



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DEL EMPEDRADO PARA LA CALLE PERIMETRAL Y
PLAZA DEL CASCO URBANO, SAN MARTÍN JILOTEPEQUE,
CHIMALTENANGO**

GERMAN SOTZ ROQUEL

Asesorado por: Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta

Guatemala, octubre de 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DEL EMPEDRADO PARA LA CALLE PERIMETRAL Y
PLAZA

DEL CASCO URBANO, SAN MARTÍN JILOTEPEQUE,
CHIMALTENANGO

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

GERMAN SOTZ ROQUEL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2003

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 EMPEDRADO PARA LA CALLE PERIMETRAL Y PLAZA

DEL CASCO URBANO, SAN MARTÍN JILOTEPEQUE,
CHIMALTENANGO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
con fecha 25 de octubre de 2002.

German Sotz Roquel

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO: Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I: Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II: Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III: Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV: Br. Kenneth Issur Estrada Paiz
VOCAL V: 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. Carlos Salvador Gordillo García
EXAMINADOR: Ing. Christa Classon de Pinto
EXAMINADOR: Ing. Juan Merck Cos
SECRETARIO: Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

ACTO QUE DEDICO:

A:	DIOS TODOPODEROSO
-A LA MEMORIA DE MI PADRE	CIPRIANO SOTZ ROQUEL (Que en paz descanse)
-MI MADRE	FELIPA ROQUEL MAYOR Por el apoyo recibido
-MI ESPOSA	MIRIAM C. CURRUCHICH ICU Con amor
-MI HIJA	LISELI MARLENI Que me impulsa a seguir adelante
-MI HERMANO	EFRAIN Por el apoyo brindado
-FAMILIA EN GENERAL	Los que de una u otra forma contribuyeron a esta causa
-LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	

AGRADECIMIENTO

Deseo manifestar mi agradecimiento al ingeniero Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta, por la asesoría recibida en este trabajo de tesis

ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VIII
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XII
INTRODUCCIÓN	XIII
1. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR	
1.1 Localización e Identificación	1
1.2 Vías de comunicación	2
1.3 Condiciones ambientales	3
1.3.1 Clima	3
1.3.2 Temperatura	3
1.3.3 Vientos	3
1.3.4 Precipitación	4
1.3.5 Humedad Relativa	4
2. ASPECTOS FUNDAMENTALES SOBRE PAVIMENTO	
2.1 Generalidades	5
2.1.1 Definición de pavimentos	5
2.1.2 Tipos de pavimentos	5
2.2 Elementos estructurales de los pavimentos	6
2.3 Pavimentos flexibles	12
2.4 Pavimentos rígidos	12

3. ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS QUE DEFINEN LA CARPETA EMPEDRADA DE RODADURA

3.1	Bordillo	14
3.1.1	Bordillo de piedra	14
3.1.2	Bordillo de concreto	15
3.2	Cintas	16
3.3	Cajones	18
3.4	Rodaduras para tránsito pesado	18
3.5	Mortero de enlace	21

4. SERVICIO PROFESIONAL

4.1	Diseño del empedrado para la calle perimetral y plaza	
4.1.1	Reconocimiento del área de trabajo	22
4.1.1.1	Carácter del lugar y entorno	23
4.1.1.2	Análisis del tránsito	24
4.1.1.3	Factibilidad de materiales	26
4.2	Levantamiento topográfico	27
4.2.1	Levantamiento planimétrico	27
4.2.2	Levantamiento altimétrico	27
4.3	Ensayos de laboratorio de suelo	28
4.3.1	Determinación de la Densidad máxima y la humedad óptima	28
4.3.2	Determinación del valor soporte de California (C.B.R)	30
4.3.3	Límites de atterberg	32
4.3.4	Cálculo del índice de grupo	33

4.3.5 Determinación de las características del suelo de la plaza de San Martín Jilotepeque	34
4.4 Estabilización de Suelos	41
4.4.1 Suelo-cemento	42
4.4.2 Suelo-cal	43
4.4.3 Suelo-asfalto	44
4.4.4 Ensayos de Suelo-cal, como referencia para la estabilización de la sub-rasante del proyecto	45
4.5 Diseño de espesores para el pavimento de Empedrado	52
4.5.1 Fórmula del Ingeniero Williams Mills, para el cálculo de espesores del pavimento de empedrado (pavimento flexible)	52
4.5.2 Tablas y gráficas a utilizarse en la fórmula de Mills	53
4.5.3 La capa de asiento en los pavimentos de piedra	58
4.5.4 Diseño de espesores para el pavimento de empedrado, sobre la sub-rasante estabilizada con cal	59
4.5.5 Cálculo hidráulico de tragantes y pozos de visita para el proyecto	62
5. ANÁLISIS DEL COSTO PARA PAVIMENTO DE PIEDRA	
5.1 Generalidades	64
5.2 Costo de pavimentos de piedra	67
5.3 Cronograma de actividades	72

CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFÍA	78
APÉNDICES	80

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Piedras para construcción de bordillos	15
2	Bordillos de concreto	16
3	Colocación de piedras cinta	17
4	Dimensiones de las piedras utilizadas para cinta	17
5	Formas y medidas de piedras para relleno de cajones	18
6	Formas de las carrileras para tránsito pesado	19
7	Detalle de carrileras y sección de calles	20
8	Ploteo de los resultados de C.B.R. del proyecto	38
9	Tiempo de terminación de la obra	72
10	Levantamiento planimétrico del proyecto	82
11	Levantamiento altimétrico del proyecto	84
12	Planta de curvas de nivel	87
13	Planta de curvas de nivel + ejes	88
14	Planta perfil ejes A, B, C, D	89
15	Planta perfil ejes E, F, G	90
16	Colocación de piedras para el proyecto	91
17	Plano de ubicación de tragantes de acera, rejillas y pozos	92
18	Detalle de rejillas, tragantes y pozos de visita	93

TABLAS

I	Tipos de graduación para material de capa de base de grava o piedra trituradas	10
II	Porcentaje anual de tránsito y factores de crecimiento	26
III	Resultados del análisis de suelo del proyecto	36
IV	Ensayo de compactación (Proctor) del proyecto	37
V	Resultados del ensayo C.B.R. del proyecto	39
VI	Ensayos para los límites de Atterberg del proyecto	40
VII	Granulometría por tamices, terreno natural	46
VIII	Límites de Atterberg, terreno natural	46
IX	Proctor estandar, terreno natural	47
X	Valor soporte de California, terreno natural	47
XI	Límites de consistencia e índice de plasticidad, estabilización con cal hidratada, muestra No. 1	47
XII	Granulometría, estabilización con cal hidratada, muestra No. 1	48
XIII	Ensayos complementarios, estabilización con cal hidratada, muestra No. 1	48
XIV	Límites de consistencia e índice de plasticidad, estabilización con cal hidratada, muestra No.2	49
XV	Granulometría, estabilización con cal hidratada, muestra No. 2	49
XVI	Ensayos complementarios, estabilización con cal hidratada, muestra No. 2	50
XVII	Límites de consistencia e índice de plasticidad, Estabilización con cal hidratada, muestra No. 3	50
XVIII	Granulometría, estabilización con cal hidratada, muestra No. 3	51

XIX	Ensayos complementarios, estabilización con cal hidratada, muestra No. 3	51
XX	Especificaciones AASHO M-147, graduaciones que dan una buena estabilidad en los suelos	53
XXI	Clasificación del tránsito	54
XXII	Espesores mínimos recomendados para capa de base	54
XXIII	Espesores mínimos recomendados para capa de sub-base y factor de incremento por mal drenaje	55
XXIV	Cuadro para el cálculo hidráulico de tragantes para el proyecto	63
XXV	Presupuesto de materiales	68
XXVI	Presupuesto de mano de obra	69
XXVII	Presupuesto de maquinaria	70
XXVIII	Condensación del costo	71
XXIX	Levantamiento altimétrico del proyecto	85

GLOSARIO

A-7-5	En mecánica de suelos, es una arcilla de alta compresibilidad y alto cambio de volumen con índice de plasticidad igual o menor que LL-30.
Contenido de materia Orgánica	Porcentaje de material compuesto de material vegetal y animales en estado de descomposición que se encuentran en ciertas clases de suelos.
Desparramar	Esparcir algún material sobre un área determinada.
Diseño	Es un proceso que, mediante la elaboración de gráficos: planos, y escritos: documentos, define las características de una obra a efecto de su ejecución por persona o personas entendidas en la materia.
Escarificar	Consiste en hacer incisiones de cierta profundidad dentro del suelo con fines de poder mezclarle algún material estabilizante.
Granulometría	La mecánica de suelos se auxilia de los análisis de granulometría para identificar los diferentes tamaños que tienen las partículas que componen un suelo.
Humedad óptima	Es el porcentaje de humedad que debe contener el suelo para lograr la máxima densidad seca en el momento de la compactación.

I.G	Índice de grupo, es una característica del suelo en observación la cual predice su calidad.
Kg/Cm²	Kilogramo sobre centímetro cuadrado.
L.L.	Límite líquido.
L.P.	Límite plástico.
Motoniveladora	Máquina pesada que se emplea para nivelar las diferentes capas que componen la estructura de un pavimento.
P.U.S.	Peso unitario seco.
Pavimento	Superficie transitable que soporta el tránsito de vehículos.
Reacción Puzolánica	Acción de reaccionar de los componentes de un material rico en sílice con los óxidos de calcio y magnesio.
Riper	Equipo que se instala a tractores o motoniveladoras para escarificar superficies en construcción.

Sub-rasante	En mecánica de suelo es la superficie que soporta la estructura del pavimento.
Suelo apropiado	Material que llena las exigencias de la construcción de alguna obra.
Suelo inapropiado	Material que no llena los requisitos necesarios para ser utilizado como material de construcción.
Tamiz	Colador con los orificios de dimensiones establecidas para determinar el tamaño de las partículas que componen un suelo.
Trailla	Máquina pesada que se utiliza para hacer cortes en el terreno para lograr niveles deseados.
Turba	Combustible fósil formado por materiales vegetales más o menos carbonizadas, en mecánica de suelos son los materiales altamente orgánicos.

RESUMEN

Este trabajo de graduación se refiere al estudio técnico del pavimento de empedrado de la calle perimetral y plaza del casco urbano de la villa de San Martín Jilotepéque, del departamento de Chimaltenango; se presenta teoría sobre el complejo arte de pavimentación, elementos que constituyen la estructura empedrada, métodos de estabilización de subrasante, tablas y gráficas sobre el diseño del proyecto, libretas del levantamiento topográfico del lugar a pavimentar y siete planos que constituyen el proceso constructivo del pavimento de empedrado.

Es importante mencionar que para el diseño, es necesario abordar criterios de aquellos que por su experiencia y estudio profundo sobre el comportamiento de estas estructuras, nos dan los parámetros necesarios a tomar en cuenta para que este satisfactor cumpla con las exigencias de los usuarios, es por ello que se incluyen también teorías sobre el tema general de pavimento.

Considerando que al conjugar todos estos elementos y con la voluntad de las autoridades del lugar, este proyecto sea llevado a su ejecución, para elevar la calidad de la calle perimetral y por supuesto, de la plaza que actualmente se encuentra en completo deterioro.

OBJETIVOS

Generales

1. Diseñar, la calle perimetral a la plaza y la plaza misma.
2. Dar una solución profesional y técnica al problema actual de la calle y plaza del municipio de San Martín Jilotepeque.

Específicos

1. Dar la ayuda técnica, de acuerdo a los criterios de la Ingeniería Civil a la Municipalidad de San Martín Jilotepeque.
2. Otorgar a la Municipalidad los planos respectivos, para la gestión de los fondos, necesarios para la ejecución del proyecto de empedrado.

INTRODUCCIÓN

La población de la villa de San Martín Jilotepeque, del departamento de Chimaltenango, es uno de los municipios que cuenta con una plaza que conserva las características coloniales, en donde en épocas antiguas se realizaban las reuniones o ceremonias más importantes del lugar, esta área es de aproximadamente ocho mil metros cuadrados, contando con una fuente en el centro; con el paso del tiempo y con el apareamiento de los automotores, conjuntamente con el crecimiento poblacional del lugar, el empedrado como carpeta de rodadura ya no respondió a esta necesidad, hablando de la calidad estructural que requieren estos servicios propios de la época moderna. Actualmente la plaza y el área que se utiliza como calle se encuentran en mal estado y lejos de encontrar un atractivo para los propios y extraños representa una contaminación visual, principalmente en la época de invierno.

En la actualidad la mayor parte de los pueblos afrontan el problema de la falta de pavimento y si lo tienen se encuentran en mal estado ocasionado por el mal mantenimiento o malos procesos constructivos, por tales razones y aprovechando la proyección de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se diseñan pavimentos con todo el profesionalismo que esto amerita, para colaborar en la solución de las necesidades fundamentales de las comunidades.

Debido a las condiciones predominantes del lugar, es necesaria la construcción de un nuevo pavimento de empedrado, esto para conservar las características originales del lugar y que el mismo sea capaz de soportar el tránsito previsto. Este estudio técnico se realizó con el objeto de que en un futuro no lejano sea ejecutado el proyecto para beneficio del municipio.

1. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR

1.1 Localización e identificación

La villa de San Martín Jilotepeque, está situada al norte del departamento de Chimaltenango, a una distancia de 18.5 kilómetros, partiendo de la plaza municipal, y ésta hacia la ciudad capital la separan 72 kilómetros. Dicha villa se encuentra localizada a una altura de 1785.55 metros sobre el nivel del mar y cuenta con 251 kilómetros cuadrados.

Los límites de San Martín Jilotepeque son:

Al Norte: Los municipios de Joyabaj y Pachalún del departamento de El Quiché.

Al Sur: Con la aldea San Jacinto y el caserío Tonajuyú, ambos del municipio de Chimaltenango.

Al Este: Con el municipio de San Juan Sacatepequez del departamento de Guatemala.

Al Oeste: Con los municipios de San Juan Comalapa y San José Poaquil, del departamento de Chimaltenango.

La cabecera municipal se encuentra ubicada bajo las coordenadas latitud norte 14°46'48" y longitud oeste 90°47'35".

La actual Villa de San Martín Jilotepeque tuvo sus antecedentes históricos en el período post clásico maya del siglo XIII o sea cuando se produjo la diseminación de esta cultura por el sur del departamento de Petén. La palabra Xilotepec viene de la voz náhuatl que significa: Xilot, maíz tierno o elotes y Topetl: cerro, o sea cerro de maíz tierno, otros señalan que la palabra Xilotepec proviene de la lengua Otomí y que significa Hogar de la diosa Xilonén, Xilonén también significa diosa de las mieces.

La población está constituida con un 80% de indígenas pertenecientes a la etnia kaqchikel, en tanto que la no indígena en un 20%, sin embargo, el idioma que predomina es el español con un 85% y un 15% de los pobladores que hablan el kaqchikel.

Dentro del aspecto religioso, la gran mayoría de sanmartinecos son católicos y el resto se distribuye entre sectas evangélicas, en tanto que su fiesta titular es el 11 de noviembre en honor a San Martín de Tours.

1.2 Vías de comunicación

El municipio de San Martín Jilotepeque, está situado al norte del departamento de Chimaltenango a una distancia de 18.5 kilómetros, considerado como el tramo RD-1, asfaltado; partiendo de la plaza departamental hacia la ciudad capital la separan 72 kilómetros, identificándolo como la ruta CA-1 occidente, también asfaltada; esto nos indica que el proyecto de empedrado está a 90.5 kilómetros de la ciudad capital.

1.3 Condiciones ambientales

1.3.1 Clima

En los 251 kilómetros de extensión territorial del municipio de San Martín Jilotepeque, en zonas bien diferenciadas se manifiestan tres clases de climas, frío, templado y cálido.

Son aldeas frías: Las Lomas, Varituc y el Molino.

Con clima templado: La cabecera municipal, aldeas Xesuj, Xejuyú, Choatalún y Quimal.

Clima cálido: aldeas Chijocón, Estancia de la Virgen, Estancia de San Martín, Las escobas y parte de Patzaj

1.3.2 Temperatura

Las temperaturas del municipio son variables, según la información obtenida en la Estación Meteorológica, ubicada en el municipio, las que se cuentan durante el verano son de 25 a 31 grados centígrados.

1.3.3 Vientos

En relación a la velocidad del viento se manifiesta una sección dominante de Nor-occidente a Sur-oriente y se presenta dentro del parámetro de 8 a 15 kilómetros de velocidad.

1.3.4 Precipitación

La precipitación anual del municipio es de 1,134 mm con 96 días anuales de lluvia.

1.3.5 Humedad relativa

En cuanto a la humedad relativa, esta oscila entre 93 a 98 grados, hasta las 18:00 horas.

2. ASPECTOS FUNDAMENTALES SOBRE PAVIMENTO

Generalidades

El objeto de este capítulo, es de reunir los conocimientos que se tienen de pavimentos, proponiendo también métodos para el diseño de espesores y especificaciones para el uso de cada tipo de pavimentos.

Definición de pavimentos

Es una estructura cuya función fundamental es la de distribuir suficientemente las cargas concentradas provenientes de las ruedas de los vehículos, de manera que el suelo subyacente pueda soportarlas sin falla o deformación excesiva. Las condiciones que debe reunir un pavimento son una superficie lisa, no resbaladiza, que resista la intemperie y finalmente debe proteger al suelo de sus propiedades, por efecto del sol, las lluvias y el frío.

Tipos de pavimento

Desde ya hace varios años se han hecho esfuerzos de clasificar los diferentes pavimentos y atendiendo los resultados obtenidos de los estudio realizados, la forma como distribuyen las cargas sobre la subrasante, se definen dos tipos de pavimento: los pavimentos rígidos que están formados por losas de

concreto de cemento Pórtland, muy rígida y resistente, tienden a absorber las cargas recibidas repartiéndolas en una amplia área de la subrasante. En este tipo de pavimento, la mayor parte de capacidad estructural es proporcionada por la losa de concreto. Además existen los pavimentos flexibles, los cuales están compuestos de varias capas de suelo y una carpeta asfáltica superficial, la cual produce una mínima distribución de cargas, ocasionada por el contacto de partícula a partícula en todo el espesor del pavimento. Este tipo de pavimento transmite las cargas sin distribuirlas, por lo que se debe contar con una base de buena calidad, mencionando dentro de este grupo el pavimento de empedrado.

Además de esta clasificación, existe el pavimento de adoquín, que por la forma como se distribuyen las cargas en las capas inferiores a la superficie de rodadura, se le considera un pavimento semiflexible

Elementos estructurales de los pavimentos

Subrasante

Es la capa natural del terreno que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad en que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. El espesor del pavimento dependerá en gran parte en la calidad de la subrasante, sea éste rígido o flexible.

Se recomienda que la capa de subrasante no sea menor de 30 cm de espesor, ésta puede estar en corte o relleno. Es lo común que la subrasante esté formada por el mismo suelo de la terracería. Este suelo como subrasante deberá cumplir con ciertos requisitos para producir un pavimento de buena calidad; dichos requisitos dependen de las propiedades de los materiales que

se determinan por ensayos debidamente normalizados por la *American Association of State Highways Officials A.A.S.H.O.*

Los siguientes requisitos deben cumplirse en una profundidad de al menos cincuenta centímetros para calles y carreteras.

PROPIEDAD	REQUISITO
Tamaño máximo de partícula.....	7.5 cm.
Límite líquido.....	Mayor del 50%
C.B.R.....	5% Mínimo
Expansión.....	5% Máximo
Compactación.....	95% Mínimo

Los suelos que no cumplan con estas condiciones, deberán ser sustituidos por un material adecuado o bien ser estabilizados.

Subbase

Es la capa de material que se coloca entre la subrasante y la capa base. Esta puede constituirse con una gran variedad de suelos, ya sea en su estado natural o mejorados por un tratamiento adecuado.

Funciones y características de la subbase

- a. Transmitir y distribuir las cargas provenientes de la base.

- b. Servir de material de transición entre el suelo de subrasante y la base.
- c. Romper la capilaridad de la terracería y drenar el agua proveniente de la base.
- d. Ser susceptible de compactación, es decir, que la compresión o la vibración conduzcan fácilmente a una disposición estable de las partículas correspondientes a una cantidad de vacíos reducida y a una gran densidad seca.
- e. Ser poco sensible al agua, para lo cual, es preciso que la proporción de finos arcillosos, sea pequeña. Son ideales los suelos cuyo índice de plasticidad sea nulo o menor a cinco.
- f. Conservar en las condiciones higrométricas más desfavorables una consistencia suficiente.
- g. El material no deberá tener un hinchamiento mayor del 1%.
- h. El agregado grueso retenido en el tamiz No. 10, deberá tener un porcentaje de desgaste no mayor de 50 a 100 revoluciones, determinado por el método de los Ángeles.
- i. El material debe ser seleccionado y tener mayor capacidad de soporte que el terreno de fundación compactado. Este material puede ser: arena, grava, granzón, residuo de cantera, etc. Su valor soporte de california o C.B.R. no podrá ser menor de 20 a 95% de compactación, para una penetración 0.1 pulgada.

Base

Es la capa de la estructura destinada a transmitir y distribuir las cargas originadas por el tránsito a las capas adyacentes y sobre las cuales se coloca la superficie de rodadura.

Funciones y características de la base

- a. Transmitir y distribuir las cargas provenientes de las superficies de rodadura.
- b. Servir de material de transición entre las subbases y las carpetas de rodadura.
- c. Drenar el agua que se filtre a través de las carpetas y hombros hacia las cunetas.
- d. Ser resistente a los cambios de temperatura, húmedas y desintegración por abrasión producida por el tránsito.
- e. El material deberá tener una relación de valor soporte de California o C.B.R. no menor de 90% a un porcentaje de compactación de 95%; para una penetración de 0.1 pulgada.
- f. El material no deberá tener un hinchamiento de 0.5%.
- g. Evitar el bombeo (pavimentos rígidos).

Tipos de bases

Bases de grava o piedra triturada

Son bases de materiales provenientes de la explotación de minas, de roca o de pedreras naturales.

Tabla I. Tipos de graduación para material de capa de base de grava o piedra trituradas

Tamiz #	Mm	Porcentaje por peso que pasa un tamiz de abertura cuadrada AASHTO T 27		
		Tipo A 2" máximo	Tipo B 1 ½" máximo	Tipo C 1" máximo
2	50.00	100	-	-
1 ½	38.10	-	100	-
1	25.00	65 – 90	70 - 100	100
¾	19.00	-	60 - 90	70 - 100
3/8	9.50	-	45 -75	-
4	4.75	25 - 60	30 - 60	35 - 65
10	2.00	-	20 - 50	-
40	0.425	10 - 30	10 - 30	12 - 30
200	0.075	3 - 12	5 -15	5 - 15

Fuente: Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes Pág. 305-2

Base de grava y suelo

Los materiales utilizados en este tipo de bases pueden encontrarse en estado natural o provenir de la mezcla de gravas con suelos.

Bases de arena arcilla

Estas bases son mezclas que debidamente proporcionadas tienen considerable resistencia a la desintegración cuando han sido compactadas con la humedad óptima a su máxima densidad. En estas condiciones llegan a tener alto valor soporte arriba del 80% de C.B.R.

Bases de suelo cemento

Las mezclas de determinados suelos con cemento Pórtland, forman las bases de suelo cemento. Las bases de suelo cemento son altamente resistentes a la desintegración, llegando a tener un valor soporte de california, arriba del 80%, posteriormente se les puede colocar la carpeta de rodadura..

Las bases de suelo cemento, no deben usarse como superficie de rodadura, porque no son capaces de resistir la acción directa del tránsito, aunque su aparente textura así lo represente.

Superficie de rodadura

Es la capa sobre la cual se aplican directamente las cargas del tránsito, se coloca encima de la capa de base y está formada por una mezcla bituminosa o piedra bola si es pavimento flexible, por una losa de concreto de cemento Pórtland si es pavimento rígido o por adoquines si es un pavimento semiflexible.

Esta capa protege a las capas inferiores de los efectos del sol, las lluvias y las heladas, resiste además con un desgaste mínimo los esfuerzos producidos por el tránsito.

Pavimentos flexibles

Son pavimentos cuya superficie de rodamiento es de tipo asfáltico, con bases granulares y en algunos casos cuenta con subbases también granulares, con esto nos referimos a pavimentos flexibles típicos.

Los materiales bituminosos empleados en la construcción de pavimentos, son el asfalto y el alquitrán. En estos pavimentos las cargas del tránsito se distribuyen a través de las diferentes capas, en tal forma que los esfuerzos en el suelo de la subrasante sean los mínimos aceptables.

Pavimento rígido

Es una capa superficial de concreto de cemento Pórtland puro o modificado, cuyo espesor es definido por el nivel de carga que ha de soportar (tipo de vehículos y números), el módulo de reacción del suelo de apoyo y las propiedades mecánicas del concreto.

Los pavimentos rígidos están constituidos generalmente por las dos capas siguientes:

- 1. Súbase:** es una capa relativamente delgada de materiales seleccionados o especificados de un espesor prescrito colocado entre la subrasante y el pavimento rígido para los propósitos de mejorar el drenaje, reducir los daños por las heladas, prevenir el bombeo del pavimento o controlar la humedad del suelo para subrasante de alto cambio volumétrico.
- 2. Losa:** es una capa de concreto hidráulico la cual constituye el elemento fundamental del pavimento. Por la naturaleza del concreto hidráulico es necesario interrumpir la continuidad del pavimento por medio de juntas, cuyo esparcimiento es un punto muy importante para el diseño de los pavimentos rígidos. Las juntas sirven para disminuir los esfuerzos provocados por la dilatación y contracción de la losa.

3. ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS QUE DEFINEN LA CARPETA EMPEDRADA DE RODADURA

Bordillo

Se denomina bordillo al elemento que constructivamente define el ancho de la pista y que generalmente se extiende a lo largo del área pavimentada. Se puede decir que es la línea divisoria entre el área vehicular y la peatonal.

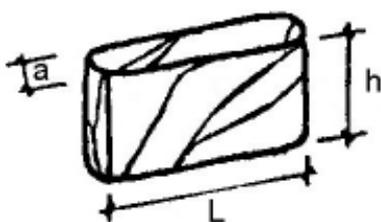
En los pavimentos de empedrado el bordillo juega un papel muy importante pues tiene como función principal e imprescindible mantener confinadas las piedras, sobre todo las que componen las cajas laterales de rodadura.

Se consideran dos tipos de bordillos: De piedra y de concreto.

3.1.1 Bordillo de piedra

El bordillo de piedra está formado por la colocación sucesiva de piedras talladas, las cuales tendrán un ancho de diez a quince centímetros, una altura no menor de treinta centímetros y una longitud variable pero nunca superior a dos veces su altura.

Figura 1. Piedras para construcción de bordillos



- a) de 10 a 15 cm.
- h) 30 cm min.
- L) variable (no mayor a dos veces su altura)

Las piedras usadas en el bordillo deberán estar libres de defectos mecánicos, como agrietaduras que puedan contribuir a su fácil fracturación.

La unión de las piedras se hará con sabieta, para poder obtener una mejor firmeza y continuidad. (Se recomienda sabieta 1:3. cemento: arena de río).

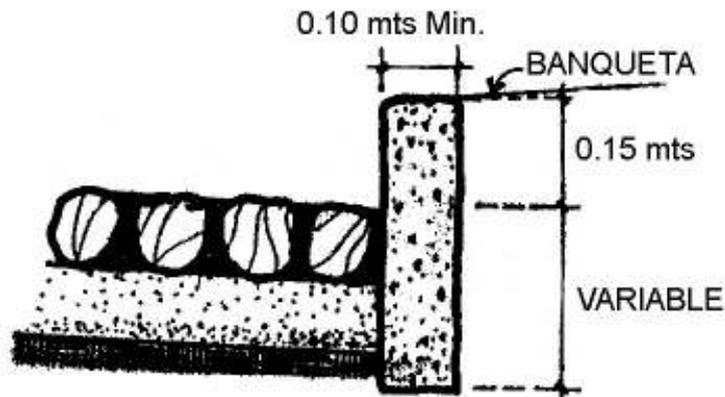
3.1.2 Bordillo de concreto

Estos bordillos se fabrican con un concreto que tenga una resistencia a la compresión no menor de $f'c$ 175 kg/cm² a los 28 días.

Las dimensiones del bordillo pueden ser variables pero debe cumplir con la finalidad de confinar las piedras que componen la capa de rodadura y tener una altura libre adecuada para el efectivo encauzamiento del agua de esorrentía.

Es recomendable el bordillo de concreto, debido a que tiene una mayor duración, y que no presenta el problema de desprendimiento de sus elementos, así, también, sus dimensiones se pueden ajustar fácilmente a las exigencias de la obra.

Figura 2. Bordillos de concreto



3.2 Cintas

Cuando se construye un empedrado se debe evitar el posible desprendimiento de sus elementos, esto se logra entrelazando en forma adecuada las piedras y adhiriéndolas con un mortero terciado, sabieta o argamasa; pero juega un papel importante el confinamiento de dichos elementos. Este confinamiento se hace por medio de piedra "cinta"; las cuales se colocan a lo largo y ancho de la calle formando cuadros o cajones, y es en dichos cajones donde se colocarán posteriormente piedras de menor tamaño. Las piedras cintas se colocan como se indica en la figura 3.

Las piedras utilizadas como cinta tienen dimensiones variables, pero se recomienda que tengan las indicadas en la figura 4.

La piedra cinta debe de tener tallada su cara superior, o sea procura que sea plana y debe ir enterrada a un nivel de ocho a diez centímetros más abajo que el empedrado de los cajones, para cumplir adecuadamente con su función de consolidación del mismo, por confinamiento.

Figura 3. Colocación de piedras cinta

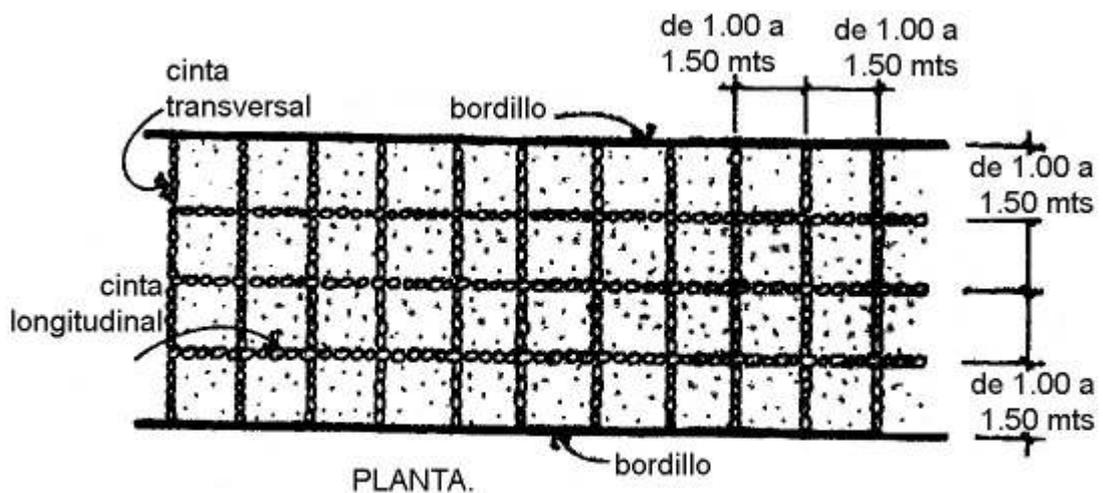
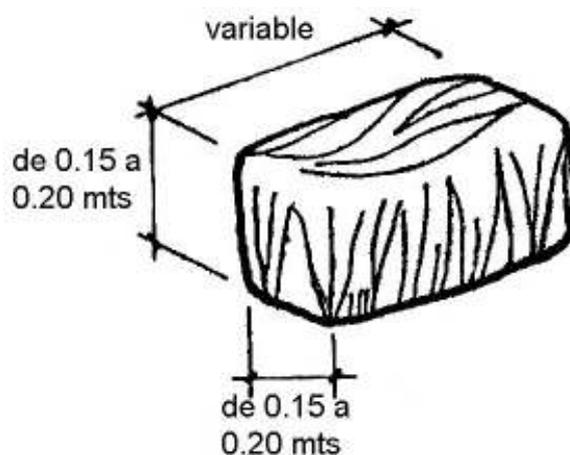


Figura 4. Dimensiones de las piedras utilizadas para cinta

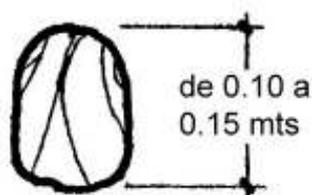


3.3 Cajones

Se llaman cajones a los cuadros que se forman con la colocación de las piedras cinta.

Los cajones se llenarán con piedras, las cuales tendrán las medidas indicadas en la figura 5. Estas piedras pueden tener forma irregular pero debidamente seleccionadas, nunca deben tener forma de laja (piedras planas de poco espesor).

Figura 5. Formas y medidas de piedras para relleno de cajones

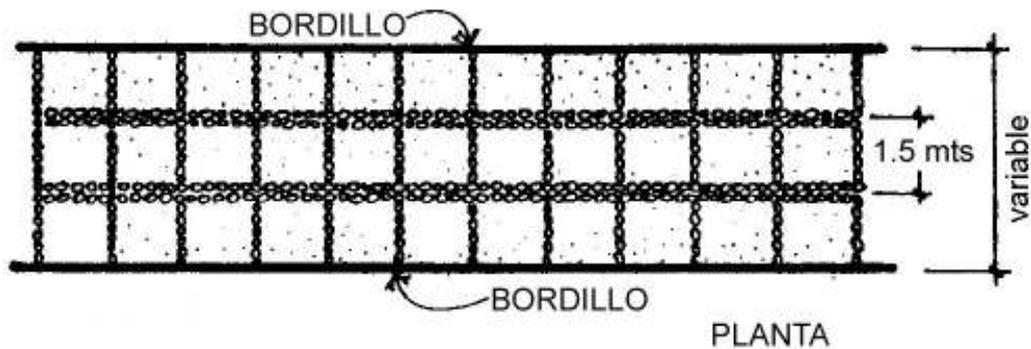


3.4 Rodadas para tránsito pesado

Su nombre mismo lo indica, éstas se colocan cuando el tránsito es muy pesado y tienen como función proteger el empedrado de posibles hundimientos o desprendimiento de sus elementos. Éstas rodadas pueden formarse con piedras cintas, ya sea lisas o talladas; las cuales se colocan tratando la manera

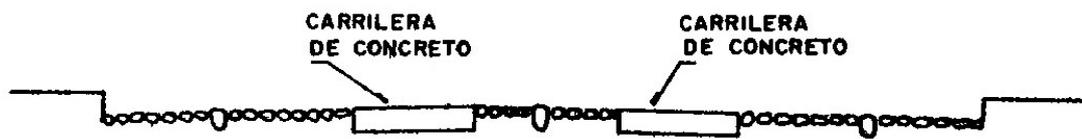
que las ruedas de los ejes de los vehículos pasen sobre estas carrileras o rodadas. (ver figura 6).

Figura 6. Formas de las carrileras para tránsito pesado

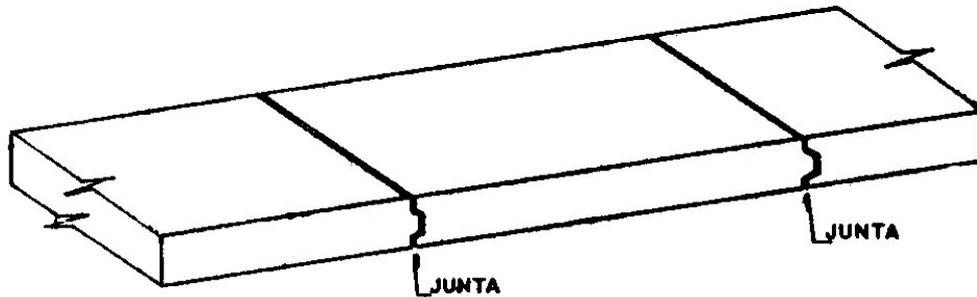


Las rodadas para tránsito pesado pueden estar constituidas por unas carrileras de concreto de cemento Pórtland, las cuales se ilustran en la figura 7. Es recomendable que estas carrileras estén formadas por planchas de concreto, las cuales tendrán una longitud igual o menor a dos veces su ancho y que su espesor no sea inferior a diez centímetros.

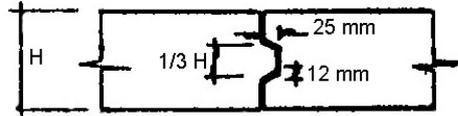
Figura 7. Detalle de carrileras y sección de calles



SECCIÓN DE CALLE



DETALLE DE CARRILERA



DETALLE DE JUNTA

3.5 Mortero de enlace

Se define como “mortero” como la mezcla plástica obtenida con algún aglomerante, arena y agua, que sirve para unir las piedras. El mortero para los empedrados, tiene las siguientes funciones:

- a. Consolidar las piedras y proporcionarle una mayor resistencia al empedrado, evitando el fácil desprendimiento de sus elementos.
- b. Proporcionar un mayor grado de impermeabilidad. El mortero a emplearse se recomienda que sea de proporción volumétrica 1:1/4:3 correspondiendo al cemento, cal y arena de río, respectivamente. El cemento deber ser de tipo Pórtland y la cal puede ser viva o hidratada. Su resistencia a compresión, a los 28 días, no debe ser menor de 175 kg/cm². El motivo por el cual es recomendable esa proporción en el mortero de enlace, es debido a los buenos resultados obtenidos en los empedrados efectuados por el instituto de fomento municipal (INFOM).

4. SERVICIO PROFESIONAL

4.1 Diseño del empedrado para la calle perimetral y plaza

4.1.1 Reconocimiento del área de trabajo

Para conocer y determinar las características del lugar se efectuaron varias visitas en el área a pavimentar, obteniéndose las siguientes informaciones:

1. El suelo a pavimentar mantiene en su superficie un empedrado con un 80% de deterioro, lo que provoca el estancamiento del agua de lluvia en los meses de invierno.
2. En el área a pavimentar existe red de drenaje combinado, a excepción de dos tramos ubicados en la zona norte, por lo que será necesaria la construcción de la misma. El bombeo general de las calles y de la plaza, se encuentra en mal estado lo que contribuye al deterioro gradual de la superficie.

3. Las aguas de lluvia son drenadas al exterior del área del proyecto, verificadas por las pendientes que tienen las calles que entran a la plaza. Según inspección visual en la época lluviosa, se determinó la existencia de charcos grandes ubicados en todos los tramos de las calles, principalmente la que existe enfrente de la municipalidad del lugar.
4. Los materiales a utilizar en el proyecto de empedrado, son adquiridos en el lugar, encontrándose a unos cinco kilómetros, un banco de material de piedra, explotado por una empresa privada; así mismo los demás recursos pueden ser adquiridos en ferreterías locales o de distribuidores quienes por cuestiones de precio son más efectivos.
5. En el área a pavimentar, concurren en los días de mercado personas provenientes de las aldeas y caseríos del lugar ya sea a comprar o a vender productos de primera necesidad, utilizando parte de la plaza como una terminal de buses.
6. El área del proyecto comprende una poligonal cerrada, incluyendo dentro de este el espacio utilizado como calle, la plaza y aproximadamente en el centro una fuente antigua pero en buen estado.

4.1.1.1 Carácter del lugar y entorno

Lo que constituye actualmente como plaza y calle perimetral, su construcción data desde hace varios años, su pavimento de piedra y la fuente en la parte central; estas estructuras por su antigüedad, y en un momento cuando no tenía un deterioro casi total, como actualmente se encuentra, fue catalogado como monumento colonial, teniendo protección del Instituto de Antropología e Historia

de Guatemala, por lo que para su pavimentación debe de utilizarse el empedrado para no dañar sus características originales. Los que hacen uso de este área podríamos decir que es toda la población de San Martín Jilotepéque, debido a su ubicación e importancia y no dejando por un lado el crecimiento de la población, a la par el modernismo de los pueblos y la utilización cada vez más intensa de los automotores de distinto tonelaje.

Es importante observar que el área en estudio es un punto terminal, no siendo calle de acceso para otras ciudades.

4.1.1.2 Análisis del tránsito

Para el diseño del pavimento de la calle y plaza de San Martín Jilotepéque, se necesitó información acerca del volumen de vehículos diarios, para la cual, ninguna dependencia ha hecho dichos estudios.

En este trabajo de tesis se realizó el estudio de tránsito, utilizando el siguiente procedimiento.

1. Se determinó la calle de mayor transitabilidad, siendo la que se encuentra enfrente de la municipalidad local.
2. Se localizó una estación semipermanente en la calle mencionada en el punto uno.
3. El estudio del volumen de vehículos, se hizo por conteos manuales.

El conteo de clasificación de vehículos, se hizo durante una semana y 14 horas diarias, de 6:00 a 20:00 horas, con datos direccionales registrados a cada hora.

De los conteos efectuados se determinó que transitan sobre la calle 250 vehículos pesados y 967 vehículos livianos al día (datos críticos día jueves y domingo). Tomando el criterio del Departamento de Ingeniería de Tránsito de la Dirección General de Caminos con la clasificación vehicular siguiente:

1. Auto, panel y jeep
2. Pick-up
3. Vehículos de dos ejes conocidos como: C2, C3 y C4 con 15.5, 22 y 25 toneladas respectivamente.
4. Vehículos de tres ejes, ejemplos: T3-S2, T3-S3 con 37 y 41 toneladas respectivamente.
5. Microbuses
6. Buses
7. Vehículos de 4 o más ejes, ejemplo: T3-S2-R4 con 57 toneladas y
8. Otros Tipos.

Los numerales 1,2 y 5 son considerados como vehículos livianos y los 3,4,6,7 y 8 como vehículos pesados. El factor de incremento, tomando en consideración el crecimiento poblacional del municipio que es de un 2%, de acuerdo a los datos del Instituto Nacional de Estadística y que el crecimiento de tránsito para la ciudad capital oscila entre 2 y 5%.

Para el proyecto de diseño del pavimento de empedrado del municipio de San Martín Jilotepéque, se utilizó un factor de proyección de 20 años (período

de diseño del pavimento) de 1.2 o sea 2% de incremento anual; este factor fue escogido por las consideraciones anteriores y con ayuda de la tabla II.

Tabla II. Porcentaje anual de crecimiento de tránsito y factores de proyección correspondientes

Porcentaje anual De crecimiento de Tránsito %	Factor de proyección 20 años	Factor de proyección 40 años
1	1.1	1.3
1 ½	1.2	1.3
2	1.2	1.5
2 ½	1.3	1.6
3	1.3	1.8
3 ½	1.4	2.0
4	1.5	2.2
4 ½	1.6	2.4
5	1.6	2.7
5 ½	1.7	2.9

Fuente: Diseño de pavimento, colonia Saravia, zona 5 y análisis de tránsito en vías urbanas Pág. 16

4.1.1.3 Factibilidad de materiales

Para la construcción del pavimento de piedra, la materia prima principal es la piedra, la cual se puede obtener fácilmente en un lugar en explotación llamado “La pedrera” o recurrir a los ríos cercanos del centro del lugar.

Los demás materiales como: cemento, arena, pedrín, cal etc.; pueden ser adquiridos en ferreterías del municipio o recurrir a una mejor cotización de la cabecera departamental o a la propia ciudad capital.

La mano de obra puede encontrarse en el lugar pero la maquinaria debe ser transportada desde grandes distancias por la inexistencia de empresas dedicadas al alquiler de la misma.

4.2 Levantamiento topográfico

Al efectuar el levantamiento topográfico del área a pavimentar, no sólo se tomó en cuenta el polígono en observación, sino también las pendientes de las calles que se conectan al mismo, así mismo la parte superior de los pozos de visita existentes, los niveles de las aceras y obstáculos existentes en el lugar como: postes de alumbrado público y postes de teléfono.

4.2.1 Levantamiento planimétrico

Los levantamientos planimétricos se hacen por el método de conservación de azimut, por deflexiones, por rumbo y distancia u otro de los usados generalmente.

El levantamiento de planimetría se realizó por el método de conservación de azimut, con vuelta de campana. Los datos del levantamiento están consignados en la libreta de campo, acompañado del croquis correspondiente.

4.2.2 Levantamiento altimétrico

La nivelación debe ser con precisión, hecha sobre la línea de eje escogida en forma práctica, debido a que el área a pavimentar tiene la forma de un polígono cerrado, el eje a que se refiere se localizó en la línea aproximadamente central de la calle ubicada enfrente de la municipalidad de San Martín Jilotepeque.

A distancias de 20 metros se tomaron las elevaciones con un nivel de mano con ayuda del estadal, cinta métrica y la respectiva plomada. Los datos del levantamiento topográfico están consignados en la libreta de campo, acompañado del croquis correspondiente.

4.3 Ensayos de laboratorio de suelo

4.3.1 Determinación de la densidad máxima y la humedad óptima

Estas propiedades se determinan por medio de los ensayos de “proctor” de los cuales existen dos tipos: normal y modificado.

Proctor normal

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

El molde se llena en tres capas aproximadamente iguales del material a ensayar, compactando cada una con 25 golpes de un martinete de 5.5 libras de peso, un diámetro de 2 pulgadas y una altura de caída aproximada de 12 pulgadas.

Proctor modificado

Se utiliza un molde cilíndrico con las mismas dimensiones que el anterior y con el respectivo collar en la parte superior, pero en este caso, el molde se llena con 5 capas, compactando cada una de ellas con 25 golpes, con un martinete de 10 libras de peso y con una altura de caída de 18 pulgadas.

Cálculo de la densidad máxima

Para el cálculo de la densidad máxima, no importa del tipo de proctor de que se trate, se quita el collar y se enrasa el cilindro, seguidamente se pesa el molde y su contenido, obteniendo así el peso bruto húmedo, (P.B.H); restándole la tara del molde, se obtiene el peso neto húmedo, (P.N.H). Dividiendo el P.N.H. entre el volumen de la muestra ($1/30$ de pie cúbico), se obtiene el peso unitario húmedo (P.U.H). a continuación se pesa la muestra al horno y se obtiene el peso neto seco (P.N.S) y de aquí el contenido de humedad (W) de la siguiente manera:

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

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

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

Este proceso se repite con diferentes contenidos de humedad, trazando luego una curva que relaciona el contenido de humedad "W" con el peso unitario o densidad seca (P.U.S).

El valor más alto de la curva nos dará la densidad máxima y el contenido de humedad correspondiente, la humedad óptima.

4.3.2 Determinación del valor soporte de california (C.B.R)

Se saca el molde del agua donde fue puesto en saturación (96 horas) y se deja escurrir durante 15 minutos en posición vertical. Al pasar el tiempo indicado, se remueve el disco perforado, las pesas y el papel filtro.

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

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

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

Los valores típicos para la piedra triturada son:

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

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

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

Por ejemplo, si en un ensayo se obtuvo para una penetración de 0.1" una carga de 240 Lb./Pulg.² y para una penetración de 0.2" una carga de 450 Lb./Pulg.², tendremos:

$$\text{CBR a } 0.1" = 240/1000 = 24\%$$

$$\text{CBR a } 0.2" = 450/1500 = 30\%$$

O sea que el valor CBR de este suelo, es 30.

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

100% - 80% son excelentes materiales para bases.

80% - 50% son buenos materiales para bases.

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

30% - 20% son muy buenos materiales para subrasante.

20% - 10% son buenos materiales para subrasante.

10% - 5% son regulares materiales para subrasante los más usuales en nuestro medio.

5% - 0% son malos materiales para subrasante.

4.3.3 Límites de atterberg

Para conocer la plasticidad de un suelo se hace uso de éstos límites los cuales son: Límite líquido (L.L), Límite plástico (L.P) y Límite de contracción (L.C); que mediante el conocimiento de ellos se puede formarse la idea del tipo de suelo en estudio. También a éstos valores se les pueden llamar índices.

Para realizar el ensayo se utiliza el material que pasa un tamiz No. 40, mezclándolo con agua hasta formar una pasta suave. Se coloca en el platillo de Casagrande hasta llenarlo aproximadamente 1/3 de su capacidad, formando una masa lisa. Se divide esta parte en dos, por medio de un ranurador especial. Se hace girar la manivela (o se conecta a la electricidad) del aparato a razón de dos golpes por segundo, contando el número de golpes (N) necesarios para que el fondo del surco, se cierre en una longitud de ½ pulgada aproximadamente. El número de golpes debe ser de 15 a 35. Luego se toma la muestra y se le determina el contenido de humedad (W). El límite líquido se obtiene aplicando la fórmula siguiente:

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

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

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

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

El índice de contracción se define como el porcentaje de humedad con respecto al peso seco de la muestra, con el cual una reducción de agua no ocasiona ya disminución en el volumen del suelo.

4.3.4 Cálculo del índice de grupo

El índice de grupo, es un valor que indica la calidad del suelo dependiendo de su granulometría y de los valores obtenidos para el límite líquido y el índice de plasticidad.

Debe ser un número entero positivo comprendido entre los valores de cero y 20 (si resulta un número fraccionario se redondea al entero más cercano), si resultara un valor negativo, se adopta el cero y si es mayor de 20, se toma como 20.

Para su cálculo, se emplea la fórmula siguiente:

$$\text{I.G.} = 0.20 * a + 0.005 * a * c + 0.01 * b * d$$

De donde:

$$A = (\% \text{ pasa No. 200}) - 35 \quad (\text{entre } 0 \text{ y } 40)$$

$$b = (\% \text{ pasa No. 200}) - 15 \quad (\text{entre } 0 \text{ y } 40)$$

$$c = \text{L.L.} - 40 \quad (\text{entre } 0 \text{ y } 20)$$

$$d = \text{I.P.} - 40 \quad (\text{entre } 0 \text{ y } 20)$$

El valor resultante del índice de grupo es función de la calidad del suelo. Para el cálculo de espesores de pavimentos utilizando el índice de grupo y el tipo de tránsito, se han desarrollado curvas empíricas.

4.3.5 Determinación de las características del suelo de la plaza de San Martín Jilotepéque

Como parte del diseño del pavimento de piedra de la calle y plaza de San Martín Jilotepéque, se realizó el estudio de las características del suelo para lo cual se realizaron los siguientes pasos.

1. Perforaciones y obtención de muestras

Para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo se efectuaron tres perforaciones de un metro de profundidad aproximadamente, de las cuales se extrajeron muestras alteradas representativas de la subrasante existente.

Según la identificación visual de las muestras, se detecta gran similitud por lo que fue necesario nada más ensayar una de las mismas, siendo la extraída en la estación 06.

2. Ensayos de laboratorio

Seguidamente se realizaron los ensayos siguientes de laboratorio para determinar las características físicas y mecánicas del suelo en observación, éstos son:

- a. Límite líquido.
- b. Límite plástico.
- c. Índice de plasticidad.
- d. Compactación, proctor modificado.
- e. Valor soporte de california o CBR.

Los resultados de laboratorio indican que el suelo de subrasante, para el proyecto de empedrado, pertenece a la clasificación A-7-5, denominándose como una arcilla de color café con trazas de pómez, alta compresibilidad y con índice de plasticidad igual o menor que LL-30.

El C.B.R. del suelo a 95% de compactación es de 3.2, considerándolo como mal material para subrasante de pavimento, por lo que es necesario estabilizarlo, para mejorar sus condiciones de soporte de cargas.

Tabla III. Resultados del análisis de suelo del proyecto



LABINGSA

LABORATORIO DE INGENIERIA, S. A.
SUELOS Y PAVIMENTOS
1a. Calle 3-17, Zona 4, Mixco, Col. Monte Verde
Telefax.: 431-1004, 437-7622
E-mail: labingsa@tutopia.com

Guatemala, septiembre 02, 2002

Señor:
Germán Sotz Roquel,
Presente.

Sr. Sotz.

Estamos informando del RESULTADO obtenido de los analisis efectuados a 1 muestra de material de sub-rasante, estación 06.
PROYECTO: **Para presentación de E.P.S., Empedrado de San Martín, Jilotepeque, Chimaltenango.**

ANALISIS	RESULTADO	OBSERVACIONES	-
Compactación Proctor, #pié3., T 180	88.3	-	-
% Humedad Optima	30.4	-	-
% C.B.R. a 95% de compactación	3.2	-	-
% Hinchamiento, T 193	5.66	-	-
% Límite Líquido, T 89	59.4	-	-
% Índice de Plasticidad, T 90	23.0	-	-
% pasa tamiz No. 10	100.0	-	-
% pasa en tamiz No. 40	96.4	-	-
% pasa tamiz No. 200	80.60	-	-
Material	Arcilla color café con	-	-



LABINGSA

LABORATORIO DE INGENIERIA, S.A.
 SUELOS Y PAVIMENTOS
 1a. CALLE 3-17 Zona 4, Mixco Col. Monte Verde.
 TEL/FAX: 431 1004 / 437-7622
 E-mail: labingsa@tutopia.com

ENSAYO DE COMPACTACION (PROCTOR)

INTERESADO: **GERMAN ROQUEL**
 PROYECTO: **E.P.S. SAN MARTIN JILOTEPEQUE**
 MATERIAL: **ARCILLA COLOR CAFÉ CON TRAZAS DE POMEZ.**

TRAMO / ESTACION: **06**

CAPA DE: **SUBRASANTE**

P.B.	TARA	P.N.	P.U.H.	"CALCULO DE HUMEDAD"							PROM. HUM.	P.U.S.
				TARRO	TARA	P.B.H.	P.B.S.	DIF.	P.N.S.	% HUM.		
12.52	9.32	3.20	96.00	P	74.70	129.10	119.90	9.20	45.20	20.35	20.35	79.76
12.84	9.32	3.52	105.60	P	74.70	137.30	124.70	12.60	50.00	25.20	25.20	84.35
13.13	9.32	3.81	114.30	P	74.20	125.40	113.70	11.70	39.50	29.62	29.62	88.18
13.17	9.32	3.85	115.50	P	78.80	133.80	119.90	13.90	41.10	33.82	33.82	86.31
13.00	9.32	3.68	110.40	P	77.50	132.90	117.60	15.30	40.10	38.15	38.15	79.91

P.U.S. Max.:	88.30	Lbs/pie ³
%HUM. OPTIMA:	30.40	
PROCTOR STANDARD:		
PROCTOR MODIFICADO:	X	
TIPO DE PROCTOR:	"A"	
VOL. DE CILINDRO:	1/30	
CANTIDAD DE MAT.:	3	Kg
AGUA INICIAL:	100	Cm ³
SEGUIDO CON:	100	Cm ³
FECHA:	29 DE AGOSTO DEL 2,002	
OBSERVACIONES:		
Lab. Cia.	Transito G./Moises	
Lab. Sup:		

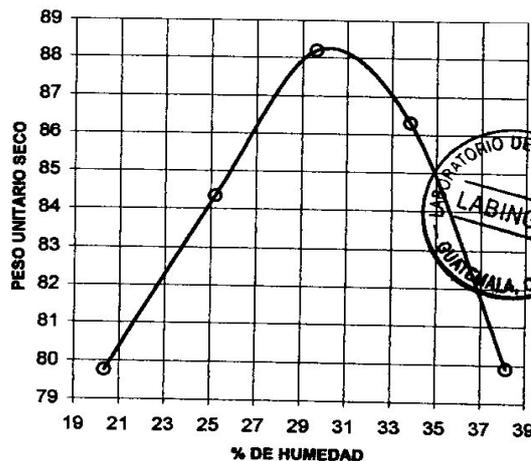


Figura 8. Ploteo de los resultados de C.B.R del proyecto

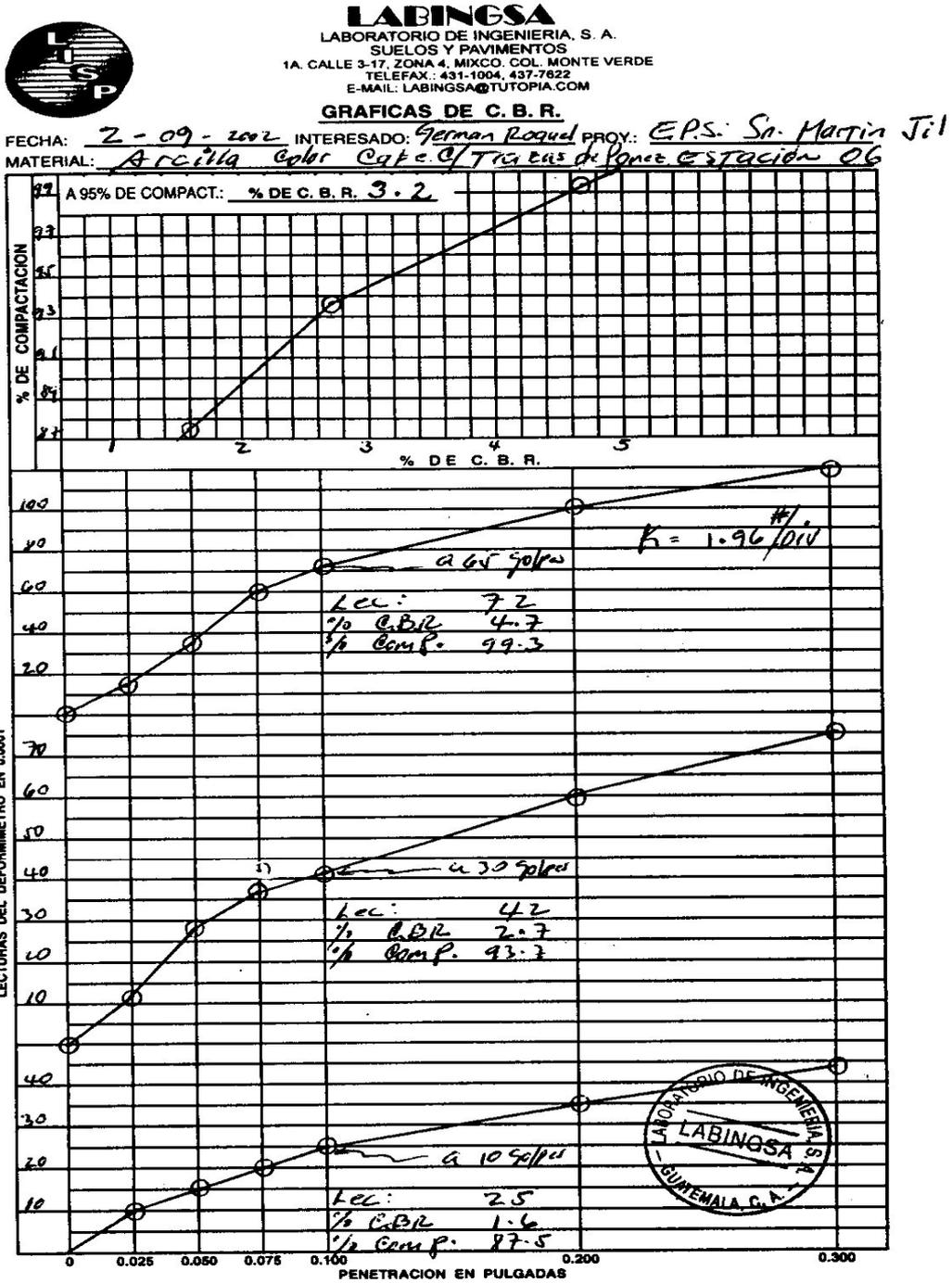


Tabla V. Resultados del ensayo C.B.R. del proyecto



LABINGSA
 LABORATORIO DE INGENIERIA, S. A.
 SUELOS Y PAVIMENTOS
 1a. CALLE 3-17, ZONA 4 MIXCO, COLONIA MONTE VERDE
 TEL.: 591-1004 TEL/FAX: 597-7622
 E-mail: labingsa@lettera.net

ENSAYO DE C.B.R.

FECHA: 29-08-2002 PROYECTO: E.P.S. San. Martin Jil
 INTERESADO: German Pasquel
 DESCRIPCION DEL MATERIAL: Arzulla color Cafe, con Tribus de Pomez.
 CAPA DE: Subrasante. ESTACION: 06.

CANTIDAD DE MATERIAL: <u>13,000</u>		gr. CANTIDAD DE AGUA A AGREGAR: <u>562</u>		cc.		
* ENSAYO DE HUMEDAD ACTUAL *						
TARRO	TARA	P.B.H.	P.B.S.	DIF.	P.N.S.	% HUM. PROMEDIO
<u>P.</u>	<u>78.8</u>	<u>140.7</u>	<u>128.3</u>	<u>12.4</u>	<u>49.5</u>	<u>→ 25.0</u>
* HUMEDAD DE ENSAYO *						
TARRO	TARA	P.B.H.	P.B.S.	DIF.	P.N.S.	% HUM. PROMEDIO
<u>P.</u>	<u>74.7</u>	<u>153.2</u>	<u>134.8</u>	<u>18.4</u>	<u>60.1</u>	<u>30.6</u>
No. Cil:	<u>22</u>	C.B.R. A 65 GOLPES			% DE COMPACTACION: <u>99.3</u>	
PESO BRUTO	TARA	PESO NETO		CAPAC. DE CIL.	P.U.H.	P.U.S.
<u>11.095</u>	<u>7.200</u>	<u>3895 / 8.59</u>		<u>0.075</u>	<u>114.5</u>	<u>87.7</u>
FECHA DE INMERSION:	<u>29-8-2002</u>	LECTURA DE INMERSION:		<u>0.050</u>	% HINCH.	
FECHA DE SALIDA:	<u>2-9-2002</u>	LECTURA DE SALIDA:		<u>0.290</u>	<u>5.23</u>	
No. Cil:	<u>23</u>	C.B.R. A 30 GOLPES			% DE COMPACTACION: <u>93.7</u>	
PESO BRUTO	TARA	PESO NETO		CAPAC. DE CIL.	P.U.H.	P.U.S.
<u>10.900</u>	<u>7.225</u>	<u>3675 / 8.11</u>		<u>0.075</u>	<u>108.0</u>	<u>82.7</u>
FECHA DE INMERSION:	<u>29-8-2002</u>	LECTURA DE INMERSION:		<u>0.050</u>	% HINCH.	
FECHA DE SALIDA:	<u>2-9-2002</u>	LECTURA DE SALIDA:		<u>0.310</u>	<u>5.66</u>	
No. Cil:	<u>24</u>	C.B.R. A 10 GOLPES			% DE COMPACTACION: <u>87.5</u>	
PESO BRUTO	TARA	PESO NETO		CAPAC. DE CIL.	P.U.H.	P.U.S.
<u>10.692</u>	<u>7.259</u>	<u>3433 / 7.57</u>		<u>0.075</u>	<u>100.9</u>	<u>77.3</u>
FECHA DE INMERSION:	<u>29-8-2002</u>	LECTURA DE INMERSION:		<u>0.050</u>	% HINCH.	
FECHA DE SALIDA:	<u>2-9-2002</u>	LECTURA DE SALIDA:		<u>0.200</u>	<u>3.27</u>	
*** LECTURA DEL DEFORMIMETRO EN 0.0001" ***						
GOLPES	0.025"	0.050"	0.075"	0.100"	0.200"	0.300"
65	<u>15</u>	<u>35</u>	<u>60</u>	<u>72</u>	<u>100</u>	<u>120</u>
30	<u>12</u>	<u>28</u>	<u>36</u>	<u>42</u>	<u>60</u>	<u>75</u>
10	<u>10</u>	<u>15</u>	<u>20</u>	<u>25</u>	<u>35</u>	<u>44</u>
PROCTOR:	<u>88.3</u>					
% HUM. OPT.:	<u>30.4</u>					

Francisco G. / Moy.
 LABORATORISTA

Revisado
 REVISOR



Tabla VI. Ensayo para los límites de Atterberg del proyecto

LABINGS
 LABORATORIO DE INGENIERIA, S. A.
 SUELOS Y FUNDACIONES
 1A. CALLE 3. VIENTOS DEL MONTE VERDE
 TELÉFAX: 431-1004 437-7622
 E-MAIL: LABINGS@TUTORIA.COM

LIMITES DE ATTERBERG

Interesado: German Raquel Tramo: _____
 Proyecto: E.P.S. San Martín Jil. Perforación No.: _____
 Laboratorio No.: Estación 06 Profundidad: _____

Fecha: 29-08-2002

Muestra: de Subrasante

Bolsa No.: Arcilla Ebor Caty, Apasar

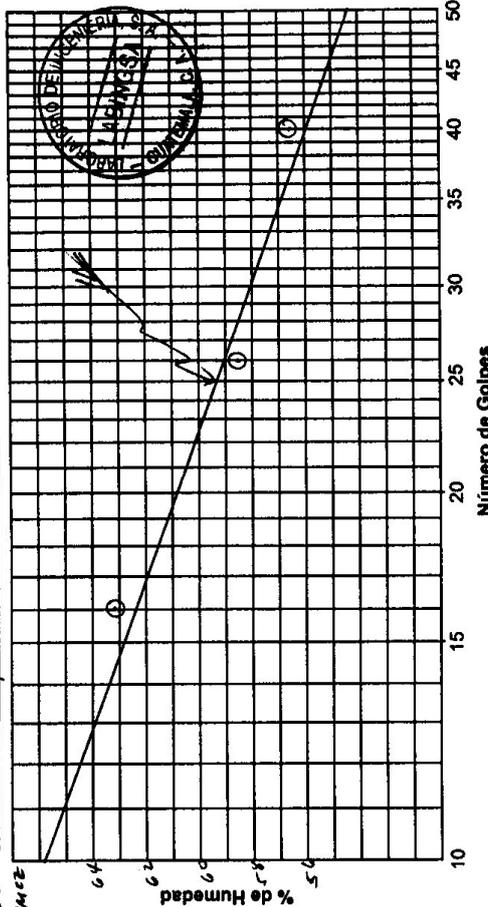
TAMIZ No.	PBR	PNR	% RET.	% PASA	% PASA TOTAL
3"					
2 1/2"					
2"					
1 1/2"					
1"					
3/4"					
3/8"					
No. 4					
No. 10				100	
No. 40	22.5	2.5	3.6	96.4	
No. 100	33.5	1.35	19.4	80.6	
No. 200					
GRANULOMETRIA GRUESA					
GRANULOMETRIA FINA					
PESO BRUTO					896
TARA					200
PESO NETO					696

OBSERVACIONES:
Almas. AASTIP T-27 Y T-11

LAB. CIA: Polanco

LAB. SUPERVISORA:

REVISO:



TARRO	LIMITE LIQUIDO		LIMITE LIQUIDO		RESUMEN
	C-19	C-7	C-18	C-2	
P.B.H.	39.58	42.76	30.93	32.27	LL 59.4
P.B.S.	32.00	36.14	27.65	28.58	LP 36.4
DIF.	7.58	6.62	3.28	3.69	IP 23.0
TARA	18.60	24.84	18.62	18.45	CLASIF. A-7-5
P.N.S.	13.40	11.30	9.05	10.15	IND. GRUPO (17)
% HUM.	56.6	58.6	36.3	36.4	
No. GOLPES	40	26	16		36.4

OBSERVACIONES: Almas: AASTIP T-27 Y T-90

LAB. CIA: Polanco

LAB. SUPERV.: _____

4.4 Estabilización de suelos

Se entiende por estabilización de suelos al proceso de someter a los suelos naturales a ciertos tratamientos para aprovechar sus mejores cualidades de manera que puedan soportar las condiciones adversas de clima, rindiendo en todo tiempo el servicio adecuado que de ellos se espera.

Con este recurso se pretende hacer más “estable” a un suelo. Lo que se pretende con todas las estabilizaciones, es la de aumentar la densidad de un suelo, compactándolo mecánicamente y la otra forma de estabilización es la de mezclar a un material de granulometría gruesa, otro que carece de esa característica, finalmente existe el recurso de estabilizar el suelo, mezclándole cemento de tipo Pórtland, cal hidratada, asfalto o cloruro de sodio. El uso de la cal está limitado a suelos que contengan minerales arcillosos, con los cuales hacer la “acción puzolánica” que lentamente va cementando las partículas del suelo. Este aglomerante es muy útil para bajar la plasticidad de los suelos arcillosos o para bajar el alto contenido de humedad en terracerías o en bases y subbases, siempre que estas no sean arenosas.

La estabilización de los suelos se pone en práctica bajo el criterio de bajar costos en la construcción de un pavimento, en lugar de recurrir al transporte a grandes distancias de materiales con mejores características.

Se justifica una estabilización en caso de encontrar en el camino lo siguiente:

- 1) Un suelo de subrasante desfavorable, o muy arenoso, o muy arcilloso.

- 2) Materiales para base o sub-base en el límite de especificaciones.
- 3) Condiciones de humedad desfavorables.
- 4) Cuando se necesite una base de calidad superior, como en una autopista.
- 5) En repavimentación, aprovechando los materiales existentes.

Los más utilizados para mezclarlos con suelo para formar capas de pavimento son: el cemento, la cal y el asfalto.

4.4.1 Suelo-cemento

La estabilización de suelo con cemento Pórtland es la más ampliamente usada en el mundo. Al mezclar un suelo con cemento, se produce un nuevo material duro, con mejores características que el usado como agregado. Esta estabilización no es tan sensible a la humedad como la hecha con asfalto. Pueden usarse todos los suelos para efectuarla, exceptuando los altamente orgánicos, aunque los más convenientes son los granulares, los de fácil disgregado, limos, arenas limosas y arcillas, así como los tepetates (Tepetate: tierra de mina que no tiene metal). Todas las gravas y las arenas, son agregados adecuados para producir este material suelo-cemento, que tiene tan excelentes cualidades.

Si se llegara a la conclusión de que el suelo en observación sea lo suficientemente uniforme para que pueda ser estabilizado, entonces se debe estimar aproximadamente la cantidad de cemento requerido para ver si el costo de construcción es razonable.

Los suelos arenosos requieren del 7 al 10 por ciento, en volumen de cemento, y los suelos arcillosos requieren del 12 al 16 por ciento en volumen, y aún más si es necesario. Como puede observarse, los suelos arcillosos requieren más cemento que los arenosos; además como hay que pulverizar los terrones de la arcilla para que se mezclen con el cemento, la estabilización de los suelos arcillosos resultan ser mas costosos que los suelos arenosos.

Entre las características mínimas que debe reunir un suelo, para que su estabilización sea económica razonablemente son:

- a) Límite líquido menor de 50%
- b) Índice plástico menor de 25%
- c) El material que pase la malla #200 debe ser menor del 50%
- d) El porcentaje de vacíos, compactada la muestra en el cilindro Proctor, debe ser menor del 35%.

4.4.2 Suelo-cal

El uso de la cal para mejorar suelos con alto grado de plasticidad, aparte de conseguir ese fin, aumenta también su resistencia a la compresión no confinada, produciendo una textura granular más abierta.

La cantidad de cal hidratada es de 2 a 8% en peso seco del material, para que la cal reaccione convenientemente (este no es el caso del cemento) se necesita que el suelo tenga minerales arcillosos o sea sílice y alumina, y se pueda lograr la acción puzolánica, que aglomerará adecuadamente las partículas del suelo. El suelo cemento adquiere su resistencia rápidamente, ya que solo se necesita que el cemento se hidrate adecuadamente.

En cambio el suelo-cal, necesita la reacción química de los iones de calcio y los minerales arcillosos, que lentamente adquieren resistencia. Una ventaja del suelo-cal es que su período de curado puede iniciarse más tarde, en cambio el suelo-cemento requiere curado inmediato.

Por lo general, las arenas no reaccionan favorablemente con la cal y no pueden estabilizarse con ella. El éxito de la estabilización con cal para disminuir su plasticidad o para adquirir resistencia, es el tipo de suelo o el tipo de mineral arcilloso que contenga.

El criterio para diseñar en el laboratorio las mezclas, suelo-cal, depende del papel que vaya a desempeñar la cal:

- a) modificador de plasticidad o humedad,
- b) proporcionador de resistencia.

4.4.3 Suelo-asfalto

Es conveniente en algunos casos estabilizar un suelo, utilizando un producto asfáltico para elaborar capas de base o subbases. A estas bases asfálticas también se les conoce como “bases negras”. El uso de productos asfálticos (asfaltos rebajados, emulsiones asfálticas y cementos asfálticos) está limitado a suelos granulares o de partículas gruesas. La estabilización de material arcilloso es muy difícil, debido a los grumos de estos suelos.

La estabilización con asfalto puede tener dos fines:

- a) reducir la absorción de agua del material, usando poca cantidad de asfalto,

- b) incrementar la resistencia de un material usando mayor cantidad de asfalto, como en las bases asfálticas.

4.4.4 Ensayos de suelo-cal, como referencia para la estabilización de la sub-rasante del proyecto

Con base a los resultados de los ensayos efectuados, a la muestra alterada extraída de la subrasante del área a pavimentar, conformando la calle y plaza de San Martín Jilotepéque, Chimaltenango. Es necesario, previa a la construcción de los diferentes componentes del pavimento de piedra, estabilizar el suelo natural para elevar sus características pobres actuales, a un suelo capaz de responder a las necesidades requeridas después de formar parte de una estructura de pavimentación.

Para tomar la mejor alternativa de solución se recurrió a los resultados experimentales de tres arcillas plásticas, efectuados por el Ing. Mario Luis Ángel Ruiz, en su tesis titulado “Estudio de estabilización de suelos de subrasante utilizando cal hidratada para construcción de carreteras”. U.S.A.C., marzo de 1993.

Suelos utilizados para el análisis:

MUESTRA	CLASE DE SUELO
1	Arcilla color rojizo
2	Arcilla color café oscuro
3	Arcilla color negro

Características de los suelos en su estado natural

Tabla VII. Granulometría por tamices

TAMIZ	% QUE PASA POR MUESTRA		
	1	2	3
$\frac{3}{4}$	100	100	100
# 4	100	100	100
# 10	100	99	100
# 40	97	95	95
# 80	91	89	88
# 200	85	83	82

Tabla VIII. Límites de Atterberg AASTHO T- 89, AASHTO T- 90

	MUESTRAS		
	1	2	3
L.L.	62	62	71
L.P.	38	34	33
I.P.	24	28	38
CLASIFICACIÓN	MH	MH	CH

Tabla IX. Proctor estandar AASHTO T-99

	MUESTRAS		
	1	2	3
P.U.S. Lbs./pie ³	82	82	87
HUMEDAD OPTIMA	33	35	30

Tabla X. Valor soporte de California C.B.R.

PENETRACIÓN	MUESTRA		
	1	2	3
C.B.R. 0.100"	5.5	2.9	2.0
C.B.R. 0.200"	5.3	2.7	1.6

Resultados obtenidos en la estabilización con cal hidratada

Muestra No. 1

Tabla XI. Límites de consistencia e índice de plasticidad

MEZCLAS	LIMITE LIQUIDO	LIMITE DE PLASTICIDAD	INDICE DE PLASTICIDAD
SUELO NATURAL	62	38	24
3% CAL HIDRATADA	57	43	14
3.5% CAL HIDRATADA	58	44	14
4% CAL HIDRATADA	60	46	14
4.5% CAL HIDRATADA	65	48	17

Tabla XII. Granulometría, estabilización con cal hidratada

PASA TAMIZ	ABERTURA mm.	SUELO NATURAL	MEZCLA OPTIMA CAL HID. 4%
3/8"	19.0	100	100
# 4	4.76	100	99
# 10	2.00	100	78
# 40	0.42	97	27
# 80	0.074	91	5
# 200	0.005	85	2

Tabla XIII. Ensayos complementarios

ENSAYO	SUELO NATURAL	MEZCLA OPT. CAL HID. 4%
C.B.R. 0.100"	5.5	12
C.B.R. 0.200"	5.3	12
EXPANSIÓN	0.5	0.1
% COMPACTACIÓN	97	92
HUMEDAD OPTIMA	33	34
P.U.S.	82	82

Muestra No. 2

Tabla XIV. Límites de consistencia e índice de plasticidad

MEZCLAS	LIMITE LIQUIDO	LIMITE DE PLASTICIDAD	INDICE DE PLASTICIDAD
SUELO NATURAL	62	34	28
3.5% CAL HIDRATADA	60	42	18
4% CAL HIDRATADA	60	39	21
4.5% CAL HIDRATADA	61	44	17
5% CAL HIDRATADA	62	42	20
5.5% CAL HIDRATADA	62	41	21

Tabla XV. Granulometría

PASA TAMIZ	ABERTURA mm.	SUELO NATURAL	MEZCLA OPTIMA CAL HID. 4.5%
3/8"	19.0	100	100
# 4	4.76	100	99
# 10	2.00	99	79
# 40	0.42	95	22
# 80	0.074	89	4
# 200	0.005	83	2

Tabla XVI. Ensayos complementarios

ENSAYO	SUELO NATURAL	MEZCLA OPT. CAL HID. 4.5%
C.B.R. 0.100"	2.9	7
C.B.R. 0.200"	2.7	8
EXPANSIÓN	2.9	0.6
% COMPACTACIÓN	101	96
HUMEDAD OPTIMA	35	31
P.U.S.	82	87

MUESTRA No.3

Tabla XVII. Límites de consistencia e índice de plasticidad

MEZCLAS	LIMITE LIQUIDO	LIMITE DE PLASTICIDAD	INDICE DE PLASTICIDAD
SUELO NATURAL	71	33	38
3% CAL HIDRATADA	75	45	30
3.5% CAL HIDRATADA	58	44	14
4% CAL HIDRATADA	57	43	14
4.5% CAL HIDRATADA	58	46	12
5% CAL HIDRATADA	62	48	14

Tabla XVIII. Granulometría

PASA TAMIZ	ABERTURA mm.	SUELO NATURAL	MEZCLA OPTIMA CAL HID. 4.5%
3/8"	19.0	100	100
# 4	4.76	100	99
# 10	2.00	99	74
# 40	0.42	95	21
# 80	0.074	88	4
# 200	0.005	82	2

Tabla XIX. Ensayos complementarios

ENSAYO	SUELO NATURAL	MEZCLA OPT. CAL HID. 4.5%
C.B.R. 0.100"	5.5	12
C.B.R. 0.200"	5.3	12
EXPANSIÓN	0.5	0.1
% COMPACTACIÓN	97	92
HUMEDAD OPTIMA	33	34
P.U.S.	82	82

4.5 Diseño de espesores para el pavimento de empedrado

4.5.1 Fórmula del Ingeniero Williams Mills, para el cálculo de espesores del pavimento de empedrado (pavimento flexible)

$$T_{sb} = [(2 \cdot T_c + T_g) / 3 - (S + B)] \cdot DA$$

Esta fórmula es empleada en el método del Ing. William Mills para el cálculo de espesores en pavimentos flexibles. Dicho método incluye en su fórmula el espesor dado por el valor soporte C.B.R., el espesor dado por el índice de grupo así como un espesor extra por mal drenaje.

De la fórmula anterior tenemos:

S = Espesor de la Capa de Rodadura

T_{sb} = Espesor de subbase

T_c = Espesor total del pavimento de acuerdo al valor soporte (C.B.R) (Ver gráfica 1)

B = Espesor de la capa base (Ver tabla XVIII)

DA = Factor por mal drenaje (Ver tabla XIX)

T_g = Espesor total del pavimento de acuerdo al índice de grupo (Ver gráfico 2)

El término $(2 \cdot T_c + T_g) / 3$ debe ser mayor o igual que T_c , en caso contrario dicho término se sustituirá por T_c .

4.5.2 Tablas y gráficas a utilizarse en la fórmula de Mills

Tabla XX. Especificaciones AASHO M-147, graduaciones que dan una buena estabilidad en los suelos

% EN PESO DE MATERIALES QUE PASA EN						
TAMICES DE MALLA CUADRADA						
TAMIZ No.	TIPO A	TIPO B	TIPO C	TIPO D	TIPO E	TIPO F
2"	100	100	-	-	-	-
1"	-	75-95	100	100	100	100
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-
No.4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
No.10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
No.40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
No.200	2-8	5-20	5-15	10-25	6-20	8-25

Fuente: Pavimento de empedrado como una solución vial en el interior de la república de Guatemala Pág. 42

Tabla XXI. Clasificación del tránsito

TRAFICO TOTAL DURANTE 24 HORAS				
TIPO DE TRÁNSITO	TOTAL DE VEHÍCULOS	CAMIONES O AUTOBUSES	CAMIONES PESADOS	CARGA DE DISEÑO (Lbs./rueda)
PESADO	3000 MÍNIMO	700 MÍNIMO	150 MÍNIMO	14000
MEDIANO	1000-3000	250-700	50-150	12000
LIVIANO	1000 MÁXIMO	250 MÁXIMO	50 MÁXIMO	10000

Fuente: Pavimento de empedrado como una solución vial en el interior de la república de Guatemala Pág. 43

Tabla XXII. Espesores mínimos recomendados para capa de base

CLASIFICACION DE TRÁNSITO	GRANULOMETRÍA PARA MATERIALES AASHTO M-147	ESPESOR MÍNIMO (cms.)	CBR de 55 GOLPES MINIMO	LÍMITE LÍQUIDO MÁXIMO	INDICE DE PLASTICIDAD MÁXIMA
PESADO	COLS. A ó B *	20	90	25	6
MEDIANO	COLS. A,B,C ó D *	18	75	25	7
LIVIANO	COLS. A,B,C,D ó F *	15	60	27	8

Fuente: Pavimento de empedrado como una solución vial en el interior de la república de Guatemala Pág. 44

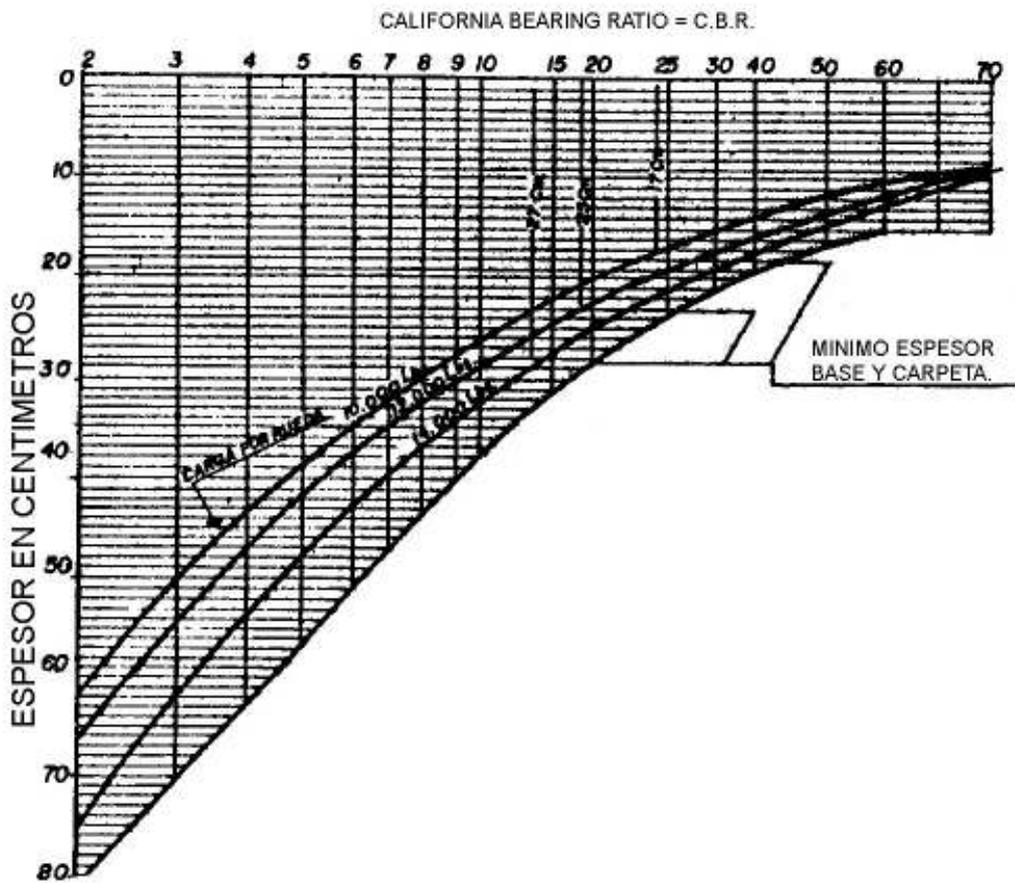
*VER COLUMNAS DE LA TABLA No. XVI

Tabla XXIII. Espesores mínimos recomendados para sub-base y factor de incremento por mal drenaje

SECCIÓN TRANSVERSAL	PENDIENTE LONGITUDINAL %	ESPESOR MINIMO Cm.	FACTOR DE INCREMENTO
CORTE	0	20	1.25
RELLENO	0	15	1.20
CORTE	1	10	1.15
RELLENO	1	5	1.10
CORTE	2	0	1.05
RELLENO	2	0	1.00

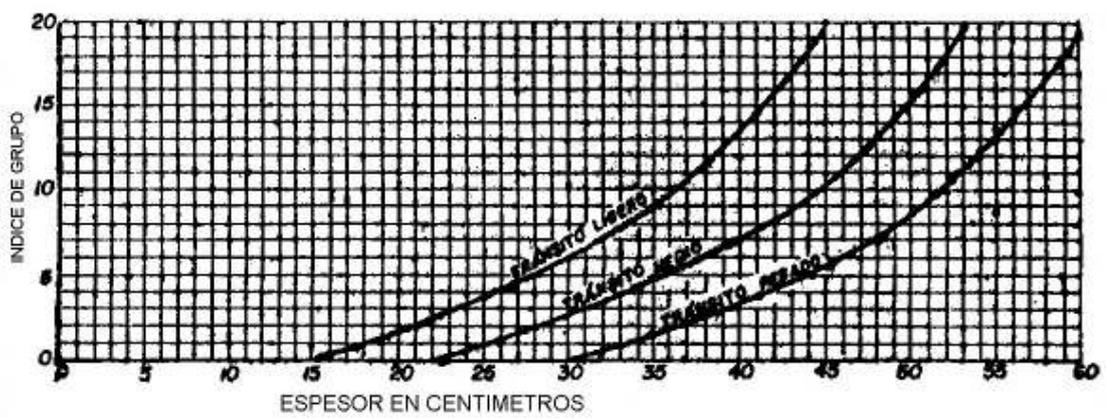
Fuente: Pavimento de empedrado como una solución vial en el interior de la república de Guatemala Pág. 45

Gráfica 1. Espesor total de pavimento indicado por el C.B.R



Fuente: Sección de materiales y suelos, Dirección General de Caminos de Guatemala

Gráfica 2. Espesor total de pavimento indicado por el índice de grupo



Fuente: Sección de materiales y suelos, Dirección General de Caminos de Guatemala

4.5.3 La capa de asiento en los pavimentos de piedra

Esta capa tiene la función de absorber las irregularidades y diferencias de tamaño, de las piedras, ayudando a mantenerlas juntas.

Para pavimentos de poco tránsito, puede utilizarse arena limpia o arena limosa. Para pavimentos con mucho tránsito o con mucha pendiente longitudinal, como muchos fraccionamientos campestres, es muy conveniente usar un suelo-cemento, concreto pobre, o un mortero de cemento para ahogar ahí las piedras. Estos pavimentos tienen mucha resistencia al desprendimiento de piedras y a la erosión del agua.

Las piedras para la capa empedrada, deben tener adecuada resistencia a la compresión y al desgaste. Como el tamaño de las mismas son variables, se presentan unas relaciones de tamaño de piedra y espesor de capa de asiento y de pavimento, encontradas empíricamente.

$D_{prom.}$	=	Espesor promedio de las piedras de empedrar, Cm.
$D_{máx.}$	=	Espesor máximo de las piedras, Cm.
a	=	Espesor de capa de "asiento" en Cm.
E	=	Espesor del empedrado, en Cm.

$$a = D_{prom.} + 3 = D_{máx.} + 1$$

$$E = a + (D_{prom.}/4)$$

4.5.4 Diseño de espesores para el pavimento de empedrado, sobre la sub-rasante estabilizada con cal

Después de haber efectuado los trabajos de estabilización de la sub-rasante, utilizando el 4.5% de cal hidratada, se espera obtener un C.B.R mínimo de 9% y el índice de grupo igual a cero, obteniendo un suelo granular.

Datos del tránsito: 1160 vehículos livianos al día

300 vehículos pesados al día

Estos datos del tránsito ya han sido afectados por el factor de incremento de 1.2, con 20 años como período de diseño.

Pendiente de relleno = 1%

S = Espesor de la capa de rodadura = 10 Cms.

Según la tabla XVII la clasificación del tránsito es mediano, con una carga de diseño de 12,000 Lbs./rueda.

Espesor de la base, según tabla XVIII: 18 Cms. para tránsito mediano.

Tc = Espesor total del pavimento de acuerdo al valor soporte (C.B.R), (ver gráfico 1) = 30 Cms. y carga por rueda de 12,000 Lbs.

DA = 1.10

$$T_{sb} = [(2 \cdot T_c + T_g) / 3 - (S+B)] \cdot DA$$

El término $(2 \cdot T_c + T_g) / 3$ debe ser mayor o igual que T_c , en caso contrario dicho término se sustituirá por T_c .

$$T_{sb} = [(2 \cdot 30 + 22) / 3 - (10+18)] \cdot 1.10$$

$$T_{sb} = [30 - 28] \cdot 1.10$$

$$T_{sb} = 2 \cdot 1.10$$

$$T_{sb} = 2.20 \text{ Cms}$$

Por comodidad de construcción trasladamos los 2.20 Cms. De sub-base a base granular, para esto se tiene la relación 1.35 : 1 entre sub-base y base granular respectivamente; obteniendo un incremento a la base de 1.63 Cms.

En la construcción del empedrado por dar servicio a un tránsito mediano se hace necesario, la colocación de una capa de asiento de concreto pobre en la cual se ahogarán las piedras. Para el dimensionamiento de esta capa de asiento se prosiguió de la siguiente manera:

Se utiliza la fórmula empírica de la sección 4.5.3 con los datos siguientes:

$D_{prom.}$	=Espesor promedio de las piedras	=	8 Cms.
$D_{max.}$	=Espesor máximo de las piedras	=	12 Cms.

$$a = \text{Capa de asiento} = D_{\text{prom.}} + 3 = D_{\text{max.}} + 1$$

$$a = 10 + 3 = 12 + 1$$

$$a = 13 = 13$$

$$E = \text{Espesor del empedrado} = a + (D_{\text{prom.}}/4)$$

$$E = 13 + (10/4)$$

$$E = 15.5 \text{ Cms.}$$

Por lo tanto el espesor del pavimento de piedra, quedaría integrado de la siguiente manera:

Piedras a usar	:	8 a 12 Cms. de espesor
Capa de asiento	:	13 Cms.
Base Granular	:	20 Cms.
Sub-base	:	00 Cms.

Espesor Total	:	36 Cms.

4.5.5 Cálculo hidráulico de tragantes y pozos de visita para el proyecto

Para el cálculo del diámetro de tuberías, pendientes a utilizarse; se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$q_d = CIA/360$$

En donde:

q_d = caudal de diseño en m^3/s .

C = Coeficiente de escorrentía, utilizando 0.85 considerando área pavimentada y de techos.

A = Área tributaria para los tragantes y tubos en hectárea.

I = intensidad de lluvia para la región 91mm/hora

$$V = (1/n) \times 0.03429 \times D^{2/3} \times S^{1/2}$$

V = velocidad a sección llena en m/s.

n = coeficiente de rugosidad del tubo de concreto = 0.015

D = Diámetro de tubería en pulgadas.

S = pendiente de la tubería

$$Q = V \times 5.067 \times 10^{-4} \times D^2 \times 1000$$

Q = caudal a sección llena en litros por segundo.

V = velocidad a sección llena en m/s.

D = diámetro de la tubería en pulgadas.

**CUADRO PARA EL CALCULO DEL DIÁMETRO DE LAS TUBERÍAS Y
PENDIENTES, PARA TRAGANTES Y POZOS DE VISITA**

DE	A	Cotas		DH	S%	Area (Has)		C	I	q _d	D	S%	V	Q
		Inicio	Final			Mt.	Terreno							
T1	PV1	100.00	100.00	5	0.00	0.15	0.15	.85	91	32.23	8	2	1.29	41.9
T2	PV1	99.65	100.00	33	-1.06	0.26	0.26	.85	91	55.86	10	2	1.50	76.0
T3	PV2	99.60	99.50	12	0.83	0.12	0.12	.85	91	25.78	8	2	1.29	41.9
T4	PV3	99.20	99.25	6	-0.83	0.29	0.29	.85	91	62.31	8	4	1.83	59.3
T5	TE	99.10	99.12	2	-1.00	0.15	0.15	.85	91	32.23	8	10	2.89	93.7
T6	PV4	99.30	99.30	10	0.00	0.05	0.05	.85	91	10.74	8	4	1.83	59.3
T7	PV5	99.55	99.60	9	-0.56	0.05	0.05	.85	91	10.74	8	2	1.29	41.9
T8	PV5	99.54	99.60	13	-0.46	0.27	0.27	.85	91	58.01	8	4	1.83	59.3
PV5	PV6	99.60	98.10	40	3.75	0.00	0.32	.85	91	68.76	10	2	1.50	76.0

T_i = Tragante y su numeración.

TE = Tubería existente.

PV_i = Pozo de visita y su numeración. Las profundidades de los pozos están en metros

Has = Hectáreas

v. = velocidad a sección parcialmente llena, debe ser mayor que 0.6 m/s pero menor que 3 m/s

5. ANÁLISIS DEL COSTO PARA PAVIMENTO DE PIEDRA

5.1 Generalidades

Este capítulo constituye un enfoque teórico de las etapas de construcción del pavimento de empedrado, considerándolo como un pavimento de tipo flexible por su comportamiento en el soporte de las cargas.

El procedimiento a seguir en la construcción de este tipo de pavimento es el siguiente:

Revisión de tuberías de agua potable (si es que existe), revisión de tragantes (si existen), cajas de válvulas, cajas de teléfonos, identificación de pozos de visita y medición de sus cotas invert, estado de bordillo y demás instalaciones existentes.

Después de haber realizado toda la inspección antes mencionada, se procede a efectuar el levantamiento topográfico y después tomar las muestras alteradas de subrasante para luego evaluarlas en el laboratorio. Información que servirá para el dimensionamiento del pavimento y el diseño geométrico, dándole las pendientes longitudinales y transversales adecuadas de la superficie.

Preparación de la subrasante

El material de la subrasante actual de la calle (terreno natural), deberá ser removido en un espesor necesario para obtener después de la estabilización con cal hidratada, los alineamientos, perfiles longitudinales y secciones transversales mostrados en los planos.

Los pasos sugeridos para la estabilización de la subrasante con cal hidratada son los siguientes:

1. Escarificar una capa de suelo de 30 centímetros, se rompen los terrones y se coloca la mitad superior en un camellón fuera de la calzada,
2. Desparramar la cal en sacos en una sola fila de modo incorporar la cantidad óptima de cal.
3. Cubrir la cal con una parte del material colocado en el camellón utilizando la hoja de la niveladora para evitar el polvo, mezclar luego completamente la cal y el suelo con niveladora. Durante el mezclado, agregar agua para llevar el suelo al contenido óptimo de humedad para la compactación. Para asegurar un buen mezclado, transportar el camellón cuatro veces de un lado al otro de la vía.
4. Extender el material de subrasante mejorada y compactarlo con una vibrocompactadora. Se pasa ajustadamente la hoja de la niveladora sobre cada capa colocada con el objeto de romper los

terrones de arcilla, durante esta operación agregar agua si es necesario.

5. Perfilar con niveladora y rodillar con exceso de agua.
6. Curar con humedad de 3 a 5 días para evitar que se seque la superficie.
7. Aplicar en este caso la capa de base directamente sobre la capa de subrasante mejorada, según los cálculos de espesores del pavimento.

Colocación, tendido y compactación de la base

El material de base debe ser depositado sobre la subrasante preparada, directamente con camiones de volteo, tendiéndolo con motoniveladora, asegurando su distribución en una capa de material uniforme y sin segregación, en una sola operación y que lo acondicione en un ancho no menor de tres metros. Previamente a la compactación de la capa de base, debe humedecerse adecuadamente el material para lograr la densidad óptima, su conformación debe ajustarse razonablemente a los alineamientos y secciones típicas de pavimentación y compactarse en su totalidad.

Tallado de piedra cinta

Este trabajo consiste en el tallado de las piedras de los cuatro lados de canto y su cara superior, procurando que sea plana, esto para que cumpla con su función de consolidación del mismo, por confinamiento. Tratando de llevar cada elemento a las medidas indicadas en los planos o en la sección 3.2. Con

estas piedras se forman posteriormente los cajones del empedrado, los cuales tendrán por lado 1.50 metros como máximo.

Obtención de piedra partida

A los cuadros que se forman con la piedra cinta se les denomina “cajones”. Los que serán rellenos con una parte de concreto pobre y por supuesto piedras ahogadas las que formarán la carpeta final de rodadura. Las piedras ahogadas pueden tener cualquier forma irregular, pero, nunca forma de laja: piedras planas de poco espesor, los espesores deben ser de 8 a 12 Cms., y se obtienen de partir la roca de la cantera del lugar seleccionada por su calidad y suficiencia.

Trabajos de drenaje

En pavimentos los trabajos de drenaje se refieren al reacondicionamiento y construcción de pozos de visita, construcción de tragantes de acera y de rejilla y construcción de ramales de drenaje donde no existe pero que es importante, para drenar las aguas de lluvia.

5.2 Costo de pavimentos de piedra

Para considerar el costo del pavimento de piedra, de la calle y plaza de San Martín Jilotepeque, tomando en consideración los diversos renglones anteriormente tratados, los que a continuación se detallan:

Tabla XXV. Presupuesto de materiales

Proyecto: Empedrado para la calle perimetral y plaza
 Municipio: San Martín Jilotepeque
 Departamento: Chimaltenango

MATERIALES	UNIDAD	No. UNIDAD	COSTO UNITARIO Q.	TOTAL Q.
Tubo de cemento de 8"	U	60	22.00	1,320.00
Tubo de cemento de 10"	U	77	28.00	2,156.00
Cemento tipo Pórtland	Sacos	3,350	36.00	120,600.00
Arena de río	Metros ³	270	60.00	16,200.00
Piedrín	Metros ³	396	70.00	27,720.00
Hierro 3/8"	Quintales	3	120.00	360.00
Hierro 1/4"	Quintales	0.25	115.00	28.75
Alambre de amarre	Libras	14	2.00	28.00
Ladrillo tayuyo de 6.5x11x23 Cms.	Millar	4.445	1,500.00	6,667.50
Rejilla con hierro No.5 soldada	Metros ²	2.2752	550.00	1,251.36
Cal hidratada sacos de 25Kg.	Sacos	4068	18.00	73,224.00
Madera pino rústico	U	12	32.00	384.00
Clavos de 2 1/2"	Libras	3	2.00	6.00
Piedra bola	Metros ³	1230	70.00	86,100.00
Material para base	Metros ³	1838	35.00	64,330.00
Flete para acarreo de base, camiones de 10Mts. ³	U	184	175.00	32,200.00
Agua para el proyecto	U	U	U	7,000.00
TOTAL DE MATERIALES				439,575.61

Tabla XXVI. Presupuesto de mano de obra

Proyecto: Empedrado para la calle perimetral y plaza
 Municipio: San Martín Jilotepeque
 Departamento: Chimaltenango

ACTIVIDAD	UNIDAD	No. UNIDADES	SUB- TOTAL Q.	PRESTACION Q	TOTAL Q.
Trazo y estaqueado	U	U	800.00	272.45	1,072.45
Acarreo de cal	sacos	4068.00	720.00	245.21	965.21
Tallado de piedra cinta	ML	7,617.00	38,700.00	13,179.61	51,879.61
Construcción de piedra cinta	ML	7,617.00	46,080.00	15,692.93	61,772.93
Relleno de cajones	Mts. ²	6,847.47	61,920.00	21,087.35	83,007.35
Excavación para tubería	Mts. ³	103.08	1,546.20	526.57	2,072.77
Relleno de zanjas	Mts. ³	103.08	1,030.80	351.05	1,381.85
Pegado de tubos 8"	ML	57.00	480.00	163.47	643.47
Pegado de tubos 10"	ML	73.00	924.00	314.67	1,238.67
Excavación para tragantes	Mts. ³	11.83	177.45	60.43	237.88
Excav. Para pozos de visita	Mts. ³	9.37	140.55	47.87	188.42
Fundición de pisos	U	10.00	150.00	51.08	201.08
Levantado de pozos	Mt.2	13.23	529.20	180.22	709.42
Levantado de tragantes	Mt.2	34.88	1,046.40	356.36	1,402.76
Media caña	U	2.00	30.00	10.22	40.22
Hechura armado de brocal	U	10.00	300.00	102.13	402.13
Hechura armado de tapadera	U	10.00	200.00	68.11	268.11
Fundición de tapaderas	U	10.00	200.00	68.11	268.11
				SUB-TOTAL	206,679.99
OTRAS ACTIVIDADES					
Administración 5%					10,334.00
Imprevistos 10%					20,668.00
TOTAL MANO DE OBRA					237,681.99

Tabla XXVII. Presupuesto de maquinaria

Proyecto: Empedrado para la calle perimetral y plaza

Municipio: San Martín Jilotepeque

Departamento: Chimaltenango

TIPO DE MAQUINARIA Y EQUIPO	No. DE UNIDADES	No. DE HORAS	COSTO Q.
TRACTOR DE ORUGA D6D	01	49.00	21,070.00
CAMIÓN DE VOLTEO DE 10M3	06	270.00	30,619.75
CARGADOR FRONTAL CAT 924F	02	104.00	29,640.00
TRACTOR CON ARADO DE DISCO	01	8.00	3,440.00
MOTONIVELADORA 120H CAT	01	16.00	5,600.00
VIBROCOMPACTADORA CAT CS433B	01	32.00	7,456.00
CAMION DE 10 TON.	01	08.00	1,600.00
CISTERNA DE 2,000 GAL	01	32.00	4,000.00
FLETES	U	U	8,400.00
TOTAL EN MAQUINARIA Y EQUIPO			111,824.75

OBSERVACIONES:

En el precio de la renta de maquinaria y equipo incluyen los siguientes rubros:

Combustibles y lubricantes

Costo del operador

Mantenimiento

Impuesto IVA, ISR, IEMA

Tabla XXVIII. Condensación del costo

Proyecto: Empedrado para la calle perimetral y plaza
Municipio: San Martín Jilotepeque
Departamento: Chimaltenango

RUBRO	COSTO
MATERIALES	Q.439,575.61
MANO DE OBRA	Q.237,681.99
MAQUINARIA Y EQUIPO	Q.111,824.75
PRESUPUESTO FINAL	Q.789,082.35

COSTO POR METRO CUADRADO DEL EMPEDRADO:

COSTO = $Q.789,082.35 / 7,990.00 \text{ metros cuadrado} = Q.98.76 / \text{metro cuadrado}$
de empedrado

El costo final está sujeto a cambios por alza de precios en el mercado (Inflación).

CONCLUSIONES

1. La utilización de este tipo de pavimento no es muy usado, pero debido a las condiciones culturales del lugar es necesario utilizar el empedrado, no encontrando problemas en cuanto a la materia prima, ya que el municipio de San Martín Jilotepeque, cuenta con bancos de piedra, relativamente cercanos al proyecto.
2. La colocación de las piedras no requiere la utilización de equipo y maquinaria especial, ni de personal especializado; a excepción de la construcción de la subrasante mejorada y de la base, en donde hay que utilizar maquinaria especial.
3. La construcción de la carpeta de rodadura de piedra, hace necesaria la ocupación de gran cantidad de obreros, beneficiando directamente a la población de San Martín Jilotepeque.
4. La materia prima para la construcción del pavimento de empedrado es 100% nacional, esto quiere decir que no da lugar a la fuga de divisas por importaciones.
5. En los trabajos de reparación y mantenimiento, se utilizan materiales de fácil adquisición, dando como resultado un gasto de mantenimiento mínimo.

6. Todos los pavimentos deben ser construidos de acuerdo a los criterios universalmente aceptados, independientemente del tipo que sea; esto proviene del hecho de que a los pavimentos de piedra lo han catalogado como de categoría cuatro, no dándole la atención que se merece, dejando por un lado el servicio que debe proporcionar a los usuarios.

RECOMENDACIONES

1. A la Municipalidad de San Martín Jilotepeque, que en el proceso de construcción del pavimento, se tenga una supervisión constante, con el fin de obtener un pavimento de calidad, con la observancia de la calidad de materiales como en el rendimiento de la maquinaria y la mano de obra.
2. A la Municipalidad de San Martín Jilotepeque, efectuar un censo de los vehículos existentes en el lugar, para tener mejor información cuando sea necesario la construcción de pavimentos.
3. Para la construcción del pavimento de empedrado, es necesario que las autoridades municipales, defiendan la imagen de su comunidad ante los visitantes del lugar, haciendo reaccionar a las entidades que se niegan al mejoramiento de las estructuras con un alto grado de deterioro, para que éstas sean mejoradas.
4. A las autoridades de la Facultad de Ingeniería brindarle más apoyo a los estudiantes sometidos al programa Ejercicio Profesional Supervisado, ya que los resultados que se obtienen a través de su realización, permiten complementar los conocimientos adquiridos en la formación académica, a la vez de contribuir a aportar soluciones a los tantos problemas que padece nuestro país.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ara Arriola, Telésforo. Comportamiento de los diferentes tipos de suelos y los métodos para estabilizarlos. Tesis Ing. civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2000.
2. Crespo Villalaz, Carlos. **Vías de comunicación**. 1ª ed. México: Editorial Limusa, 1980.
3. Galindo Cabrera, Ronald Estuardo. Rendimientos de mano de obra en la construcción de pavimentos de adoquín y empedrado. Tesis Ing. civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1993.
4. García Nájera, Cesar Abigail. Diseño del pavimento colonia Saravia, zona 5 y análisis de tránsito en vías urbanas. Tesis Ing. civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1989.
5. González Barreno, Carlos Alonzo. Diseño de Alcantarillado sanitario para la aldea Rincón Chiquito, Zaragoza, Chimaltenango. Tesis Ing. civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1998.
6. Moncayo V. Jesús. **Manual de pavimentos**. 3ª ed. México: Editorial Continental, 1985.

7. Ovalle Quiroa, Carlos Enrique. Pavimento de empedrado como una solución vial en el interior de la república de Guatemala. Tesis Ing. civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1989.
8. Ruiz, Mario Luis Ángel. Estudio de estabilización de suelos de subrasante utilizando granza de cal, para construcción de carreteras. Tesis Ing. civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1993.
9. Sowers, George B. y George F. Sowers. **Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones**. 8ª ed. México: Editorial Limusa, 1994.
10. Vides Tobar, Amando. **Construcción de carreteras**. (Volumen1) Guatemala: Editorial Piedra Santa, 1981.
11. Vides Tobar, Amando. **Análisis y control de costos de ingeniería**. Editorial Piedra Santa, s.a.

APÉNDICES

APÉNDICE 1

Libreta de campo

Planimetría y altimetría.

APÉNDICE 2

Planos para el proyecto de pavimento de empedrado,

Calle y plaza de San Martín Jilotepéque, Chimaltenango.

APÉNDICE 1

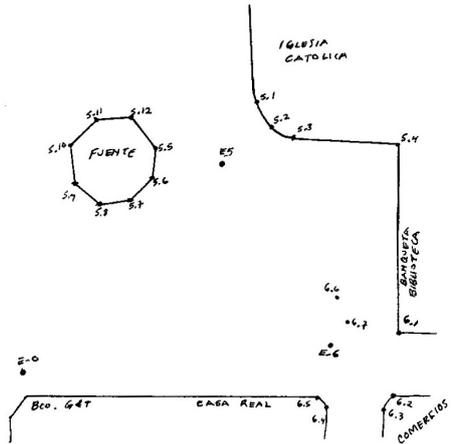
Libreta de campo

Planimetría y altimetría

PROYECTO DEL PAVIMENTO DE EMPEDRADO DE LA CALLA Y PLAZA
 LOCALIZACION: SAN MARTIN JILOTEPEQUE, DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO

HOJA No. 02
 FECHA: 29-07-02
 OPERADOR: German

EST.	Po. Obs.	AZIMUT	DIST. HOR.	OBSERVACIONES
E-5	E-6	188°25'55"	47.765	
	5.1	176°00'00"	11.50	Esquina primera grada del atrio
	5.2	01°20'55"	11.45	Esquina primera grada del atrio
	5.3	09°37'50"	13.97	Esquina primera grada del atrio
	5.4	103°40'32"	22.46	Esquina primera grada del atrio
	5.5	287°34'10"	10.3	Esquina de acera de la fuente
	5.6	277°27'00"	12.70	Esquina de acera de la fuente
	5.7	278°23'40"	15.90	Esquina de acera de la fuente
	5.8	286°42'42"	18.07	Esquina de acera de la fuente
	5.9	296°47'00"	18.48	Esquina de acera de la fuente
	5.10	305°57'30"	16.86	Esquina de acera de la fuente
	5.11	311°04'10"	13.90	Esquina de acera de la fuente
	5.12	304°50'30"	10.90	Esquina de acera de la fuente
E-6	E-0	283°17'05"	56.60	
	6.1	107°25'55"	11.835	Esquina acera tienda
	6.2	135°34'10"	17.17	Esquina acera comercio
	6.3	142°50'40"	16.80	Esquina acera comercio
	6.4	166°25'20"	9.39	Esquina acera Casa real
	6.5	169°12'05"	7.34	Esquina acera casa real
	6.6	05°25'25"	6.77	Venta improvisada
	6.7	111°18'30"	4.17	Venta improvisada



PROYECTO DEL PAVIMENTO DE EMPEDRADO DE LA CALLA Y PLAZA
 LOCALIZACION: SAN MARTIN JILOTEPEQUE, DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO

HOJA No. 04
 FECHA: 29-07-02
 OPERADOR: German

NIVELACION

IZQUIERDA		EJE		DERECHA							
0.2	0.1	99.350	0.200	0.50	0.85	0.8	0.7	0.6			
6	6	0.000	10.000	20	30	40	50	68			
0.2	0	99.302	0.500	0.80	1	0.9	0.8	0.6	0.5	0.8	
6.9	6.9	20.000	10.000	20	30	40	50	60	67.8	67.8	
0.25	0	99.254	0.400	0.70	0.90	0.9	0.7	0.4	0.7	0.9	
7.37	7.37	40.000	10.000	20	30	40	50	60	67.3	67.3	
0.5	0.20	99.154	0.500	1	1.35	1.1	1	0.9	1.1		
8	8	60.000	10.000	20	30	40	50	54.2	54.2		
0.2	0.15	99.117	0.30	0.60	0.90	0.9	0.6	0.3	0.3	1.3	
7.7	7.7	80.000	10.00	20	30	40	50	60	66.9	66.9	
0.3	0.2	98.997	0.4	0.70	1	0.9	0.6	0.5	0.7	0.1	
8.6	8.6	100.000	10.00	20	30	40	50	60	70	80	

EL EJE SE UBICO EN UNA LINEA IMAGINARIA CASI AL CENTRO DE LA CALLE QUE QUEDA ENFRETE DE LA MUNICIPALIDAD

APÉNDICE 2

**Planos para el proyecto de pavimento de empedrado,
Calle y plaza de San Martín Jilotepéque, Chimaltenango.**

