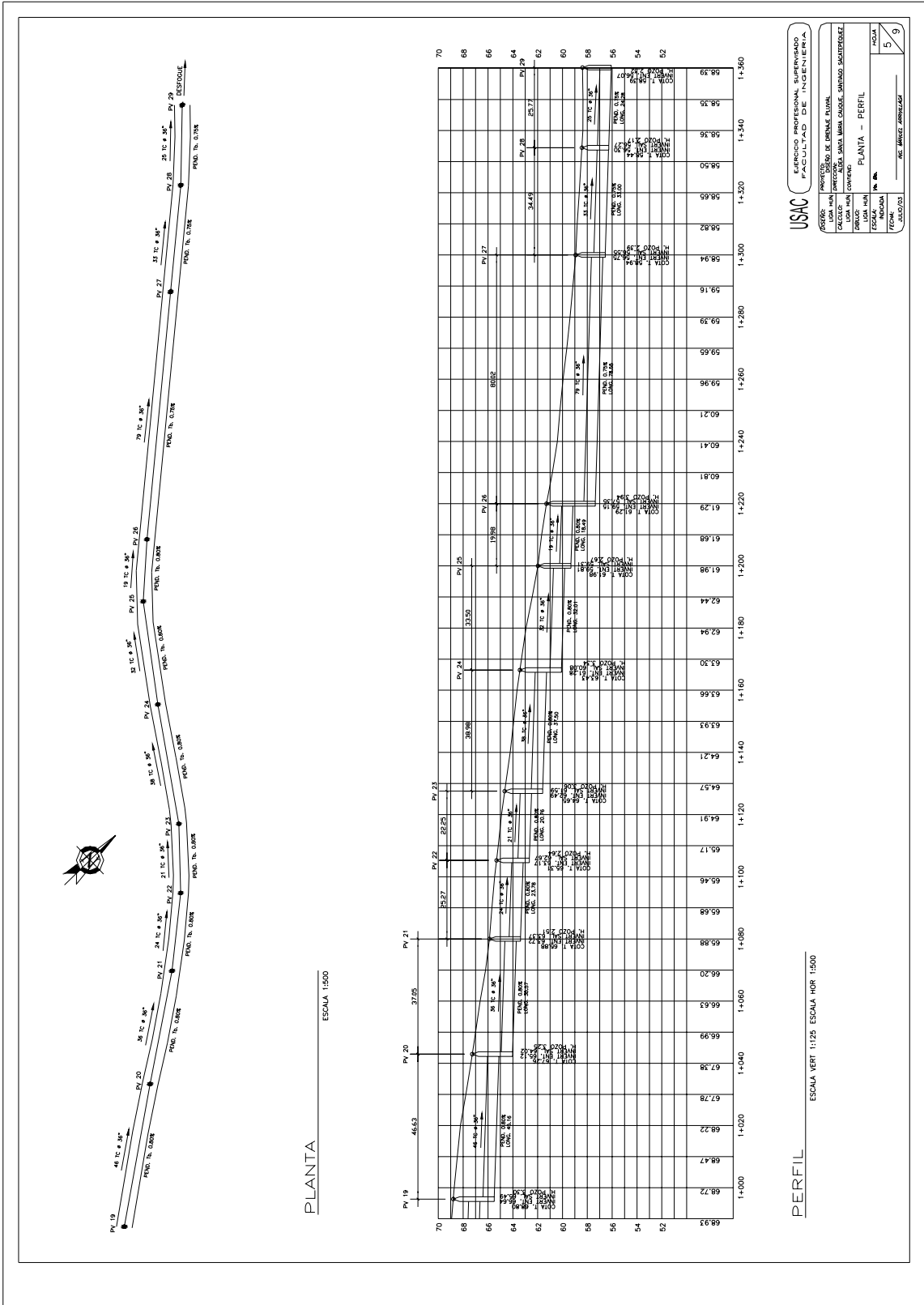


Figura 14. Plano de detalles (drenaje pluvial)

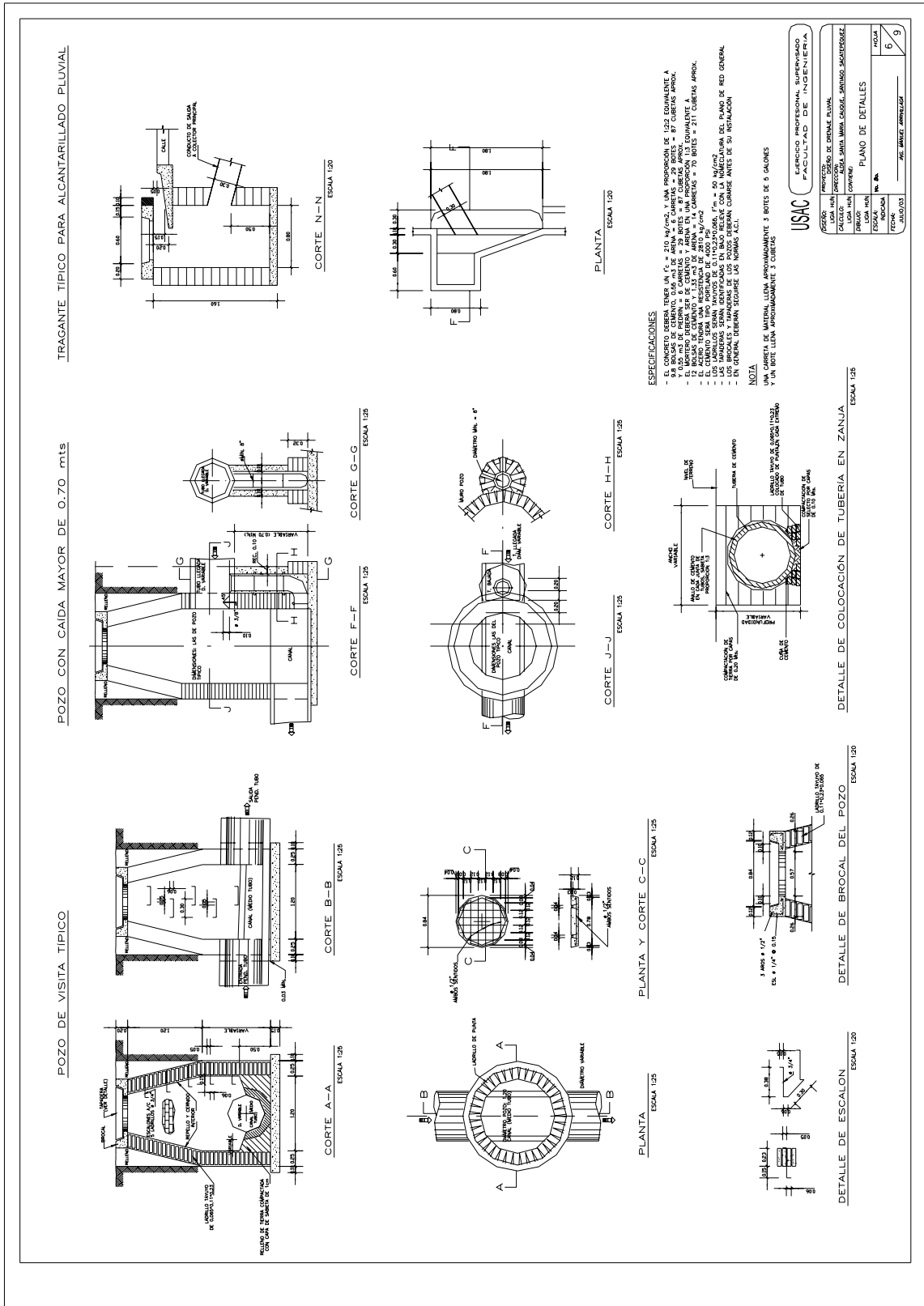


Figura 15. Planta general (pavimento rígido)

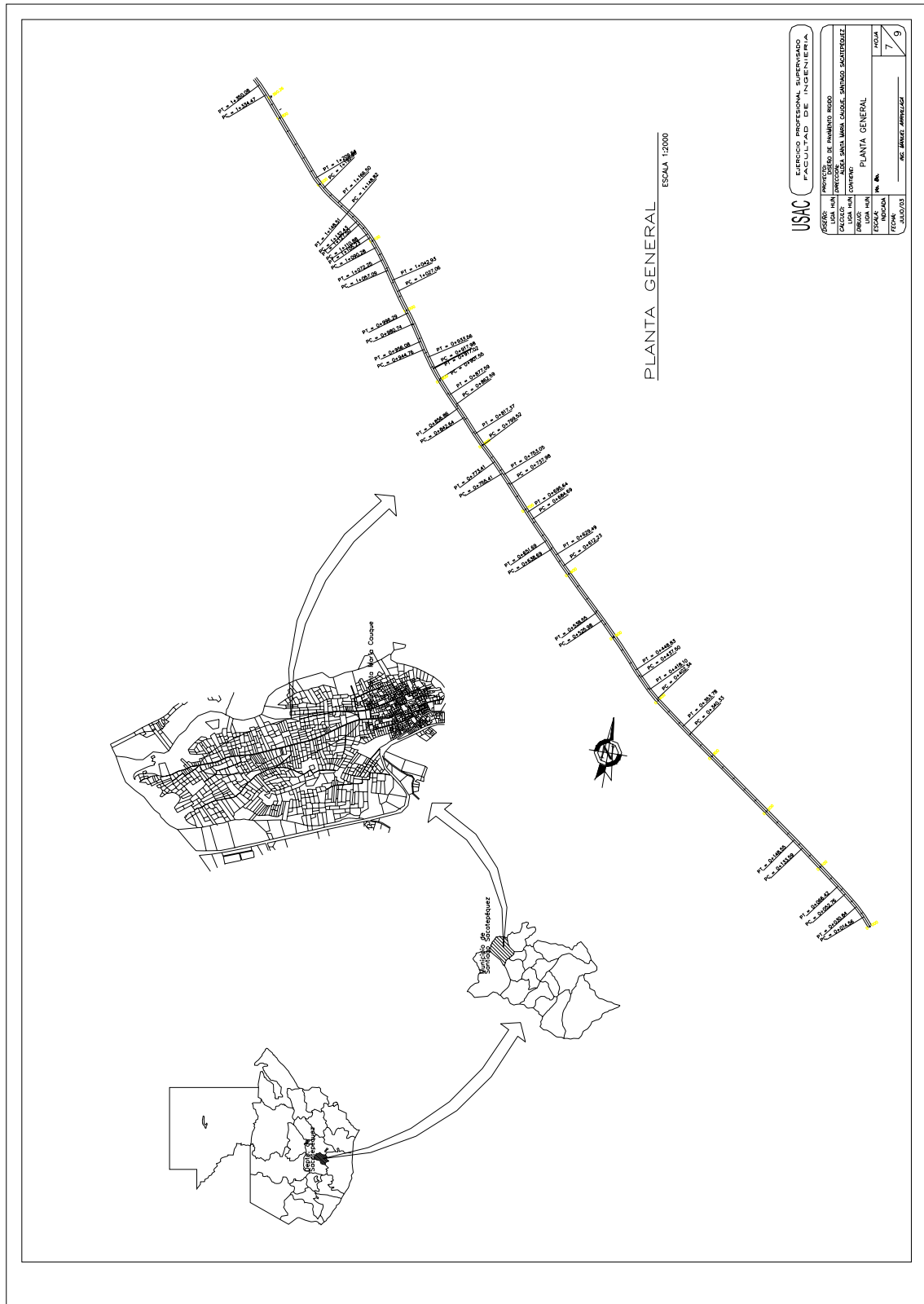
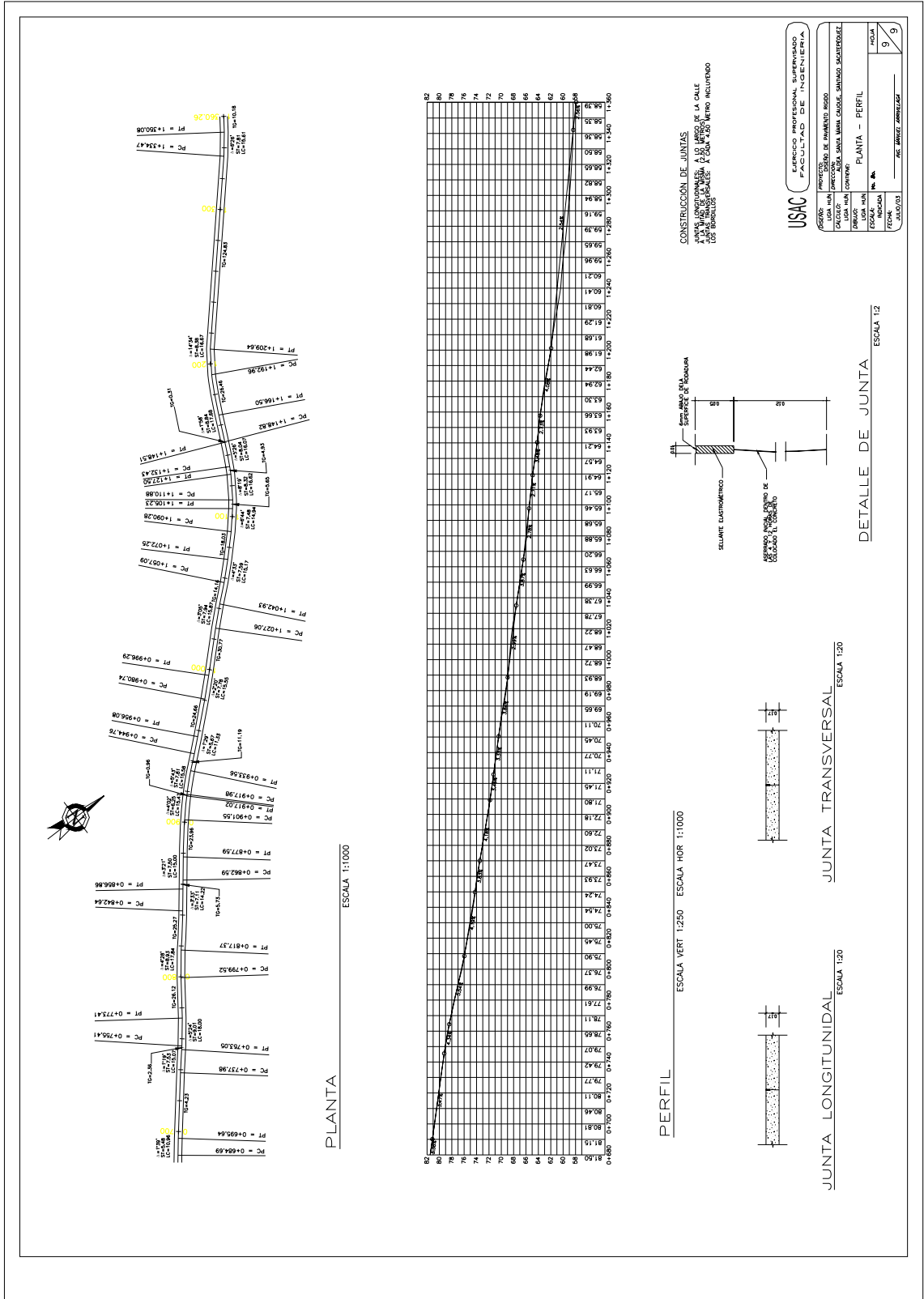


Figura 17. Planta-perfil (pavimento rígido)



ANEXOS

Figura 18. Ensayo de límites de Atterberg



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



INFORME No. 053 S.S.

O.T. No. 16166

Interesado: LIGIA E. HUN AGUILAR
Proyecto: TESIS

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

Ubicación: Aldea Santa María Cauqué, Santiago Sacatepéquez

FECHA: 25 de febrero de 2003

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	C.S.U. *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	34.6	1.3	ML	Limo arenoso color café.

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

Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.

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



Hugo Rolando Bosque
Ing. Hugo Rolando Bosque
Sección Mecánica de S

Figura 19. Ensayo de granulometría



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



INFORME No. 054 S.S.
Interesado: LIGIA E. HUN AGUILAR
Tipo de Ensayo: Con tamices y lavado previo.
Norma: A.A.S.H.T.O. T-27
Proyecto: TESIS

O.T.: 16,166

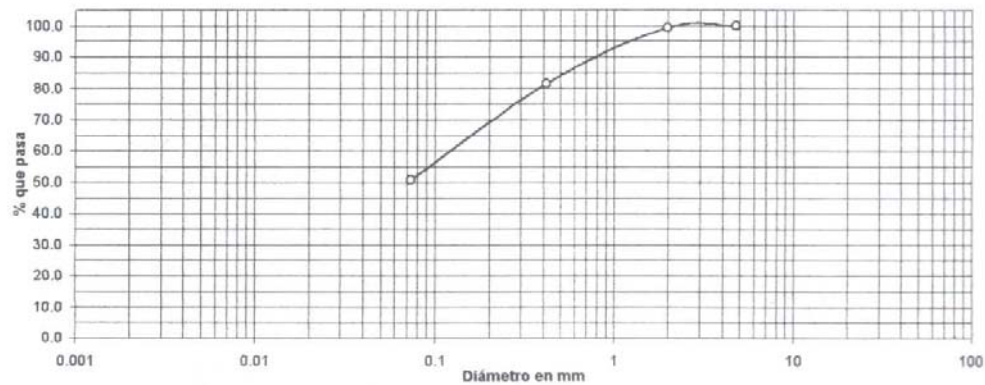
Ubicación: Santa María Cauqué, Santiago Sacatepéquez

Fecha: 25 de febrero de 2003
Muestra No. 1

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
4	4.76	99.9
10	2.00	99.4
40	0.42	81.5
200	0.074	50.9

% de grava: 0.1
% de arena: 49.1
% de finos: 50.9

Análisis por Sedimentación:	
Diámet. mm.	% que pasa



Descripción del suelo: Limo arenoso color café.
Clasificación: S.C.U.: ML P.R.A.: A-4
Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.

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



Hugo Rolando Bosque Morales
Ing. Hugo Rolando Bosque Morales
Sección Mecánica de Suelos

Figura 20. Ensayo de compactación



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



INFORME No. 055 S.S.

O.T.No.: 16,166

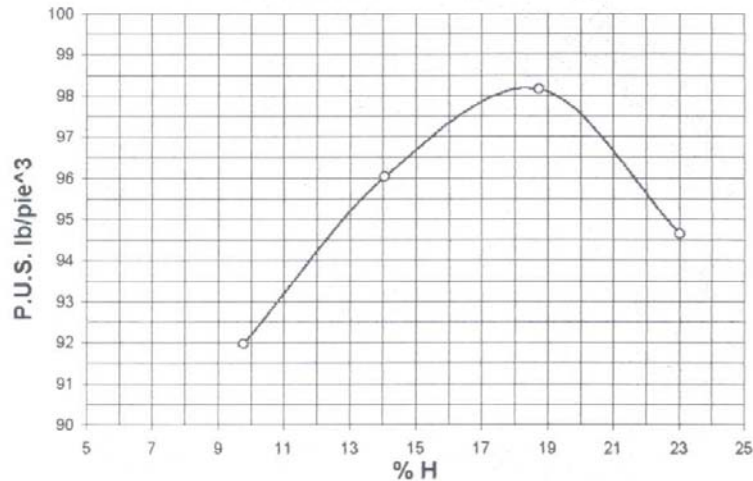
Interesado: LIGIA E. HUN AGUILAR
Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN.

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

Proyecto: TESIS
Ubicación: Santa María Cauqué, Santiago Sacatepéquez


Fecha: 25 de febrero de 2003

GRAFICA DE DENSIDAD SECA-HUMEDAD RELATIVA

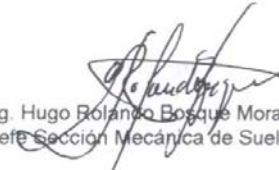


Muestra No.: 1
Descripción del suelo: Limo arenoso color café
Densidad seca máxima γ_d : 1.573 t/m³ 98.2 lb/ft³
Humedad óptima Hop.: 18.4 %
Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,

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




Ing. Hugo Rolando Bosque Morales
Jefe Sección Mecánica de Suelos

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 476-3992. Planta 443-9500 Ext. 1502. FAX: 476-3993
E-mail: cii@ing.usac.edu.gt

Figura 21. Ensayo de Relación Soporte California (CBR)



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



INFORME No.: 056 S.S.

O.T.No.: 16,166

Interesado: LIGIA E. HUN AGUILAR

Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.)

Norma: A.A.S.H.T.O. T-193

Proyecto: TESIS

Ubicación: Santa María Cauqué, Santiago Sacatepéquez

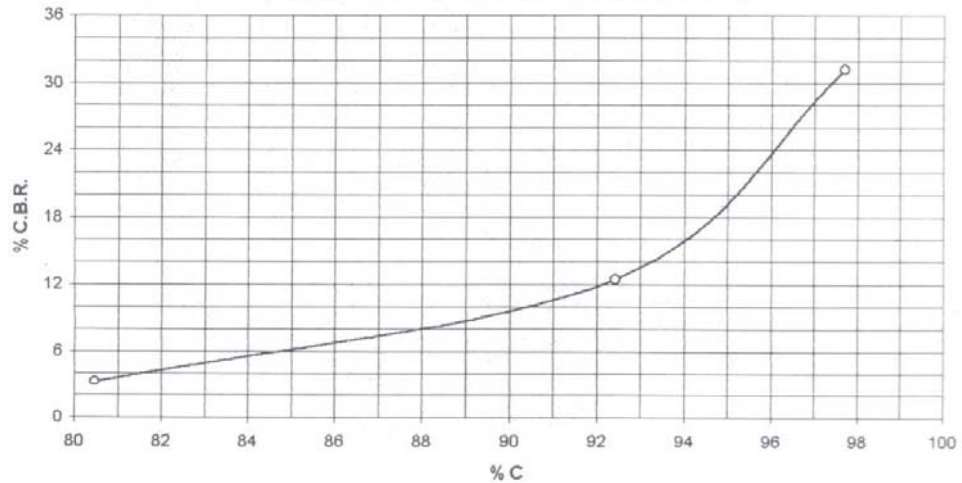
Descripción del suelo: Limo arenoso color café

Muestra No.: 1

Fecha: 25 de febrero de 2003

PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	γ_d kg/m ³			
1	10	17.0	1266.2	80.48	1.6	3.2
2	30	17.0	1454.3	92.44	1.4	12.4
3	65	17.0	1537.1	97.71	0.7	31.2

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



Atentamente,

Vo.Bo.

Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR CIUSAC



Ing. Hugo Rolando Bosque Morales
Jefe Sección Mecánica de Suelos

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 476-3992. Planta 443-9500 Ext. 1502. FAX: 476-3993
E-mail: cii@ing.usac.edu.gt