

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**“ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LA
CONSTRUCCION Y PROPUESTA DE METODOLOGIA
DE DISEÑO DE EMPEDRADOS FRAGUADOS”**

PRESENTADO POR:

JOSE ISAIAS RIVERA

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO DE 2013

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR :

Ph.D. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación Previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título

:

**“ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LA CONSTRUCCION Y
PROPUESTA DE METODOLOGIA DE DISEÑO DE
EMPEDRADOS FRAGUADOS”**

Presentado por

:

JOSE ISAIAS RIVERA

Trabajo de Graduación Aprobado por

:

Docentes Directores

:

**ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA
INGRA. ELSA ELIDA CASTRO DE SERMEÑO**

San Salvador, Marzo de 2013

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA

INGRA. ELSA ELIDA CASTRO DE SERMEÑO

AGRADECIMIENTOS

A Dios, Todopoderoso, que con su infinita misericordia me dio fuerza, sabiduría, paciencia, y la oportunidad de terminar exitosamente mi trabajo de graduación.

A mis Asesores: INGRA. ELSA ELIDA CASTRO DE SERMEÑO e ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA, por su valiosa colaboración, entrega, tiempo y conocimientos compartidos a lo largo del desarrollo del trabajo de graduación.

Al ING. DILBER ANTONIO SANCHEZ VIDES e ING. RAMON EVELIO LOPEZ por su ayuda incondicional en la elaboración de este trabajo de graduación.

A mis amigos y amigas, en especial a Víctor Alfonso Serrano, Oscar Edgardo Ayala, Salvador Antonio Velásquez y Carlos Godofredo Bardales por su ayuda en diferentes etapas durante el desarrollo de este trabajo de graduación.

A mi familia por todo su apoyo moral y material, lo cual sin duda, sin este apoyo no hubiese sido posible culminar este trabajo de graduación.

DEDICATORIA

Dedico esta obra primeramente al Creador de todo: A DIOS Todopoderoso, por su ayuda, compañía y mostrarme que la vida tiene oportunidades para salir adelante a pesar de las malas experiencias a lo largo de toda la historia de mi vida, que sin su ayuda no hubiese sido posible terminar con éxito hoy esta etapa importante de mi vida.

A mi madre Ada María Rivera por darme la vida y educarme de la mejor forma posible, gracias por todo su amor y sus consejos, gracias especialmente a mi mamá por tener su apoyo incondicional a pesar de la distancia.

A mi abuela Melecia Vides, Mis Ti@s Conchy Rivera de Rivas, María Luisa Rivera, Mario Ulises Rivera, Omar Rivera y Jaime Orlando Rivera, los cuales han sido como unos padres para mí, por su apoyo moral y material durante toda mi vida.

A mis hermanos Otoniel y Luis, y decirles que la vida hay que saberla llevar y que a pesar de las dificultades hay que seguir adelante.

A mi primo Samuel Rivas Rivera que ha sido como un hermano para mí, por su apoyo incondicional moral y material durante el transcurso de mis estudios.

A mis amig@s por su apoyo durante la carrera y por haberme mantenido entretenido con su presencia y sus ocurrencias, así como su apoyo incondicional en las etapas más duras de mi vida.

Y un agradecimiento especial para aquella personita única que en buena etapa de mi carrera ha estado presente a mi lado pasando excelentes momentos juntos, y que me ha enseñado muchas cosas que la vida nos puede dar y recordarme que no todo lo que anhelamos se nos concede y seguir adelante a pesar de las dificultades.

ISAIAS RIVERA

INDICE

CAPITULO I: GENERALIDADES.....	1
1.1 INTRODUCCION	2
1.2 ANTECEDENTES	3
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.4 OBJETIVOS	8
1.4.1 Objetivo General.....	8
1.4.2 Objetivos Específicos.....	8
1.5 ALCANCES	9
1.6 LIMITACIONES	10
1.7 JUSTIFICACIONES.....	11
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	12
2.1 INTRODUCCION	13
2.2 EMPEDRADOS FRAGUADOS	14
2.2.1 Definición de empedrado fraguado.....	14
2.2.2 Clasificación de carreteras en el País.....	14
2.2.3 Componentes del empedrado fraguado.....	17
2.2.4 Condiciones técnicas y sociales	18
2.2.5 Aplicaciones de los empedrados fraguados	20
2.3 SUBRASANTE	21
2.3.1 Diseño geométrico vial	21
2.3.2 Geotecnia	31
2.3.3 Estabilización de suelos	46

CAPITULO III: ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LA CONSTRUCCION DE EMPEDRADOS FRAGUADOS61

3.1	INTRODUCCION	62
3.2	ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LA CONSTRUCCION DE EMPEDRADOS FRAGUADOS	63
3.2.1	Chapeo y limpieza.....	63
3.2.2	Trazo y nivelación.....	65
3.2.3	Escarificado y conformación de la subrasante	67
3.2.4	Estabilización de subrasante	71
3.2.5	Estabilización de suelos mediante la adición de cal.....	74
3.2.6	Estabilización con adición de cemento portland	78
3.2.7	Estabilización de subrasante con emulsión asfáltica.....	83
3.2.8	Superficie de rodadura	89
3.2.9	Cunetas revestidas.....	94
3.2.10	Construcción de badenes.....	101
3.2.11	Obras de mampostería varias	103
3.2.12	Recepción final	108

CAPITULO IV: ENSAYOS DE LABORATORIO109

4.1	INTRODUCCION	110
4.2	SUBRASANTE	111
4.2.1	Trabajo de campo en Arcatao, Chalatenango	111
4.2.2	Ensayos de laboratorio practicados a las muestras de campo en laboratorio.....	112
4.3	RESISTENCIA A LA FLEXION DE MAMPOSTERIA (MORTERO Y PIEDRA).....	114
4.3.1	Elaboración de vigas de empedrado.....	114

4.3.2	Material y equipo	115
4.3.3	Requisitos que deben cumplir los materiales y equipo	116
4.3.4	Elaboración de molde.....	118
4.3.5	Dosificación de los materiales	120
4.3.6	Elaboración de las vigas y cubos de mortero	121
4.3.7	Curado de los especímenes	123
4.3.8	Ensayo de compresión del mortero	125
4.3.9	Ensayo de flexión de la mampostería.....	126
4.3.10	Memoria de cálculo.....	131
4.3.11	Resultados obtenidos.....	135

CAPITULO V: APLICACION Y PROPUESTA DE METODOLOGIA DE DISEÑO137

5.1	INTRODUCCION	138
5.2	METODOLOGIA DE DISEÑO	139
5.2.1	Diseño de pavimentos	139
5.2.2	Información requerida.....	140
5.2.3	Método de cálculo.....	146
5.2.4	Condicionamientos que debe cumplir el pavimento	148
5.2.5	Resultados del diseño del empedrado fraguado	149

CAPITULO VI: DAÑOS DE LOS EMPEDRADOS FRAGUADOS150

6.1	INTRODUCCION	151
6.2	PERDIDA DE ADHERENCIA	152
6.3	ROTURA DE BORDE	154

6.4	HUNDIMIENTO	156
6.5	BACHES.....	158
	ESTADO DE LOS EMPEDRADOS	160

CAPITULO VII: PLAN DE MANTENIMIENTO.....168

7.1	INTRODUCCION	169
7.2	PLAN DE MANTENIMIENTO	170
7.2.1	Definición	170
7.2.2	Objetivos	170
7.2.3	Elementos para considerar en el inventario vial	170
7.2.4	Normas de mantenimiento	170
7.2.5	Normas de ejecución.....	171
7.2.6	Categorías de mantenimiento.....	173
7.2.7	Actividades a realizar.....	174
7.2.8	Limpieza del derecho de vía	175
7.2.9	Limpieza de cunetas.....	179
7.2.10	Limpieza de alcantarillas y otras estructuras de drenaje	182
7.2.11	Reparación de badenes.....	186
7.2.12	Revisión de obras de retención	190
7.2.13	Reparación de empedrados	193
7.2.14	Reparación de cunetas revestidas.....	197
7.2.15	Remoción de derrumbes menores	202
7.3	COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO	205

CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	206
8.1 CONCLUSIONES	207
8.2 RECOMENDACIONES.....	209
BIBLIOGRAFIA	210
ANEXOS	212

INDICE DE TABLAS

CAPITULO II: MARCO TEORICO

Tabla 2.1	Clasificación según su importancia y características geométricas.....	16
Tabla 2.2	Normas de diseño clasificación camino rural.....	27
Tabla 2.3	Normas de diseño clasificación camino vecinal.....	29
Tabla 2.4	Vías de circulación menor.....	30
Tabla 2.5	Clasificación de suelos según AASHTO M 145.....	34
Tabla 2.6	Clasificación de suelos según ASTM D 2487.....	39

CAPITULO III: ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LA CONSTRUCCION

Tabla 3.1	Chapeo y limpieza.....	64
Tabla 3.2	Escarificado y conformación de la subrasante.....	70
Tabla 3.3	Guía para la selección del aditivo estabilizante para suelos.....	73
Tabla 3.4	Estabilización de suelos mediante la adición de cal.....	77
Tabla 3.5	Criterios de la PCA para ensayos de humedecimiento y secado o congelamiento-descongelamiento	82
Tabla 3.6	Requerimientos típicos para varios grupos de suelos.....	83
Tabla 3.7	Especificaciones para agregados.....	84
Tabla 3.8	Especificaciones para agregados.....	84
Tabla 3.9	Especificaciones para agregados.....	85
Tabla 3.10	Relación de soporte (CBR).....	85
Tabla 3.11	Especificaciones para agregado grueso.....	86
Tabla 3.12	Especificaciones para agregado fino.....	86

Tabla 3.13	Características físico-mecánicas de la piedra.....	89
Tabla 3.14	Distribución granulométrica de la arena a utilizar en la superficie de rodadura.....	90
Tabla 3.15	Superficie de rodadura.....	93
Tabla 3.16	Distribución granulométrica de la arena a utilizar en cunetas revestidas.....	95
Tabla 3.17	Cunetas revestidas.....	100
Tabla 3.18	Construcción de badenes.....	102
Tabla 3.19	Distribución granulométrica de la arena a utilizar en obras de mampostería.....	104
Tabla 3.20	Obras de mampostería varias.....	107

CAPITULO IV: ENSAYOS DE LABORATORIO

Tabla 4.1	Ubicación de pozos a cielo abierto.....	111
Tabla 4.2	Resultados de ensayos de laboratorio de la subrasante.....	113
Tabla 4.3	Agregado constituyente del mortero.....	116
Tabla 4.4	Especificación de mortero por propiedades.....	120
Tabla 4.5	Cálculo de materiales.....	120
Tabla 4.6	Resultados de laboratorio.....	135

CAPITULO V: APLICACION Y PROPUESTA DE METOLOGIA DE DISEÑO

Tabla 5.1	Módulos de ruptura en pavimentos.....	140
Tabla 5.2	Períodos de diseño de pavimentos.....	140
Tabla 5.3	Porcentajes de cobertura de CBR de campo.....	142
Tabla 5.4	Percentiles recomendados para la elección de CBR de diseño.....	143
Tabla 5.5	Resultados obtenidos del diseño del pavimento.....	149

CAPITULO VI: DAÑOS DE LOS EMPEDRADOS FRAGUADOS

Tabla 6.1	Niveles de severidad en baches.....	158
-----------	-------------------------------------	-----

CAPITULO VII: PLAN DE MANTENIMIENTO

Tabla 7.1	Cronograma de actividades.....	174
Tabla 7.2	Costo de limpieza del derecho de vía.....	177
Tabla 7.3	Limpieza del derecho de vía.....	178
Tabla 7.4	Costo de limpieza de cunetas.....	180
Tabla 7.5	Limpieza de cunetas.....	181
Tabla 7.6	Costo de limpieza de alcantarillas y otras estructuras de drenaje.....	184
Tabla 7.7	Limpieza de alcantarillas y otras estructuras de drenaje.....	185
Tabla 7.8	Costo de reparación de badenes.....	188
Tabla 7.9	Reparación de badenes.....	189
Tabla 7.10	Costo de revisión de obras de retención.....	191
Tabla 7.11	Revisión de obras de mampostería.....	192
Tabla 7.12	Costo de bacheo de empedrados.....	195
Tabla 7.13	Bacheo de empedrados.....	196
Tabla 7.14	Costo de reparación de cunetas revestidas.....	200
Tabla 7.15	Reparación de cunetas revestidas.....	201
Tabla 7.16	Costo de remoción de derrumbes menores.....	203
Tabla 7.17	Remoción de derrumbes menores.....	204
Tabla 7.18	Costo anual de mantenimiento por kilómetro de empedrado fraguado.....	205

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO I: GENERALIDADES

Figura 1.1 Empedrados acuñados.....	4
Figura 1.2 Empedrado con rodadura de adoquín.....	5

CAPITULO II: MARCO TEORICO

Figura 2.1 Componentes del empedrado fraguado.....	17
Figura 2.2 Sección transversal típica de camino rural.....	26
Figura 2.3 Sección transversal típica de camino vecinal.....	28
Figura 2.4 Composición de los suelos.....	31
Figura 2.5 Representación de los límites de Atterberg.....	43
Figura 2.6 Gráfico Densidad-Humedad.....	45

CAPITULO III: ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LA CONSTRUCCION

Figura 3.1 Estacas de talud.....	66
Figura 3.2 Secuencia y conformación de la subrasante.....	68
Figura 3.3 Secuencia de hidratación y compactación de la subrasante.....	69
Figura 3.4 Triangulo de graduación de ayuda para elegir el tipo de estabilización.....	72
Figura 3.5 Transporte y acopio de material.....	91
Figura 3.6 Conformación de la cuneta.....	97
Figura 3.7 Colocación de la piedra en cunetas.....	97
Figura 3.8 Cunetas empedradas.....	98
Figura 3.9 Cuneta terminada.....	99

CAPITULO IV: ENSAYOS DE LABORATORIO

Figura 4.1	Límites de graduación de la arena para mortero.....	117
Figura 4.2	Piedra a utilizar en las vigas.....	118
Figura 4.3	Elaboración de molde de viga modificada.....	119
Figura 4.4	Elaboración de vigas y cubos.....	122
Figura 4.5	Proceso de curado de vigas y cubos.....	124
Figura 4.6	Ensayo de compresión de mortero.....	125
Figura 4.7	Puntos de apoyo y aplicación de cargas.....	126
Figura 4.8	Proceso de ensayo de viga de tamaño modificado.....	128
Figura 4.9	Proceso de ensayo de viga de tamaño estándar.....	130

CAPITULO V: APLICACIÓN Y PROPUESTA DE METODOLOGIA DE DISEÑO

Figura 5.1	Porcentaje de Cobertura-CBR.....	143
Figura 5.2	Definición del valor soporte de diseño.....	144

CAPITULO VI: DAÑOS DE LOS EMPEDRADOS FRAGUADOS

Figura 6.1	Pérdida de adherencia.....	153
Figura 6.2	Rotura de borde.....	155
Figura 6.3	Hundimiento.....	157
Figura 6.4	Bache.....	159

RESUMEN

El presente trabajo de graduación se realizó con el objetivo de ofrecer una propuesta de metodología de diseño técnicamente aceptable para empedrados fraguados que servirá de herramienta de consulta a interesados en el campo de este tipo de pavimentos.

El documento se encuentra desarrollado de la siguiente manera:

Capítulo I: Generalidades

Contiene los puntos básicos que se consideraron fundamentales durante la ejecución de este trabajo de graduación como lo es la introducción, planteamiento del problema, justificación, alcances y limitaciones de la investigación.

Capítulo II: Marco teórico

Este presenta el resultado de una investigación teórica de todos los componentes y condiciones que hacen viables estos empedrados y sus respectivas aplicaciones en diferentes caminos, además se presentan la descripción topográfica, trazado y las secciones transversales de los caminos rurales y vecinales.

Capítulo III: Especificaciones técnicas para la construcción de empedrados fraguados

Guía de normativas a seguir que cumplan con parámetros establecidos que garanticen el adecuado funcionamiento de los componentes del pavimento, para lo cual se presentan las especificaciones para la correcta ejecución de los empedrados fraguados, describiendo en cada una de ellas los materiales a utilizar con sus respectivas

características físicas y mecánicas, así como el procedimiento a seguir para su construcción, la unidad y forma de pago de cada una de ellas.

Capítulo IV: Ensayos de laboratorio

Para la determinación de las propiedades de los suelos es necesario realizar un reconocimiento del terreno, en cual se toman muestras que deben ser lo más representativa posible de la realidad a analizar y durante su envío hasta el laboratorio. Se dan a conocer los ensayos de laboratorio que se le realizan a los diferentes elementos de la estructura, en los cuales se detallan el procedimiento a realizar para su correcta ejecución y obtención de valores representativos de campo.

Capítulo V: Aplicación y propuesta de metodología de diseño

Se desarrolla una propuesta de metodología de diseño técnicamente aceptable que se encuentra basada en las propiedades mecánicas de la subrasante y capa de rodadura, que permita simular las condiciones desfavorables que se puedan presentar en campo durante el periodo de vida útil del pavimento.

Capítulo VI: Daños de los empedrados fraguados

Se presentan los criterios y procedimientos para la identificación y recolección de información de los daños más comunes que presentan los empedrados fraguados, así como la descripción de cada uno de ellos y las posibles causas que llevaron a ocasionarlo.

Capítulo VII: Plan de mantenimiento

Una serie de lineamientos básicos que contienen el conjunto de acciones continuas y permanentes destinados a mantener el buen funcionamiento e incrementar el nivel de transitabilidad de las vías de comunicación.

Capítulo VIII: Conclusiones y recomendaciones

Se presentan unas conclusiones y recomendaciones con el fin de dar respuesta a lo planteado al inicio de la investigación y se complementa con la bibliografía y los anexos, presentando un software sencillo para el cálculo de la estructura del empedrado fraguado.

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION

Las vías de comunicación que conectan los poblados rurales de nuestro país son importantes para el desarrollo de sus habitantes, los cuales se benefician a través del intercambio de bienes y servicio, mejora de la salud pública, educación, etc.

Para mantener en óptimo estado estos caminos una de las alternativas son los empedrados fraguados, los cuales poseen una superficie de rodadura adecuada capaz de soportar las cargas para el tránsito vehicular. Para los empedrados fraguados no existen especificaciones técnicas y metodologías de diseño normalizadas en El Salvador, por lo que se realizará un estudio sobre este tipo de pavimento.

En el siguiente capítulo se presenta además los objetivos, alcances y limitaciones que se tomarán en cuenta para el desarrollo de este trabajo de graduación.

1.2 ANTECEDENTES

La construcción de caminos empedrados en la región americana se remonta hasta civilizaciones como el Imperio Inca y Azteca, en las cuales se buscaba comunicación permanente entre los poblados para el desarrollo de actividades comerciales, religiosas y bélicas.

Desde un inicio este tipo de empedrado se conoció como emplantillado o tendido, conocido modernamente como pedraplenes.

Siempre se había hecho el empedrado como un tirado o tendido simple, el cual era de un espaciado ralo que se utilizaba para salvar la irregularidad de la superficie sin una técnica establecida, este tipo de empedrado se construía con cantos rodados del mismo diámetro.

Luego se construyeron los empedrados con acondicionamiento simple conocidos como acuñados, en los cuales los espacios entre la piedra se buscaba que fuese el mínimo posible, estos también se construían con cantos rodados pero de distintos diámetros.

Algunas de las calles testigos de la utilización de estos empedrados se encuentra ubicada en el área urbana del Municipio de San Salvador sobre la 25^a avenida Sur cercana a los Condominios Cuscatlán en el Complejo Artístico Cultural Bloom y en la Ciudad de Suchitoto, Departamento de Cuscatlán que todavía posee empedrados acuñados. Estas calles se conservan como patrimonio cultural de El Salvador.

Figura 1.1: EMPEDRADOS ACUÑADOS



Suchitoto, Cuscatlán



Complejo Artístico Cultural Bloom, San Salvador

Luego con la tecnología se comienza a utilizar la piedra angulosa o conocida como piedra cuarta proveniente de la trituración, en los cuales ya se utilizan los diámetros intencionados debido a que se conocía los espesores a los cuales se construían y a su vez se buscaba la interacción entre partículas (trabazón) debido a su angulosidad.

Una de las formas de construcción de estos empedrados era por medio de la colocación de capas gruesas de piedra triturada lista para pavimento la cual era regada con rastrillo hasta cubrir en su totalidad el ancho de la calzada. Esta tecnología fue una de las primeras con las que se fue superando el desarrollo de las calles.

Luego se comienzan a construir empedrados con espesores definidos, con materiales ligantes o aglomerantes como los limos y arcillas, que hace la adherencia entre piedra y piedra y que llena las superficies entre ellas.

Posteriormente se comienzan a construir empedrados con rodadura de adoquín en los cuales ya se utilizaba una técnica más sofisticada, considerando el bombeo que posibilita la evacuación lateral del agua, presentando un buen desempeño en su estructura bajo cargas de tránsito. De este tipo de empedrados se puede apreciar una gran cantidad al recorrer los municipios del interior del país, como por ejemplo los que se encuentran en el municipio de Comasagua, departamento de La Libertad.

Figura 1.2: EMPEDRADO CON RODADURA DE ADOQUIN



Comasagua, La Libertad

Durante años se realizaron construcciones de empedrados sin una técnica establecida, hasta que en el año de 2004 la Organización Internacional del Trabajo (OIT) elaboró el Manual Andino para la Construcción y Mantenimiento de Empedrados como una alternativa de diseño a seguir, para la construcción de estos caminos. Este manual considera solo los empedrados secos (no poseen mortero) y se encuentra basado en la

geología y clima de esta región (Bolivia, Ecuador y Perú), por lo cual su aplicación en nuestro país no es la adecuada.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el ámbito social las condiciones de transitabilidad de los caminos rurales y vecinales obstaculizan la comunicación entre las comunidades, así como también el intercambio de bienes y servicios, debido a su mal estado generan incomodidad y retraso para los usuarios.

En el país no existe ningún reglamento de construcción que posea las especificaciones técnicas para el diseño, construcción y mantenimiento de los empedrados fraguados, en la cual se establezcan los requerimientos de los materiales que forman la estructura, que garanticen el buen desempeño y calidad del pavimento.

Las vías de comunicación son primordiales para el desarrollo social y económico de la población rural salvadoreña, por lo que es necesario diseñarlas y construirlas siguiendo una metodología que garantice su buen desempeño.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

- Elaborar las especificaciones técnicas para la construcción y propuesta de metodología de diseño de empedrados fraguados en caminos rurales, vecinales y calles urbanas de circulación menor mediante una base técnicamente aceptable en el país.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar investigaciones de campo a empedrados fraguados en construcción y existentes para determinar los problemas que presentan con mayor frecuencia.
- Realizar una propuesta de ensayos de laboratorio a los agregados que formarán parte de la estructura del pavimento.
- Establecer una propuesta de metodología de diseño estructural para el pavimento de empedrado fraguado.
- Elaborar una normativa de procesos constructivos para empedrados fraguados.
- Establecer un plan de mantenimiento para la conservación de los pavimentos de empedrados fraguados.

1.5 ALCANCES

- Se realizará una investigación de los problemas que se dan con mayor frecuencia en la estructura del empedrado fraguado.
- Se establecerán los tipos de suelo, material pétreo, topografía y longitudes para la construcción de los empedrados fraguados.
- Se realizará una propuesta de ensayos de laboratorio de materiales destinados a formar parte del pavimento de empedrado fraguado.
- Se presentará una propuesta de metodología de diseño estructural que utilice parámetros obtenidos en esta investigación mediante los ensayos de laboratorio.
- Se elaborará una propuesta de normalización de procesos constructivos aplicada a las variables que se puedan presentar en nuestro país.
- Se presentará un plan de mantenimiento para garantizar el buen desempeño de los empedrados fraguados durante su vida útil.

1.6 LIMITACIONES

- El desarrollo de la investigación estará enfocado únicamente a caminos rurales, vecinales y calles urbanas de circulación menor.
- Para la elaboración de esta investigación no se ha tomado en cuenta un tramo de prueba, realizando solamente visitas de campo a empedrados fraguados existentes y en construcción.
- El periodo de tiempo disponible para realizar la investigación no permite profundizar en un estudio de algunas propiedades de los agregados que se utilizarán para el diseño del empedrado fraguado, por lo que sólo se estudiará la gravedad específica y resistencia a la abrasión.

1.7 JUSTIFICACIONES

Las vías de comunicación son elementos esenciales para el desarrollo social y económico de un territorio, debido a que las condiciones y las características cuantitativas como cualitativas de éstas, son un parámetro para determinar muchas veces las situaciones en las que se encuentra una nación.

En El Salvador durante mucho tiempo se han estado construyendo empedrados fraguados, para los cuales a pesar de ser una técnica ampliamente utilizada por organismos de Gobierno no existe una metodología de diseño, especificaciones técnicas y un proceso constructivo normalizado para este tipo de estructuras, que cumpla con parámetros técnicamente aceptables para los materiales y agregados que se encuentran en nuestro país. Por lo que se ve la necesidad de la elaboración de especificaciones técnicas para la construcción y propuesta de metodología de diseño que deben cumplir para garantizar su buen desempeño.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1 INTRODUCCION

En este capítulo se presenta el marco teórico para empedrados fraguados, para lo cual es necesario realizar una investigación teórica de sus componentes, las condiciones que hacen viables estos empedrados y sus respectivas aplicaciones en diferentes caminos. Se presentan las normas de diseño para el trazado y secciones transversales de los diferentes caminos empleados en la construcción en los empedrados fraguados.

Para determinar el comportamiento de los suelos es necesario determinar los parámetros que poseen, los cuales nos puedan interesar en la rama de la ingeniería civil, realizando una investigación de los tipos de suelos que se pueden presentar, mediante una clasificación de suelos por Normativas conocidas como lo son las Normas AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportación) y Normas ASTM (Sociedad Americana para Pruebas de Materiales).

Así como también se presentan diferentes métodos de estabilización de subrasantes, en los casos donde las subrasantes no cumplen con los parámetros mínimos para la fundación de un empedrado fraguado sobre él, por lo que es necesario mejorar sus propiedades para que estos se puedan comportar de una mejor manera bajo el incremento de cargas debido a peso de la estructura de pavimento y tráfico, así como el comportamiento bajo condiciones atmosféricas.

2.2 EMPEDRADOS FRAGUADOS

2.2.1 Definición de empedrado fraguado

“Se llama empedrado fraguado al recubrimiento de la superficie de la vía con una capa de roca partida que se unen por medio de un material cementante para formar una superficie de rodadura resistente, estable y económica. El recubrimiento se efectuará sobre la capa de apoyo debidamente terminada y de acuerdo a los requerimientos técnicos”.

2.2.2 Clasificación de carreteras en el País

2.2.2.1 Ley de carreteras y caminos vecinales

Para la clasificación de las carreteras en El Salvador tomamos como referencia la Ley de Carretera y Caminos Vecinales que la Asamblea Legislativa de la Republica de El Salvador en el decreto N° 463, establece lo siguiente:

Atendiendo a su importancia y características geométricas las carreteras se subdividen en:¹

Especiales, que son todas aquellas que reúnen condiciones geométricas superiores a las primarias.

¹ Art. 3 de la Ley de Carretera y Caminos Vecinales

Primarias, las capacitadas para intensidades de tránsito superiores a dos mil vehículos promedio por día, con doce metros de plataforma, siete metros treinta centímetros de rodaje y un mínimo de siete metros noventa centímetros de rodaje en los puentes.

Secundarias, las capacitadas para intensidades de tránsito comprendidas entre quinientos y dos mil vehículos promedio por día, con nueve metros cincuenta centímetros de plataforma, seis metros cincuenta centímetros de rodaje y un mínimo de siete metros cuarenta centímetros de rodaje en los puentes.

Terciarias, aquellas cuya intensidad de tránsito está comprendida entre cien y quinientos vehículos promedio por día, con seis metros de plataforma, revestimiento de materiales locales selectos y un mínimo de seis metros cincuenta centímetros de rodaje en los puentes; y

Rurales, las capacitadas para una intensidad de tránsito de cien vehículos promedio por día, con cinco metros de plataforma y un mínimo de tres metros de rodaje en los puentes; o que, sin llenar tales características, dicha carretera haya sido construida por el Gobierno Central.

Camino vecinales o municipales:² son aquellos que no estando comprendidos en la clasificación del artículo anterior, comunican villas, pueblos, valles, cantones o caseríos entre sí o conectan éstos con cualquier carretera, los cuales en ningún caso podrán tener

² Art. 4 de la Ley de Carretera y Caminos Vecinales

menos de seis metros cincuenta centímetros de ancho; su construcción, mejoramiento y conservación corresponde a la Municipalidad de la respectiva jurisdicción.

Tabla 2.1: CLASIFICACION SEGUN SU IMPORTANCIA Y CARACTERISTICAS GEOMETRICAS

Clasificación	TPDA
Especiales	> 2,000
Primarias	> 2,000
Secundarias	2,000 - 500
Terciarias	500 - 100
Rurales	< 100
Caminos vecinales	-----

TPDA: Tránsito promedio anual

Fuente: Ley de Carreteras y Caminos Vecinales

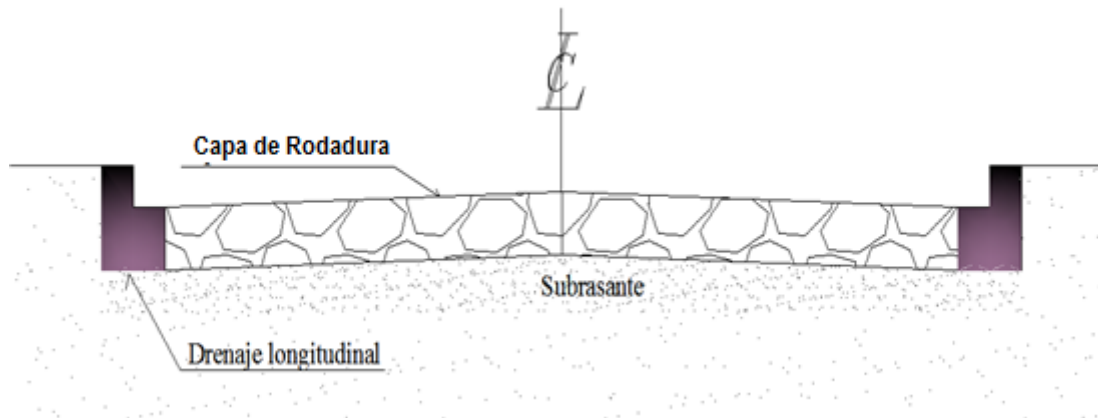
Vías de circulación menor: según el Reglamento de la ley de urbanismo y construcción en lo relativo a parcelaciones y urbanizaciones habitacionales son:

“Aquellas vías que permiten el acceso directo al lugar de destino y funcionan con velocidades restringidas a manera de estimular su utilización por el tránsito de paso”.

Las vías de circulación menor se dividen en: Vías de distribución, Vías de reparto y Vías de acceso.

2.2.3 Componentes del empedrado fraguado

Figura 2.1: COMPONENTES DEL EMPEDRADO FRAGUADO



Subrasante: Es la superficie del cuerpo del terraplén sobre la cual se coloca la superficie de rodadura. La subrasante está generalmente al nivel del material in situ. Esta puede ser natural o estabilizada.

Capa de Rodadura: Es la capa superior de la superficie del camino sobre la cual circulan los vehículos. Deberá ser durable, podrá tener una alta resistencia al resbalamiento. Esta capa estará compuesta por el empedrado fraguado

Drenaje longitudinal: Canaliza las aguas caídas sobre la superficie de rodadura en forma paralela a la calzada, transportándola hacia los cauces naturales. Este drenaje puede ser por medio de cunetas o cordón cuneta.

Drenaje transversal: son las estructuras de desagüe de las corrientes de agua interrumpidas por la infraestructura, de tal manera que permita la continuidad de la red de drenaje natural del terreno en el sentido transversal del flujo.

Badén: Depresión del terreno en un camino o carretera; suele formarse naturalmente por el paso de las aguas de lluvia, o estar construido para permitir el paso de una pequeña corriente de agua.

2.2.4 Condiciones técnicas y sociales

Para la ejecución de los empedrados, se deben tener en cuenta básicamente dos condicionamientos que viabilizan su ejecución.

2.2.4.1 Condiciones técnicas

- Es monolítico
- No existe un método de diseño
- Se utiliza en caminos rurales, vecinales y vías de circulación menor

Existen varios factores que inciden en la duración del empedrado fraguado, estos factores principalmente son: la calidad del suelo de fundación del empedrado, la calidad de los materiales, la buena ejecución del empedrado, la eficiencia del drenaje superficial y un plan adecuado de conservación y mantenimiento.

Debe señalarse que un empedrado es fácilmente ejecutable cuando las gradientes longitudinales del camino varían entre 2 y 8%, pudiendo realizarse en tramos con pendientes mayores.

Debido a que los empedrados se los construye directamente sobre la subrasante o suelo natural, la selección de una adecuada subrasante es tan importante como la ejecución en sí del empedrado.

Los suelos que prestan mejores condiciones para la ejecución de empedrados son los limos y arcillas de baja a media plasticidad. Estos son suelos con baja sensibilidad, lo que garantiza la duración del empedrado en épocas invernales. Estos suelos deben poseer características adecuadas de soporte, medidas con indicadores de resistencia del suelo como el CBR (California Bearing Ratio).

La roca es el material principal para la ejecución de estos trabajos, por lo que la identificación de minas o fuentes de materiales adecuadas a una distancia aceptable del centro de gravedad del proyecto garantiza el éxito del trabajo con un buen estándar económico.

El mejor material se puede obtener en depósito de arrastre en ríos, ahí la explotación se la puede realizar inclusive manualmente, obteniendo la máxima eficiencia en la explotación, además de lograr una altísima ocupación de mano de obra.

Otro mina de importancia son las de origen sedimentario clástico, como los conglomerados, donde se pueden encontrar importantes cantidades de piedra que se la puede explotar fácilmente con ayuda de maquinarias. Tampoco se debe descartar el material proveniente de los procesos de trituración.

2.2.4.2 Condiciones sociales

Uno de los principales beneficios que se logra con la ejecución de caminos empedrados es la ocupación de un alto componente de mano de obra calificada y no calificada. De hecho, dentro de los proyectos de infraestructura vial, los proyectos de empedrados son los que menor uso de maquinaria requiere.

Debido a que estos sistemas constructivos emplean una gran cantidad de mano de obra, la cual garantiza el mejoramiento de las condiciones de vida de los habitantes, quienes son contratados como parte de las cuadrillas de construcción, con la consecuente transferencia de tecnología y conocimiento, así como el mejoramiento de los niveles de ingreso por las remuneraciones que reciben.

2.2.5 Aplicaciones de los empedrados fraguados

Para los caminos a los cuales pueden ser aplicados los empedrados fraguados son:

- Caminos vecinales,
- Caminos rurales y
- Vías de circulación menor

Los cuales generalmente están contruidos de tierra, balasto y empedrados acuñados en malas condiciones.

2.3 SUBRASANTE

2.3.1 Diseño geométrico vial

2.3.1.1 Topografía

La localización de una carretera y sus elementos de diseño quedan condicionados a la topografía del corredor donde se desarrolla y a otros factores tales como el uso del suelo y los accidentes geográficos y las características físicas de la zona. La topografía constituye el factor más determinante en la localización física de un camino; generalmente afecta el alineamiento, la inclinación longitudinal de la plataforma de rodaje, el ancho de la sección transversal, las distancias de visibilidad del conductor y otros elementos esenciales del diseño. Las colinas y montañas, los valles pronunciados, los terrenos escarpados así como los ríos y quebradas imponen severas limitaciones a las tareas de localización y diseño. En terrenos planos, por el contrario, las limitaciones no dependen del relieve del terreno por sí mismo sino que, a menudo, por razones de dificultad en conducir eficientemente el agua lluvia en los sistemas de drenaje. En zonas montañosas se presenta la dificultad de que el trazo tiene tal grado de sinuosidad que reduce drásticamente la capacidad vial de la carretera, al obligar a velocidades de recorrido muy bajas y no permitir el rebase a vehículos lentos (vehículos pesados).

Otros factores que condicionan la localización de nuevas carreteras, caminos rurales o vecinales son las condiciones geológicas de la zona y los usos de los suelos. La geología, por su parte determina, condiciona la estabilidad de la plataforma de rodaje y la de los taludes, principalmente de corte. Suelos deleznable o muy fracturados son propicios a derrumbes y deslizamientos; suelos húmedos o capas freáticas muy superficiales pueden

ocasionar hundimientos y en otros casos deslizamientos de taludes de corte y terraplenes (rellenos compactados), a no ser que se construyan sistemas de subdrenes.

Dado que la topografía y los usos de los suelos son los factores más determinantes de las características geométricas de una vía, desde las etapas de planificación y diseño de una infraestructura vial deben tomarse las previsiones del caso a efecto de disponer de la información topográfica que lo más preciso posible el relieve del corredor o de la ruta y la localización de todas las edificaciones e instalaciones que puedan resultar afectados por el proyecto.

Los levantamientos topográficos son el arte de efectuar las mediciones necesarias para determinar las posiciones relativas de los puntos. Los levantamientos generalmente usados para el trazo de carreteras incluyen los levantamientos de la topografía de rutas que normalmente comienzan en un punto de control y avanzan hasta otro punto de control de la manera más directa que permiten las condiciones del terreno, la topografía hidrográfica determina las líneas de las riveras, la profundidad de los ríos y canales y las características naturales o artificiales en planta y elevación que se utilizan en la confección de los planos.

2.3.1.2 Trazado

Un trazado de una carretera está compuesto por una geometría horizontal y una geometría vertical. Por cuestiones de simplificación de los análisis y los cálculos usualmente los trazados se tratan como proyecciones ortogonales sobre un plano horizontal con lo que queda definido el alineamiento horizontal y un plano vertical y

paralelo a la curvatura horizontal en el cual se hace la proyección vertical del trazado a lo que se le ha denominado alineamiento vertical.

Alineamiento horizontal

El alineamiento horizontal por lo general está compuesto por tramos rectos y curvas circulares unidas, si las características importancia de la carretera así lo requieren, por curvas denominadas clotoides, comúnmente llamadas curvas espirales, y cuya función es proporcionar un gradual cambio de la dirección del vector velocidad de los vehículos en movimiento, desde un radio infinito, que es la definición de una recta tangente hasta una curvatura de cualquier radio de la curva circular.

En el diseño de planos se representa el alineamiento horizontal mediante el eje central del proyecto de la carretera, se incluyen los principales parámetros de cada curva horizontal: deflexión en grados, longitud de la subtangente, radio y longitud del arco; a los tramos tangentes igualmente se les anota sus estacionamientos de inicio y final entre curvas y su longitud.

Alineamiento vertical

El alineamiento vertical básicamente está compuesto por dos elementos: tangentes verticales y curvas verticales de tipo parabólicas. Usualmente se emplean curvas parabólicas en razón a que proporcionan un mayor confort al usuario, puesto que la parábola es una función cuadrática y la aceleración es proporcional al cambio de velocidad por unidad de tiempo, el efecto de ello es que no existen cambios en la aceleración en el plano vertical cuando el vehículo transita por una curva parabólica.

Con respecto a las tangentes verticales, existen algunas restricciones para el diseño, concretamente tangentes muy pronunciadas y muy largas producen acusadas reducciones de velocidad en los vehículos, principalmente los vehículos pesados. En tal sentido, un buen diseño es aquel que combina alternadamente alineamientos verticales moderados con alineamientos pronunciados, de manera tal de proporcionar zonas de descanso o recuperación de velocidad en los ascensos y en los descensos, ello disminuye el riesgo de pérdida del control de frenado o compresión del motor de los vehículos pesados.

En resumen cabe señalarse que para una velocidad de proyecto dada, entre más pequeño sea el radio de la curva circular mayor sobreelevación debe proporcionársele a la calzada.

2.3.1.3 Sección transversal

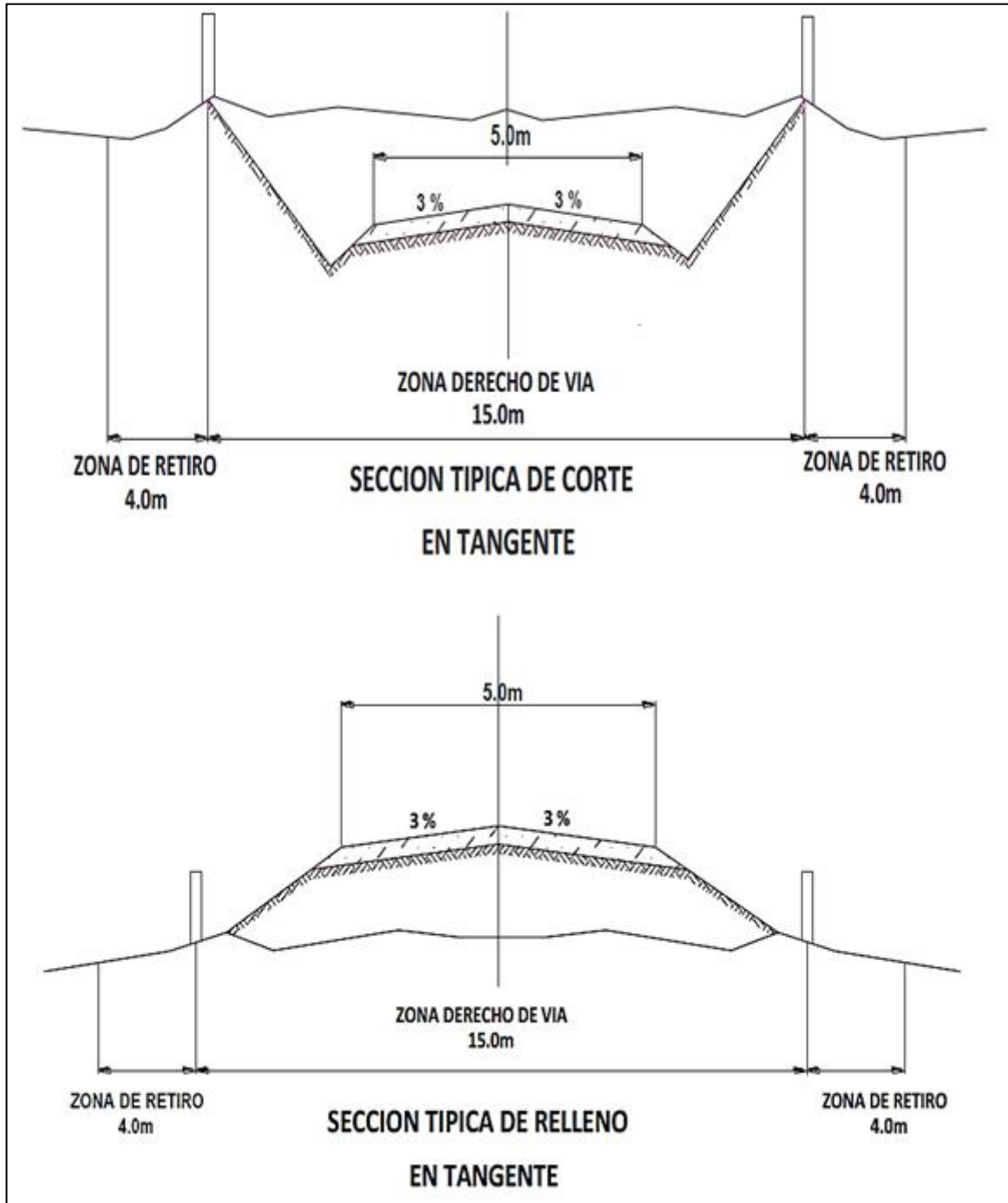
La sección transversal de una carretera queda definida por la proyección de sus elementos geométricos de la corona en un plano vertical y transversal al eje de la misma. La corona es el perfil que describen los pavimentos, los hombros, las cunetas y los taludes bien sea de corte o de relleno.

El ancho de carril ideal, es decir, aquel que provee la máxima capacidad, es de 3.65 m.; con respecto a los hombros, a partir de 1.80 m. de ancho en adelante ya no introducen efectos de reducción de capacidad a la vía. Los caminos rurales y vecinales, debido a que su demanda vial es muy baja, pueden disponer de anchuras de carril reducidas, por ejemplo 3.0 m. y hasta 2.75 m. sin embargo, esas restricciones reducen también la

capacidad de maniobra ante moderadas o altas velocidades e introducen un mayor nivel de riesgo de colisión frontal. De cualquier manera, bien se trate de bajos volúmenes de tráfico o moderados volúmenes de tráfico, para curvas muy cerradas (radios de curvatura pequeños) lo recomendable es proveerles de ensanchamientos a la calzada (sobreanchos). La diferencia entre un diseño de tipo rural y uno de tipo urbano es que el diseño rural, en la mayoría de los casos solo dispone de hombros y no de aceras para los peatones, puesto que el volumen es realmente bajo, caminar por los hombros en cierta medida no representa un mayor peligro; sin embargo para aquellas carreteras que experimentan acusados incrementos en sus volúmenes, lo recomendable, además del hombro es construir las aceras laterales (junto al borde exterior del hombro). Para el caso de la sección transversal de arterias urbanas, se puede prescindir de los hombros, debido a que las velocidades en las zonas pobladas tienen que ser reguladas; y ante esa poca exigencia, el hecho de prescindir de los hombros no tiene efectos mayores en la reducción de capacidad. De lo que no puede prescindir un diseño urbano es de las aceras peatonales.

A continuación se presenta un resumen de las Normas de Diseño para los diferentes caminos:

Figura 2.2: SECCION TRANSVERSAL TIPICA DE CAMINO RURAL

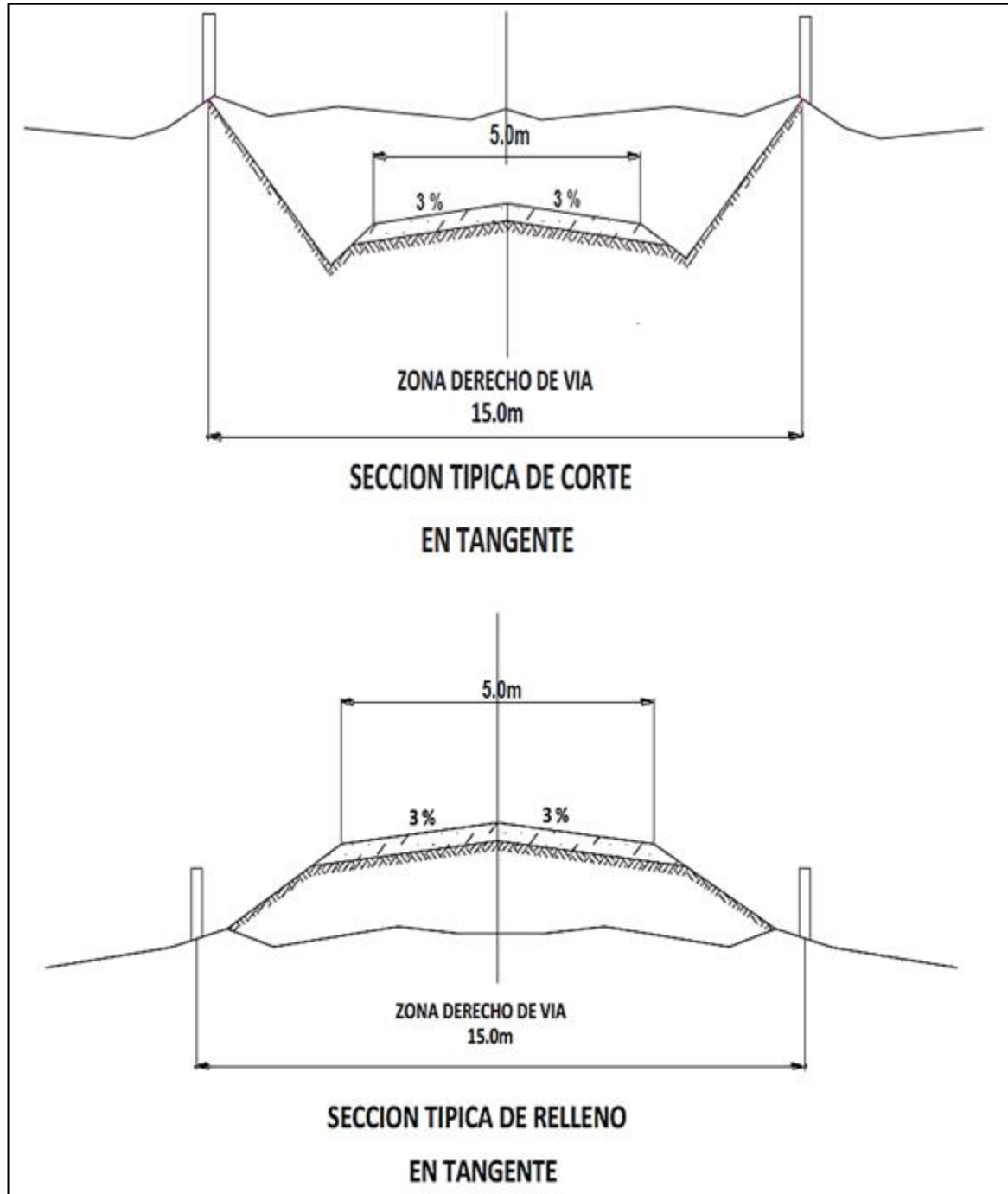


Fuente: Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano de El Salvador

Tabla 2.2: NORMAS DE DISEÑO CLASIFICACION CAMINO RURAL

CRITERIO DE DISEÑO	TERRENO PLANO	TERRENO ONDULADO	TERRENO MONTAÑOSO
Velocidad de diseño	50 km/h	40 km/h	30 km/h
Pendiente máxima	6.0 %	8.0 %	12.0 %
Radio mínimo	67.00 m	53.00 m	20.00 m
Distancia mínima de visibilidad	90.00 m	60.00 m	45.00 m
Ancho de la vía	5.00 m	5.00 m	5.00 m
Ancho de rodamiento en los puentes	3.00 m	3.00 m	3.00 m
Ancho de la zona de derecho de vía	15.00 m	15.00 m	15.00 m
Ancho de la zona de retiro	4.00 m	4.00 m	4.00 m
Carga de diseño para puentes	H1544	H1544	H1544
Tipo de superficie	REVESTIDA		

Fuente: Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano de El Salvador

Figura 2.3 SECCION TRANSVERSAL TIPICA DE CAMINO VECINAL

Fuente: Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano de El Salvador

Tabla 2.3: NORMAS DE DISEÑO CLASIFICACION CAMINO VECINAL

CRITERIO DE DISEÑO	TERRENO PLANO	TERRENO ONDULADO	TERRENO MONTAÑOSO
Velocidad de diseño	50 km/h	40 km/h	30 km/h
Pendiente máxima	7.0 %	10.0 %	15.0 %
Radio mínimo curvas horizontales	67.00 m	52.00 m	22.00 m
Distancia mínima de visibilidad	90.00 m	60.00 m	45.00 m
Ancho de la vía	5.00 m	5.00 m	5.00 m
Ancho de rodamiento en los puentes	3.00 m	3.00 m	3.00 m
Ancho de la zona de derecho de vía	15.00 m	15.00 m	15.00 m
Carga de diseño para puentes	H1544	H1544	H1544
Tipo de superficie	REVESTIDA		

NOTA: La pendiente máxima (15%) no podrá tener una longitud mayor de 200 m, debiendo tener después un descanso de no menor de 300 m con una pendiente máxima de 5 %

Fuente: Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano de El Salvador

Tabla 2.4: VIAS DE CIRCULACION MENOR

CLASE DE LA VIA	TIPO DE VIA	TIPO DE PARCELACION	MAXIMA CANTIDAD VIVIENDAS SERVIDAS	LONGITUD MAXIMA (M)	LONGITUD MINIMA DE CRUCE (M)	VELOCIDAD DE DISEÑO (Km/h)	PENDIENTE MAXIMA (%)	DERECHO DE VIA (M)	ARRIATE (M)	ACERA (M)	ESTACION Y RODAJE	MINIMA ALTURA DE PUNTO DE LUZ
VIAS DE DISTRIBUCION	COLECTORA	TODO TIPO	----	----	150	50	8 - 18	26 - 50	5.25	1.50	13.00	10.00
	LOCAL	HIS Y HP HR - 40 HR - 20 HR - 10 HR - 05	640 425 160 130 120	1800 1500 750 750 1200	100	50	8 - 18	17.00	1.50	1.50	11.00	10.00
VIAS DE REPARTO	VECINAL	HIS Y HP HR - 40 HR - 20 HR - 10 HR - 05	640 400 170 130 100	900 750 375 375 600	80	40	8 - 18	15.00	1.50	1.50	9.00	7.50
	RESIDENCIAL	HIS Y HP HR - 40 HR - 20 HR - 10 HR - 05	480 260 110 90 80	600 450 250 250 375	60	40	8 - 18	13.50	1.50 un arriate	1.50 Y 2.00	8.50	7.50
VIAS DE ACCESO	PASAJE VEHICULAR	HIS Y HP HR - 40 HR - 20 HR - 10 HR - 05	320 200 80 65 50	450 375 180 180 225	----	30	8 - 18	12.50	1.00 un arriate	1.50	8.50	5.00
	SENDA VEHICULAR	HIS Y HP HR - 40 HR - 20 HR - 10 HR - 05	120 30 15 10 10	300 100 50 50 75	----	15	8 - 18	9.50	0.50 a 1.50	1.00	6.50 / 5.50 y 6:00	4.00
	PASAJE PEATONAL	HIS Y HP HR - 40	80 30	150 100	----	----	8 - 18	3.0/4.0/5.0/5 /5.0	1:00 a 3:00	1.00	----	3.50
	PASAJE DE PASO	TODO TIPO	----	DOS FONDOS DE LOTE	----	----	----	2.50	----	1.20	----	3.50

FUENTE: Reglamento de la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS)

2.3.2 Geotecnia

2.3.2.1 Generalidades sobre los suelos

Definición de suelo

“Desde el punto de vista de la ingeniería, suelo es el sustrato físico sobre el que se realizan las obras, del que importan las propiedades físico-químicas, especialmente las propiedades mecánicas. Además se diferencia del término roca al considerarse específicamente bajo este término un sustrato formado por elementos que pueden ser separados sin un aporte significativamente alto de energía”

Composición de los suelos

Un suelo está constituido por tres partes, una parte sólida, otra líquida y otra gaseosa. La parte sólida está formada en su mayoría por minerales del suelo, la parte líquida está compuesta por el agua, aunque en el suelo puedan existir otros líquidos de menor significación, la parte gaseosa la comprende principalmente el aire, pero también pueden estar presentes otros gases (vapores sulfuros, anhídrido carbónico, etc.).

Figura 2.4 COMPOSICION DE LOS SUELOS



Fuente: Fundamentos de la mecánica de suelos, Juárez Badillo, Tercera Edición

Suelos plásticos

Existen suelos que al cambiar su contenido de agua, adoptan una consistencia característica, que desde épocas antiguas se ha denominado plasticidad. Estos suelos han sido llamados arcillas. La plasticidad es, en este sentido, una propiedad tan evidente que ha servido para clasificar suelos en forma puramente descriptiva.

Origen de los suelos

Dependiendo del origen de sus elementos, los suelos se dividen en dos grandes grupos, que son los siguientes: *Suelos Residual*, cuando los productos de la descomposición de las rocas permanecen en el mismo lugar de origen aun afectadas por su degradación y *Suelos Transportados*, cuando los productos de la descomposición de las rocas son transportados hacia otro lugar generalmente lejos del origen.

A continuación se describen los suelos más comunes, con el nombre generalmente utilizados para su clasificación en el terreno.

Las Arenas y las Gravas: Son suelos de fragmentos granulares, redondos o angulosos, poco o nada alterados de rocas minerales. Estos suelos no poseen cohesión entre sus fragmentos.

Los limos: Son suelos de grano fino (material que pasa malla No 200), pero con plasticidad menor a la que presenta una arcilla, los cuales generalmente cuentan con materia orgánica finamente dividida. Algunas veces contienen fragmentos visibles de materia vegetal parcialmente descompuesta o de otros elementos orgánicos.

Las Arcillas: Son suelos formados de partículas derivadas de la descomposición química y mineralógica que sufren los constituyentes de las rocas, generalmente por intemperismo. Son suelos plásticos cuando están húmedos y cuando están secos son muy duros, tienen además permeabilidad extremadamente baja.

2.3.2.2 Clasificación de los suelos en base a Norma AASHTO M 145-03³

Se efectuará bajo el sistema AASHTO M 145-03³ que ha sido concebido para estudios de caminos.

De acuerdo con el tamaño de las partículas que forman los suelos, la norma AASHTO M 145-03³, los clasifica de la siguiente manera:

- Grava: de un tamaño menor a 76.2mm (3") hasta el tamiz No 10 (2 mm).
- Arena Gruesa: de un tamaño menor a 2mm hasta el tamiz No 40 (0.425 mm).
- Arena Fina: de un tamaño menor a 0.425mm hasta el tamiz No 200 (0.075 mm).
- Limos y Arcillas: tamaños menores de 0.075 mm.

La norma AASHTO M 145-03³, clasifica los suelos basándose en sus propiedades mecánicas principalmente, los divide en siete grupos diferentes, designados desde el A-1 hasta A-7, como a continuación se presenta:

³ AASHTO M 145-03: Sistema de clasificación de suelos y agregados para la construcción de carreteras

Tabla 2.5 CLASIFICACION DE SUELOS SEGUN AASHTO M 145⁴

Clasificación General	Suelos Granulares 35% máximo que pasa por tamiz 0.075 mm							Suelos Finos más del 35% pasa por el tamiz de 0.075 mm			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo de Clasificación	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
% Que pasa por el tamiz de:											
2 mm (No 10)	50 máx.	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.0425 mm (No 40)	30 máx.	50 máx.	51 min.	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0.075 mm (No 200)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características de fracción que pasa el tamiz											
0.045 mm (No 10) Límite Líquido	-----	-----	-----	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de Plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.
Tipo de material	piedras, gravas		arena fina	gravas y arenas limosas o arcillosas				suelos limosos		suelos arcillosos	
Estimación general de suelo	Excelente a Bueno							De pobre a malo			

Fuente: Clasificación de suelos (Norma AASHTO M 145)

El suelo A-1, es un suelo de propiedades óptimas para ser usado en las capas que conforman la estructura de un pavimento y en su orden ascendente de numeración, su comportamiento va decreciendo hasta llegar al suelo A-7, cuya aplicación en carreteras no es recomendable.

⁴ AASHTO M 145: Sistema de clasificación de suelos y agregados para la construcción de carreteras

Descripción de los grupos y sub grupos contemplados en la norma AASHTO M 145-03⁵.

Materiales granulares

A-1 Son suelos bien graduados de tamaños gruesos y finos, con un débil aglomerante plástico.

A-1-a En estos se incluyen materiales predominantes de fracción de rocas o grava, con o sin aglomerante.

A-1-b El material predominante es arena gruesa, con o sin un buen aglomerante. Algunos suelos del grupo A-1 carecen de finos, de manera que deberá agregar cierta cantidad de finos para formar una sub base de buena calidad.

A-2 Estos se componen por una amplia porción de materiales granulares que no pueden clasificarse en el grupo A-1 por su contenido de finos y plasticidad. Contienen materiales granulares con cantidades considerables de arcillas, los suelos del grupo A-2 son inferiores a los del grupo A-1 debido a su menor graduación y menos aglomerantes. En periodo seco los suelos A-2 son muy estables como superficie de rodamiento, pero esto depende de la clase de aglomerante, sin embargo en periodos húmedos se pueden ablandar y en periodos secos se pueden disgregar y formar polvaredas.

⁵ AASHTO M 145-03: Sistema de clasificación de suelos y agregados para la construcción de carreteras

A-2-4 y A-2-5 incluyen diversos materiales granulares que contienen un 35 por ciento máximo de material que pasa el tamiz 0.075 mm (No 200)

A-2-6 y A-2-7 Incluyen materiales similares a los descritos en los subgrupos A-2-4 y A-2-5, excepto que la porción fina suelo cuenta con arcilla plástica de características similares a los grupos A-6 o A-7.

A-3 Estos suelos están compuestos de arenas deficientes en aglomerantes, como la arena de las playas. Se encuentran a menudo y son muy inestables excepto cuando están húmedos. Cuando se encuentran confinados son apropiados como bases para cualquier tipo de pavimentos.

Materiales limo-arcillosos

A-4 Son suelos muy comunes, predominan los limos con ligeros porcentajes de material grueso y pequeñas cantidades de arcilla.

A-5 Estos suelos se encuentran en muy pocas ocasiones, son muy parecidos a los del grupo A-4, excepto porque contienen mica y diátomas que los vuelven muy elásticos e inestables aun en estado seco, lo que los hace tenaces a la compactación.

A-6 El típico material de este grupo es un suelo arcilloso plástico, que tienen el 35 por ciento o más de material que pasa el tamiz de 0.075 mm (No 200). Los materiales de este grupo suelen tener gran cambio volumétrico, cuando se tiene presencia de humedades altas en el suelo, debido a la presencia de arcillas.

A-7 Estos suelos están compuestos principalmente de arcilla como son los del grupo A-6, pero se diferencia de estos por la presencia de partículas uniformes de limo, materia orgánica y mica, lo que los hace muy elásticos.

A-7-5 Estos suelos del grupo A-7 tienen índices de plasticidad moderados en relación con límites líquidos, y pueden ser elásticos y expansivos.

A-7-6 Son suelos expansivos con altos índices de plasticidad en relación a los límites líquidos.

2.3.2.3 Clasificación de los suelos en base a Norma ASTM D 2487-00⁶

Este sistema de clasificación de suelos al igual que la clasificación AASHTO M 145-03⁷ describe los suelos para propósitos ingenieriles con base en la determinación en laboratorio del tamaño de partículas, generando así dos grandes grupos de suelos que a continuación se presenta.

Suelo de grano fino, si el 50% o más del peso seco de la muestra pasa por el tamiz No 200 (75 μm).

Suelo de grano grueso, si más del 50% del peso seco de la muestra se retiene en el tamiz N° 200 (75 μm).

⁶ ASTM D 2487-00: Clasificación de suelos para propósitos de ingeniería

⁷ AASHTO M 145-03: Sistema de clasificación de suelos y agregados para la construcción de carreteras

Aparte del tamaño de las partículas otro parámetro que sirve para generar la clasificación SUCS⁸ en un suelo de grano fino son los límites de consistencia que presenta el suelo analizado.

A continuación se describe el significado de los grupos y siglas de la representación SUCS⁸:

⁸ SUCS: *Sistema unificado de clasificación de suelos*

Tabla 2.6 CLASIFICACION DE SUELOS SEGUN ASTM D 2487

DIVISIONES PRINCIPALES		SIMBOLO	NOMBRES TIPICOS
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS MAS DEL 50% ES RETENIDO EN LA MALLA No 200	Gravas 50% o mas de la fracción gruesa se retienen en la malla No 4	Gravas limpias	GW Gravas bien graduadas. Mezclas de grava y arena con poco o nada de finos
			GP Gravas mal graduadas. Mezclas de grava y arena con poco o nada de finos
		Gravas con finos	GM Gravas limosas. Mezclas de grava y arena con poco o nada de finos
			GC Gravas arcillosas. Mezclas de grava, arena y limo
	Arenas mas del 50% de la fracción gruesa pasa la malla No 4	Arenas limpias	SW Arenas bien graduadas. Arenas con grava con poco o nada de finos
			SP Arenas mal graduadas. Arenas con grava con poco o nada de finos
		Arenas con finos	SM Arenas limosas. Mezcla de arena y arcilla
			SC Arenas arcillosas. Mezcla de arena y arcilla
SUELOS DE GRANO FINO 50% O MAS PASA LA MALLA No 200	Limos y Arcillas con Límite Líquido $LL < 50\%$	ML Limos inorgánicos. Arenas muy finas, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos	
		CL Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad. Arcilla con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas	
		OL Limos orgánicos. Arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	
	Limos y Arcillas con Límite Líquido $LL \geq 50\%$	MH Limos inorgánicos. Limos micáceos y diatomáceos, limos elásticos	
		CH Arcillas inorgánicas de alta plasticidad. Arcillas francas	
		OH Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad. Limos orgánicos de media plasticidad	
Suelos con elevada proporción de materia orgánica		PT Turba y otros suelos altamente orgánicos	

Fuente: Cuadro resume conforme a la Norma ASTM D-2487

2.3.2.4 Caracterización de los suelos

La caracterización de los suelos se lleva a cabo por medio de dos tipos de parámetros conocidos como parámetros de naturaleza y parámetros de estado. A continuación se describe cada uno de ellos:

Parámetros de naturaleza

Se caracterizan porque no varían ni con el tiempo ni a lo largo de las manipulaciones que puedan realizarse a los suelos durante los trabajos, los más importantes son:

Variación volumétrica: muchos suelos se expanden y se contraen debido a los cambios en su contenido de humedad. Las presiones de expansión se desarrollan debido a incrementos en la humedad, los cuales deben de ser controlados, ya que estas presiones pueden levantar pavimentos, inclinar postes, fracturar muros, romper tubos de drenaje, etc.; por lo cual, es de suma importancia detectar los suelos expansivos, su composición y el tratamiento más adecuado a seguir para evitar dichos problemas.

Permeabilidad: se consideran importantes las presiones de poro y los relacionados con el flujo de agua a través del suelo; ya que estos dos fenómenos provocan su debilidad en su resistencia o su estabilidad.

Granulometría: son los tamaños de los granos que participan (como porcentaje de peso total) de la composición del suelo que representan. Las propiedades físicas y mecánicas de los suelos son función directa de su granulometría y su determinación es

fundamental para establecer su comportamiento mecánico, principalmente cuando se someten a cargas directamente.

Plasticidad: es la propiedad que tiene el suelo para cambiar de forma (dentro de un rango de humedad dado) y mantener sin perder volumen ni romperse cuando se someten a fuerzas de compresión.

Límites de A. Atterberg

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos. El nombre de estos es debido al científico sueco Albert Mauritz Atterberg. (1846-1916).

Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir 4 estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido, cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico, y finalmente líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg.

Las propiedades de un suelo formado por partículas finamente divididas, como una arcilla no estructurada, depende en gran parte de la humedad. El agua forma una película alrededor de los granos y su espesor puede ser determinante para el comportamiento del material.

Para interpretar mejor estos límites se tomará de ejemplo una masa de arcilla. Cuando está tiene mucha cantidad de agua podríamos decir: se encuentra en estado líquido pues

la arcilla se escurre con la facilidad de una masa líquida, pero a medida que se evapora el agua que contiene, va haciéndose un tanto plástica. Existe un momento en que la masa de arcilla pasa de estado “líquido” al estado “plástico”. Este límite entre los estados “líquido” y “plástico” se halla representado por el contenido de humedad del suelo y se llama límite líquido.

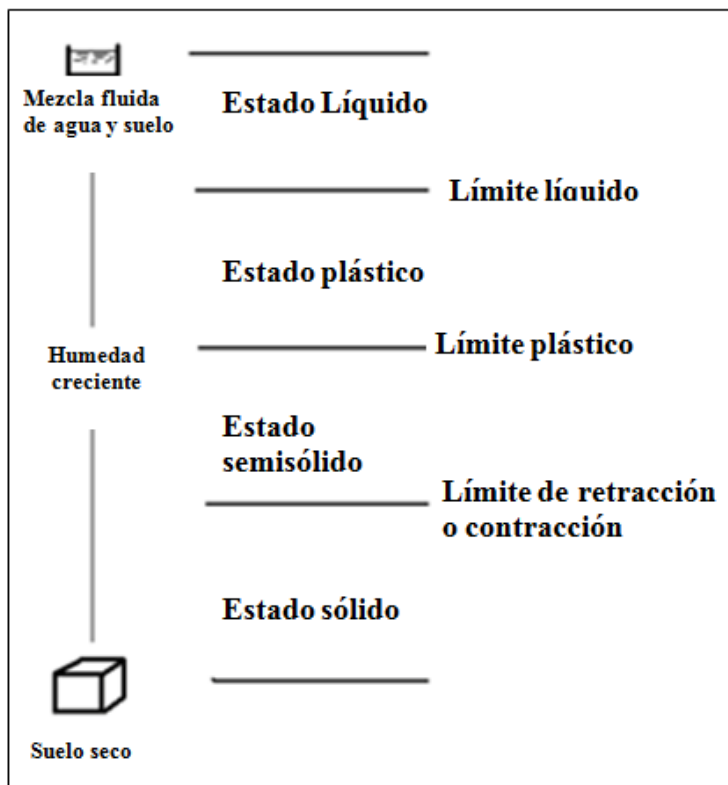
Si continua la evaporación de agua, la arcilla perderá plasticidad y llegar a secarse hasta adquirir una consistencia semisólida. Este paso del estado plástico al semisólido se le llama límite plástico, su valor está dado por el contenido de humedad que tiene la arcilla en tal estado límite.

Para luego tener un último límite que se encuentra en la frontera del estado semisólido al estado sólido, conocido como límite de contracción.

- Límite líquido (LL): 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.
- Límite plástico (LP): el límite plástico de un suelo es el más bajo contenido de agua en el que el suelo sigue presentando plasticidad.
- Límite de contracción (Lc): es el contenido de humedad por debajo del cual no se produce reducción adicional de volumen o contracción en el suelo.

En la siguiente figura se presenta los diferentes límites con los que puede contar un suelo, así como la transición de los estados en donde estos ocurren.

Figura 2.5: REPRESENTACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG



Índice de plasticidad (IP): es una medida de la cantidad de agua que puede absorber un suelo antes de disolverse en una solución. Mientras más alto es este número, el material es más plástico y más débil. Generalmente la cal reacciona con suelos plástico que tengan un IP entre 10 a 50, reduciendo así significativamente el IP, creando de esta manera un nuevo material con resistencia estructural. Suelos con IP menores a 10, usualmente, no reaccionan tan fácilmente con la cal.

El IP se mide por dos pruebas simples en la mecánica de suelo: el límite líquido y el límite plástico; la diferencia entre los dos es el Índice de Plasticidad.

Parámetros de estado

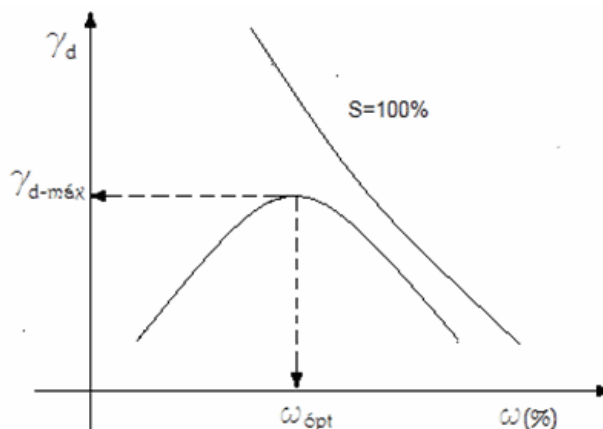
Estos parámetros no son propios de las características del suelo sino de las condiciones ambientales en que se encuentran. Para los suelos sensibles al agua, el parámetro de estado que determina todas las condiciones de los rellenos, terraplenes y explanadas en las redes viales es el ESTADO HÍDRICO. Su determinación no puede hacerse exclusivamente con el cálculo del contenido en agua natural, sino que es necesario relacionarlo con el contenido de agua específico de suelo al que le corresponde un comportamiento particular. El método más corriente para indicar el estado hídrico de un suelo es referirse a los valores de los ensayos PROCTOR y CBR, realizados sobre cada suelo o clase de suelo a estudiar.

Resistencia mecánica: en los suelos la humedad es muy importante porque determinan la capacidad de estos para resistir las cargas y mantener su estructura en condiciones estables de trabajo hasta ciertas humedades, los suelos pueden mantener resistencias aceptables pero cuando hay excesos de agua se debilitan y pierden la resistencia, que se manifiestan en hundimientos, grietas, cuarteamientos, hinchamientos, etc.

En la época húmeda (invierno) los suelos se vuelven débiles, ya que el agua que absorben los hace perder resistencia hasta llegar a la saturación. En la época seca (verano) pierden humedad y se vuelven muy duros o muy resistentes pero en la superficie donde los vehículos circulan, la acción abrasiva de las llantas hace que se genere la soltura de las partículas de suelo abundantemente para producir capas de polvo, con lo cual el deterioro superficial llega a ser severo.

La compactación (ensayo próctor): cuando se compacta un suelo con una energía de compactación dada, se comprueba que su densidad seca, referida al suelo en estado seco, varía en función del contenido en agua hasta alcanzar un máximo de densidad correspondiente a un contenido de humedad que se denomina óptimo. Para alcanzar igual densidad con una humedad distinta a la óptima hay que emplear mayor energía de compactación.

Figura 2.6: GRAFICO DENSIDAD-HUMEDAD



La capacidad portante (ensayo CBR): consiste en medir la resistencia al punzonamiento de un suelo sobre las probetas confeccionadas por el procedimiento del ensayo proctor y comparar los valores obtenidos con un valor de referencia patrón. Se mide así la capacidad portante del suelo o lo que es lo mismo su capacidad de soportar una carga para cada pareja de valores de densidad - humedad. Se expresa por el índice portante CBR en % del valor de referencia. Cuanto más elevado es el CBR más capacidad portante tiene el suelo.

2.3.3 Estabilización de suelos

2.3.3.1 Definición de estabilización de suelos

“Es el conjunto de procesos físicos, químicos, y físico-químicos tendientes a modificar las propiedades de los suelos que interesan para un determinado uso en ingeniería, haciendo que el material suelo sea adecuado para la utilización prevista reemplazando a otros materiales no disponibles o más costosos”

2.3.3.2 Estabilización de suelos mediante la adición de cal

Tipos de tratamientos de suelos con cal

Hay varios tipos posibles de tratamientos de suelos con cal, en función de los objetivos a conseguir: el secado, la modificación, estabilización y estabilización mixta.

Secado de suelos: en el caso de suelos arcillosos con exceso de humedad, la adición de cal viva o cal hidratada disminuye el contenido de agua por la acción combinada de:

- a) Aporte de producto seco,
- b) Consumo del agua necesaria para hidratarse y formar hidróxido cálcico, y
- c) Evaporación de agua debida a la reacción anterior, fuertemente exotérmica.

Mejora por modificación: se trata de una modificación inmediata de las propiedades geotécnicas, reduciendo en un corto periodo de tiempo (minutos/horas) la cantidad de agua retenida por la arcilla y mejorando su trabajabilidad. En los suelos plásticos donde se aplica cal, se aprecia que el suelo pierde su carácter pegajoso y toma un aspecto arenoso, mejorando enormemente su trabajabilidad y compactibilidad, mejorando

también la capacidad portante. La dosificación necesaria de cal oscila entre el 1% y el 3%.

Estabilización: consiste en una mejora a largo plazo (meses/años) por cementación, en función de la temperatura ambiente y de la naturaleza de la arcilla, aumentando la capacidad portante del suelo con el fin de poder emplearlo en capas más solicitadas. De esta forma pueden obtenerse subrasantes con buenas propiedades estructurales que van incrementándose en el tiempo, a la vez que hace insensible la capa estabilizada al agua. El objetivo principal de la cal en un suelo, es elevar su valor de pH hasta un valor de 12.4. Los porcentajes necesarios de cal oscilan entre el 2% y el 8%.

Estabilización mixta: cualquiera de los efectos anteriores, conjunta o separadamente, pueden aprovecharse para mejorar el efecto de las cales sobre ciertos suelos cuando se van a tratar con otros ligantes, como suele ser el caso del cemento.

Ventajas del uso de cal como estabilizador de suelo

El tratamiento de suelos plásticos con cal viva o hidratada en cualquier obra de movimiento de tierras, correspondiente a cualquier tipo de estructura, permiten obtener una serie de ventajas técnicas y económicas:

- a) Posibilidad de reutilización de los suelos disponibles del lugar, disminuyendo la necesidad de préstamo.
- b) El empleo de la cal incrementa la capacidad portante de los suelos aumentando su CBR.

- c) Otra ventaja muy importante de la estabilización con cal frente al empleo de otros conglomerantes, es que no presenta un fraguado rápido, lo cual permite una gran flexibilidad en la organización de las distintas fases de ejecución: extendido, mezclado y compactado.
- d) Permite consistencia estable de los suelos bajo el efecto de las lluvias prolongadas.
- e) Favorece al secado de los suelos muy húmedos.
- f) Reduce la plasticidad.
- g) Beneficia la compactación de los suelos con humedades muy altas.
- h) Reducción de cambios volumétricos.

2.3.3.3 Estabilización de suelos mediante la adición de cemento portland

Suelo cemento

Según el ACI⁹: “El suelo cemento se define como una mezcla de suelo y una cantidad medida de cemento portland y agua, compactada a una alta densidad”.

Según la PCA¹⁰: “El suelo cemento es una mezcla altamente compactada de suelo/agregado, cemento portland, y agua”.

⁹ ACI: American Concrete Institute

¹⁰ PCA: Portland Cement Association

Suelo mejorado o modificado con cemento

Se utiliza como tratamiento de subrasantes o explanadas, y se define como una mezcla de suelo y una cantidad pequeña de cemento, generalmente menor al 2% en peso, que se utiliza con la finalidad de mejorar algunas propiedades ingenieriles de los suelos, como reducir cambios volumétricos, incrementar ligeramente el CBR, y reducir el índice de plasticidad.

El suelo modificado o mejorado con cemento, se utiliza generalmente en el tratamiento de suelos de grano fino, plásticos y a veces con humedades naturales excesivas, que presentan dificultades de compactación, expansividad y baja capacidad de soporte.

Suelo estabilizado con cemento

Se utilizan también, como tratamiento de subrasantes o explanadas, se definen como una mezcla de suelo, cemento y agua, cuya cantidad mínima en peso es del 2%. Este tipo de mezclas, logra una resistencia y rigidez apreciable, especialmente si la fracción granular del suelo es considerable, obteniéndose un material insensible al agua, estable y capaz de resistir a largo plazo las deformaciones producidas por el tráfico.

Ventajas en el uso del suelo cemento

Dentro de principales ventajas que tiene el suelo cemento en las estructuras de pavimentos están:

- *Material Durable:* registros de su comportamiento, indican que el suelo cemento presenta una mayor durabilidad que otros materiales de pavimentos de similar costo inicial.

- *Mayor uso de materiales locales:* el suelo cemento permite la utilización de gran cantidad de tipos de suelo para su elaboración, lo que permite reducir considerablemente los costos de transporte de material de aporte y aumentar los rendimientos de construcción.
- *Menor impacto ambiental:* debido a la menor dependencia en la explotación de bancos de material.
- *Mayor rigidez y distribución de carga aplicada al pavimento:* las propiedades de las mezclas de suelo cemento, permiten distribuir la carga aplicada en un área mayor, comparado con una distribución de carga en una base granular, por tanto, es posible contar con estructuras de pavimentos menos robustas o con un menor número de capas, lo cual implica ahorros en el costo total de la estructura y menores tiempos de ejecución.
- *Resistencia a los agentes atmosféricos:* ha sido notable su prolongada durabilidad bajo condiciones adversas, se ha probado en forma exhaustiva en los climas más difíciles, por lo que se ha usado frecuentemente en lugares con condiciones climáticas muy desfavorables.
- *Aumento de Resistencia y menores intervenciones de mantenimiento:* la experiencia ha demostrado, que las propiedades mecánicas del suelo cemento incrementan con el tiempo, lo que favorece que el mantenimiento del pavimento sea mínimo, obteniéndose una prolongada vida útil, y reducción en el costo total de la estructura del pavimento.

Los inconvenientes más notables que presenta el suelo cemento son:

- Si no es diseñado, dosificado y controlado adecuadamente, puede producir demasiada contracción y agrietamiento que se refleje en las capas de rodadura bituminosa.
- Se debe seleccionar el tipo de cemento adecuado y realizar el número de pruebas necesarias, antes de pretender construir capas de suelo cemento con suelos de mediana a alta plasticidad, ya que el mezclado de suelo y cemento podría resultar muy difícil.
- El tiempo para ejecutar el mezclado, conformación y compactación, está limitado a evitar el fraguado anticipado del cemento.

Propiedades

Densidad: es usualmente medida en términos del peso volumétrico seco máximo, el cual es utilizado como uno de los parámetros de control de campo. La relación humedad óptima-densidad máxima, puede variar para un mismo tipo de suelo y contenido de cemento si se cambia la energía de compactación. Un suelo granular no plástico, con un peso volumétrico seco máximo relativamente alto, será una excelente opción cuando se trate de cumplir parámetros estructurales muy exigentes.

Resistencia a la compresión simple: en mezclas de suelo cemento, es un indicador del grado de reacción del suelo-cemento-agua y la relación de endurecimiento respecto al tiempo. Los valores obtenidos dependen de muchos factores, entre ellos están:

- El contenido y tipo de cemento

- La energía de compactación aplicada.
- La eficiencia lograda en el mezclado.
- El tipo y cantidad de materia orgánica, sales y materiales deletéreos existentes en el suelo.
- Cantidad y calidad del agua.
- El tiempo transcurrido después de realizado el mezclado y compactación.
- La duración y forma de hacer el curado.
- Las medidas consideradas para disminuir el agrietamiento.
- Tamaño y forma del espécimen de ensayo.

Resistencia a flexión: la resistencia a la flexión varía directamente con la resistencia a la compresión simple y con el peso volumétrico seco máximo de la mezcla, ACI 230.1R¹¹ sugiere la siguiente ecuación como una "buena aproximación" entre la resistencia a compresión y la resistencia a la flexión:

$$R = 0.51 (F'c)^{0.88}$$

Dónde:

R = Resistencia a la Flexión en psi

F`c = Resistencia a la compresión simple en psi.

Permeabilidad: esta dependerá principalmente del tipo de suelo, contenido de cemento y de una compactación adecuada. Las mezclas de suelo cemento elaboradas con suelos

¹¹ ACI 230.1R: Informe sobre el suelo cemento

finos, son las que presentan y mantienen con el tiempo una menor permeabilidad, valores típicos de coeficiente de permeabilidad K , en mezclas de suelo cemento elaboradas con suelos areno-limosos, varían de 0.4 a 3×10^{-6} cm/sec., el porcentaje de cemento en estos casos corresponde a valores inferiores al 5% en peso.

Contracción: la contracción en las mezclas de suelo cemento es el resultado de la pérdida de agua por secado y de las reacciones ocurridas durante la hidratación del cemento. Los factores que influyen en el nivel de severidad y grado de agrietamiento son numerosos y complejos, entre ellos están: el tipo y cantidad de cemento utilizado, el contenido de agua aplicado en el campo, las propiedades de los agregados, los procedimientos de curado realizados, condiciones de clima y tiempo de colocación

Diseño de mezclas

Existen diversos métodos para realizar el diseño de mezclas de suelo cemento, la mayoría de los cuales tienen como requerimiento principal el cumplimiento de una resistencia a compresión y de aspectos relacionados con la durabilidad de la mezcla. El procedimiento general o común en los métodos de diseños de mezclas se fundamenta en lo siguiente:

Determinar la granulometría del material a estabilizar: Los resultados de la granulometría del material a utilizarse en la mezcla de suelo cemento, se comparan con granulometrías específicas sugeridas. En el caso de que no cumplan, deben adaptarse a partir de los métodos tradicionales de mezcla de materiales granulares. Adicionalmente, para que las mezclas trabajen de una forma óptima deben controlarse los contenidos de

materia orgánica y sulfatos, los cuales influyen en la reacción del cemento, con el material a estabilizar.

1. *Seleccionar un contenido de cemento inicial:* Es seleccionado en función de recomendaciones, según el método a utilizar en el diseño de la mezcla, por lo general el contenido inicial de cemento es seleccionado en función del tipo de suelo.
2. *Ejecutar pruebas de humedad-densidad:* Se realizan para obtener el contenido óptimo de humedad que garantice la máxima densidad seca y cumpla con los requisitos de resistencia y durabilidad.
3. *Realizar ensayos de resistencia a compresión y durabilidad:* Esta etapa tiene como objetivo verificar a través de ensayos, que la mezcla de suelo cemento se comporte adecuadamente en las condiciones reales, para esto, se realizan pruebas de compresión simple, módulos de elasticidad en algunos casos, y ensayos de durabilidad como pruebas de humedecimiento y secado.
4. *Seleccionar el contenido óptimo de cemento:* Se selecciona de acuerdo a las pruebas de resistencia a la compresión simple y durabilidad. Corresponde al porcentaje mínimo de cemento que cumple los requerimientos de acuerdo a las recomendaciones de los diferentes métodos.

2.3.3.4 Estabilización de suelos con emulsión asfáltica

Definición de emulsión asfáltica

“Es una dispersión fina más o Menos estabilizada de un líquido en otro, los cuales no son miscibles entre sí y están unidas por un emulsificante, emulsionante o emulgente”.

Hay varios factores a favor del uso de las emulsiones asfálticas, frente a otros productos asfálticos:

- Es un producto apto desde el punto de vista ecológico ya que lo único que libera al medio es agua.
- Dado que las emulsiones se trabajan a temperatura ambiente, no requieren calentamiento para su manipulación ni para su empleo en obra disminuyendo así los riesgos de quemaduras en los operarios.
- Además, como el medio dispersante es agua las emulsiones no son inflamables ni emanan vapores de hidrocarburo hacia la atmósfera.

Este tipo de estabilizaciones mejora comportamiento mecánico de la subrasante.

Composición de la emulsión asfáltica

La composición de las Emulsiones Asfálticas Catiónicas consisten de tres ingredientes básicos: asfalto, agua y un agente emulsivo.

Las propiedades más importantes de este producto son la facilidad en dilución con agua, aunque sea con algún disolvente, viscosidad, color estabilidad, para un tipo dado de emulsificante, estas propiedades dependen de la fase continua, razón entre fase externa e interna y tamaño de partícula.

Propiedades de la emulsión asfáltica

Las propiedades de las emulsiones asfálticas pueden clasificarse en dos grupos:

- a) **Propiedades Intrínsecas:** son aquellas propiedades que le son propias, y que no dependen de los productos minerales con los que se emplean. Estas propiedades son la viscosidad, cohesión y la estabilidad al almacenamiento.

Viscosidad: es la propiedad de un material sometido a una tensión cortante en oponer resistencia a la velocidad de deslizamiento de unas capas sobre otras.

Cohesividad: la cohesión interna del ligante, puede definirse como la resistencia al corte del ligante. La cohesividad presenta un valor óptimo que corresponde con un rango de viscosidad dada y que depende de la temperatura. Así por debajo de una cierta temperatura el ligante, bajo el efecto de una acción mecánica, se convierte en producto demasiado duro, “quebradizo”; por el contrario, si la temperatura sobrepasa un determinado valor, el ligante se vuelve demasiado fluido, es demasiado “blando” para resistir a los esfuerzos de tracción.

Estabilidad de Almacenamiento: en las emulsiones de asfalto, las gotas de aceite son relativamente grandes. Debido a que el área de la superficie es grande por gota, la energía por gota es alta y no puede ser compensada por sus contribuciones de entropía.

- b) **Propiedades Extrínsecas:** son aquellas que se encuentran relacionadas con su comportamiento en los diferentes campos en los que son utilizadas. Se trata de la velocidad de rompimiento, potencial zeta y la adhesividad.

Velocidad de Rompimiento: la velocidad de rompimiento está controlada básicamente por el tipo específico y concentración del emulsificante.

Potencial zeta: el potencial zeta es un potencial eléctrico entre la superficie de la partícula de asfalto y la solución masa.

Adherencia: es la resistencia tangencial que se produce en la superficie de contacto de dos cuerpos cuando se intenta que uno deslice sobre otro. En las emulsiones asfálticas solamente es satisfactoria si cumplen estas dos condiciones:

- Que el ligante puede entrar en contacto con los cuerpos presentes, especialmente con los agregados. Para conseguir esto el ligante debe ser, no solo suficientemente “líquido”, lo que ocurre prácticamente siempre (salvo circunstancias anormales tales como la presencia de sal en el asfalto, por ejemplo), sino que el ligante debe ser “mojante”, lo que es más difícil en la emulsiones catiónicas que en las aniónicas. Esta primera condición de la adhesividad se denomina adherencia activa.
- Es preciso también, si la primera condición ha sido cumplida, que los componentes “unidos” entre sí (el ligante y el agregado), no se separen en presencia de un agente perturbador, como el agua; este efecto se manifiesta en particular en presencia de partículas finas como los fillers, bajo la acción del tráfico. Esta segunda condición se denomina adherencia pasiva.

Características principales

Cuando las emulsiones asfálticas se emplean como agentes estabilizantes de los suelos, tienden a producir distintos efectos según el tipo de suelo que deba estabilizarse. En líneas generales, los efectos se dividen en tres grupos principales:

- a) Estabilizar el contenido de humedad de los suelos finos cohesivos. Este tipo de estabilización se denomina “Suelo-Emulsión”.
- b) Suministrar resistencia cohesiva a suelos sin cohesión propia, tales como arenas limpias, donde la emulsión asfáltica actúa como agente ligante de las partículas. Este tipo de estabilización es generalmente llamada “Arena-Emulsión”.
- c) Suministrar resistencia cohesiva e impermeabilizar suelos granulares que poseen altos valores de resistencia friccional. Se le conoce con el nombre de “Suelo-Arena-Emulsión”

Sistema Suelo-Emulsión: en este sistema la estabilidad de la estructura depende esencialmente de la fricción interna del árido y de la cohesión del ligante arcilla-agua del mismo. La emulsión actúa como agente impermeabilizante impidiendo así el acceso de agua al suelo y su acción perjudicial sobre el ligante arcilla-agua.

Sistema Arena-Emulsión: en el segundo sistema donde el árido, de fricción interna adecuada, carece de cohesión propia, ésta debe ser aportada por la emulsión y por ello se observa que la cantidad de esta que interviene en estas estabilizaciones es superior a la del sistema anteriormente mencionado. En consecuencia la estabilización de estas arenas con materiales asfálticos implica la incorporación, hasta cierto límite, de mayores porcentajes de emulsión hasta recubrir las partículas y producir así el efecto ligante entre ellas. Un exceso puede afectar la estabilidad del sistema por una disminución de la resistencia friccional de la arena.

Sistema Suelo-Arena-Emulsión: por último, debe destacarse que pueden existir estabilizaciones bituminosas donde la emulsión asfáltica cumpla, con ambas funciones, es decir, aportando cohesión faltante e impermeabilizando el sistema. En este sistema de emulsión cada componente cumple una determinada función. El suelo aporta cohesión a la mezcla, por eso es importante controlar los valores de plasticidad. La arena aporta sus propiedades friccionales carentes en el suelo. El asfalto, proveniente de la emulsión asfáltica, es el que hace la mezcla insensible al agua.

Diseño de la mezcla

Los métodos de dosificación de estas mezclas consisten en determinar el porcentaje óptimo de material bituminoso que confiere a las mismas, la estabilidad mínima necesaria para soportar las solicitaciones a que estarán sometidas, y la impermeabilización adecuada para evitar el acceso de agua a la mezcla.

La estabilidad se mide registrando las cargas, que soportan las probetas de mezcla antes de producirse su rotura o cuando llegan a una deformación máxima normalizada. La impermeabilización se valora mediante ensayos de absorción de agua por inmersión y/o capilaridad a los que se someten las probetas con porcentajes crecientes de asfalto.

La relación porcentual entre el peso de agua absorbida, según técnicas normalizadas, y el peso de la probeta seca, dará la absorción de agua la que a su vez deberá ser menor que un valor máximo admisible, según sea el método de dosificación utilizado.

En general, todos los métodos existentes se basan en un ensayo de estabilidad, que se hace con distintas cantidades de ligante, otro ensayo de absorción de agua y, a veces, un tercero de cambio de volumen. Otros métodos caracterizan la acción del agua, no solo por la absorción, sino por la estabilidad conservada después de sumergir las probetas en agua durante un periodo de tiempo prolongado.

CAPITULO III:

ESPECIFICACIONES TECNICAS

PARA LA CONSTRUCCION DE

EMPEDRADOS FRAGUADOS

3.1 INTRODUCCION

Para la correcta construcción de un pavimento compuesto por empedrado fraguado es necesario establecer una guía de normativas a seguir que cumplan con parámetros establecidos que garanticen el adecuado funcionamiento de los componentes del pavimento. Para lo cual en el siguiente capítulo se presenta las especificaciones para la correcta ejecución de los empedrados fraguados, describiendo en cada una de ellas los materiales a utilizar con sus respectivas características físicas y mecánicas, equipo a utilizar ya sea mecánico y/o manual, el procedimiento a seguir para su construcción, la unidad y forma de pago de cada una de ellas y su respectivo control de calidad para garantizar el empedrado.

3.2 ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LA CONSTRUCCION DE EMPEDRADOS FRAGUADOS

3.2.1 Chapeo y limpieza

3.2.1.1 Descripción

Este trabajo consistirá en el corte de toda la maleza, la remoción del producto de esta operación y en general de toda la basura y desperdicio que se encuentre en el área comprendida dentro de los límites del derecho de vía legal del proyecto.

3.2.1.2 Maquinaria y equipos

Equipo manual: machetes, palas, carretillas, azadones, rastrillos, piochas.

3.2.1.3 Procedimiento de ejecución

El Constructor procederá a cortar toda la maleza existente en el área comprendida dentro del derecho de vía, la cual debe tener una altura no mayor de 15 centímetros. En el proceso de dicha operación, el Contratista debe tratar de evitar el corte de aquellos árboles que hayan crecido dentro del derecho de vía, que en su fase adulta puedan proporcionar ornato y sombra a la carretera y que se encuentren a una distancia tal que no representen obstrucción a la visibilidad ni peligro para el tránsito vehicular.

Los materiales, basura y desperdicios deben ser retirados del lugar y depositados en sitios donde no puedan ser arrastrados al sistema de drenaje de la vía. En caso de suelos orgánicos o materiales vegetales estos pueden ser depositados sobre los taludes de los rellenos a fin de aprovechar este material como abono orgánico para el crecimiento de plantas que puedan protegerlos contra la erosión.

En ningún caso se permitirá la incineración de maleza o basuras producto del corte y la limpieza, así como el uso de productos químicos para controlar el crecimiento de la maleza.

3.2.1.4 Medición y forma de pago

Esta actividad será medida y pagada por metro cuadrado del derecho de vía legal, limpiado de acuerdo a lo establecido en esta especificación. El pago de esta actividad será la compensación plena por todo el equipo, mano de obra, materiales, herramientas, señalización y cualquier otro imprevisto necesario para poder realizar correctamente la actividad.

3.2.1.5 Tabla de muestreo y control:

Tabla 3.1: CHAPEO Y LIMPIEZA

DESCRIPCION	CONTROL
Altura de la maleza no mayor a 15 cm en el derecho de vía	a cada 100 metros
Lugar para el desalojo de la maleza	aprobado por el Supervisor

Fuente: Condiciones técnicas/2012, Fondo de Conservación Vial (FOVIAL)

3.2.2 Trazo y nivelación

3.2.2.1 Descripción

Este trabajo consistirá en la colocación de estacas, mojones, señales o marcas colocadas en el terreno que sirven para indicar líneas, ejes, trazos, elevaciones y referencias de la obra como cortes o rellenos, de acuerdo con el proyecto.

3.2.2.2 Materiales

Estacas de madera, marcadores y/o pintura en aerosol.

3.2.2.3 Maquinaria y equipos

Equipo manual: teodolito, nivel y/o distanciómetro y almadana.

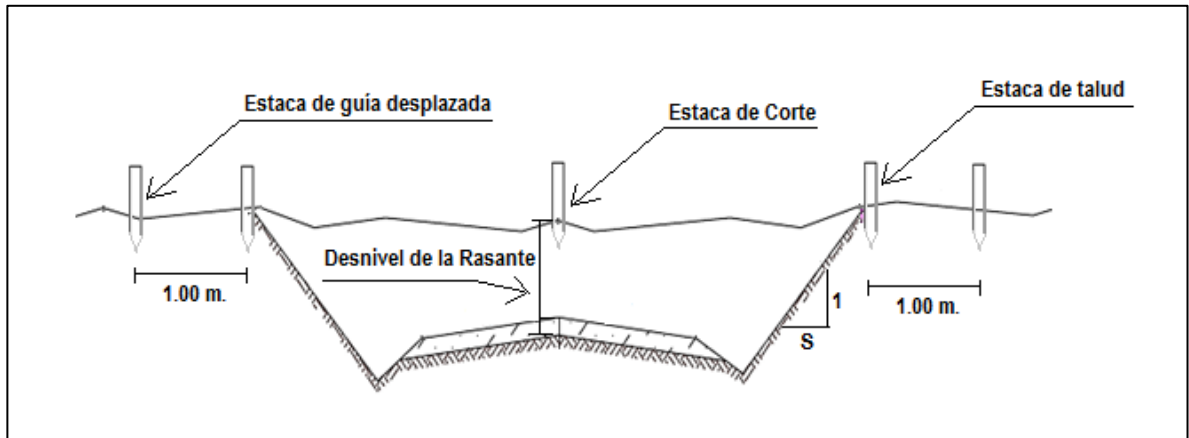
3.2.2.4 Procedimiento de ejecución

El estacamiento comienza en el punto inicial donde se corre el primer segmento recto (tangente), colocando estacas en estaciones completas con un espaciamiento de 20 metros. El establecimiento de estaciones continúa hasta que el alineamiento planificado cambia de dirección en el primer punto de intersección (PI). Ahí se mide el ángulo de deflexión y se establece la estación de la segunda tangente hacia adelante hasta el siguiente PI, donde se mide el ángulo de deflexión. El proceso continúa hasta el punto terminal.

Para guiarse en la ejecución de las excavaciones y los terraplenes finales, se colocan estacas de talud en la intersección del terreno (intersecciones del terreno original y cada

lado de talud), o desplazadas una corta distancia, aproximadamente 1 metro. El corte o el relleno en cada ubicación se marcan en la estaca de talud.

Figura 3.1: ESTACAS DE TALUD



Fuente: Topografía, Paul R. Wolf – Charles D. Ghilani

Las estacas de rasante se colocan en los puntos que tienen la misma cota de terreno y de rasante. Esto ocurre cuando la línea de la subrasante cambia de corte a terraplén o viceversa.

Las secciones transversales del terreno natural deberán ser referidas al eje de la carretera. El espaciamiento entre secciones no deberá ser mayor de 20 m en tramos en tangente y de 10 m en tramos de curvas con radios inferiores a 100 m.

3.2.2.5 Medición y forma de pago

Esta actividad será medida y pagada por metro cuadrado del derecho de vía legal. El pago de esta actividad será la compensación plena por todo el equipo, mano de obra, materiales, herramientas, y cualquier otro imprevisto necesario para poder realizar correctamente la actividad.

3.2.3 Escarificado y conformación de la subrasante

3.2.3.1 Descripción

Este trabajo consistirá en escarificar, conformar, humectar o secar y compactar la subrasante hasta cumplir con los valores especificados en los planos del proyecto.

3.2.3.2 Maquinaria y equipos

Equipo mecánico: Motoniveladora, un rodillo vibratorio liso de al menos 10 toneladas, y un camión cisterna para la hidratación de la subrasante.

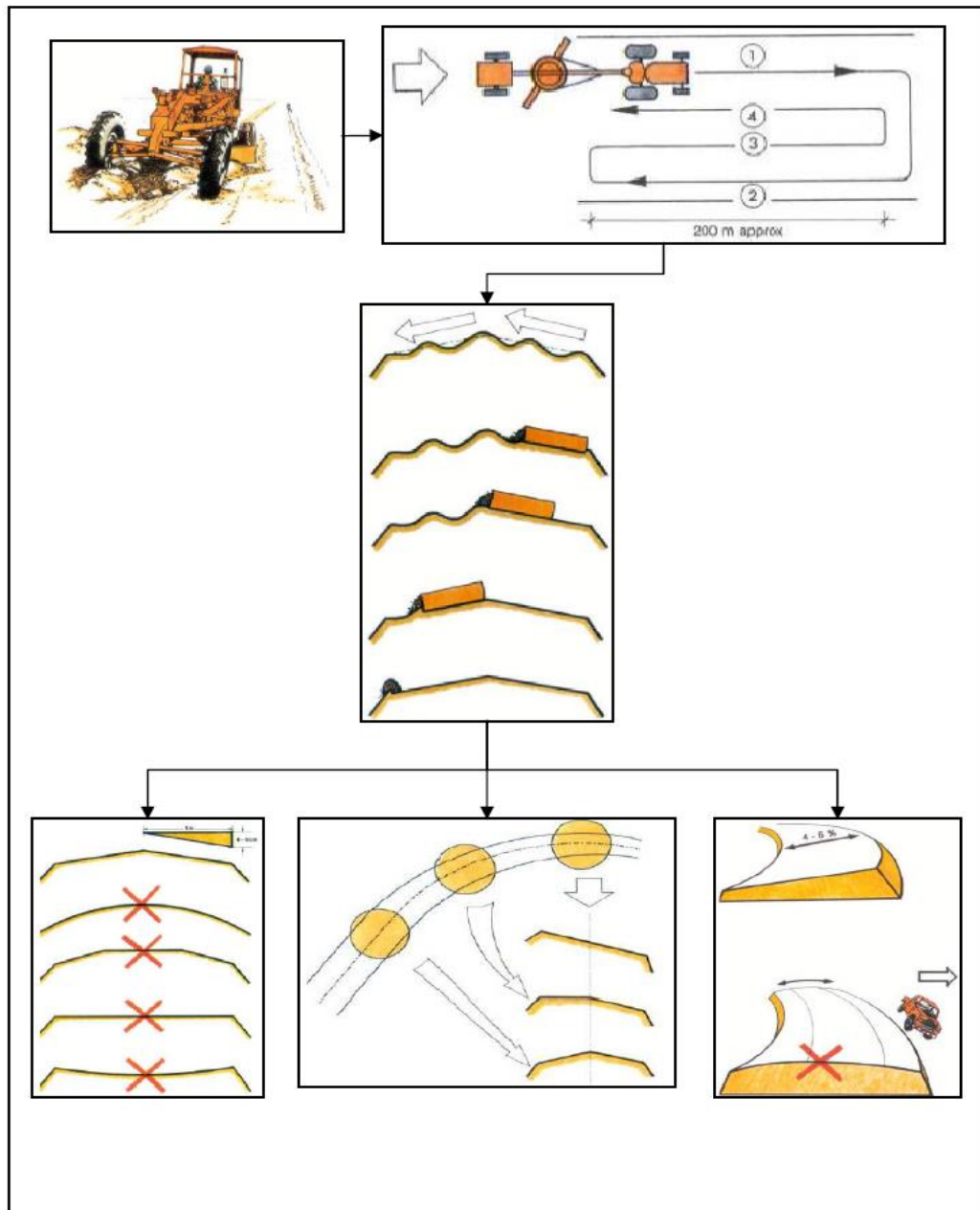
3.2.3.3 Procedimiento de ejecución

Este procedimiento consiste en escarificar la superficie del suelo a lo largo y ancho de la calzada, y a una profundidad especificada, permitiendo que el suelo tenga una condición suelta que facilite su mezclado con el agua, así como su posterior compactación.

Una vez el suelo presente una condición suelta, se aprovecha para el retiro de sobre tamaños de rocas mayores a 2 pulgadas, o según el tamaño máximo de la granulometría especificada en el proyecto, si el suelo presenta una condición muy seca, respecto a la humedad óptima, puede humectarse hasta una condición de humedad cercana a la óptima de compactación, si el caso fuera, que la humedad natural es mayor que la humedad óptima, se deberá secar al aire removiéndolo de un lado a otro utilizando motoniveladora o compactar y escarificar el suelo en varias ocasiones, hasta llevarlo a una condición de humedad menor a la óptima de compactación.

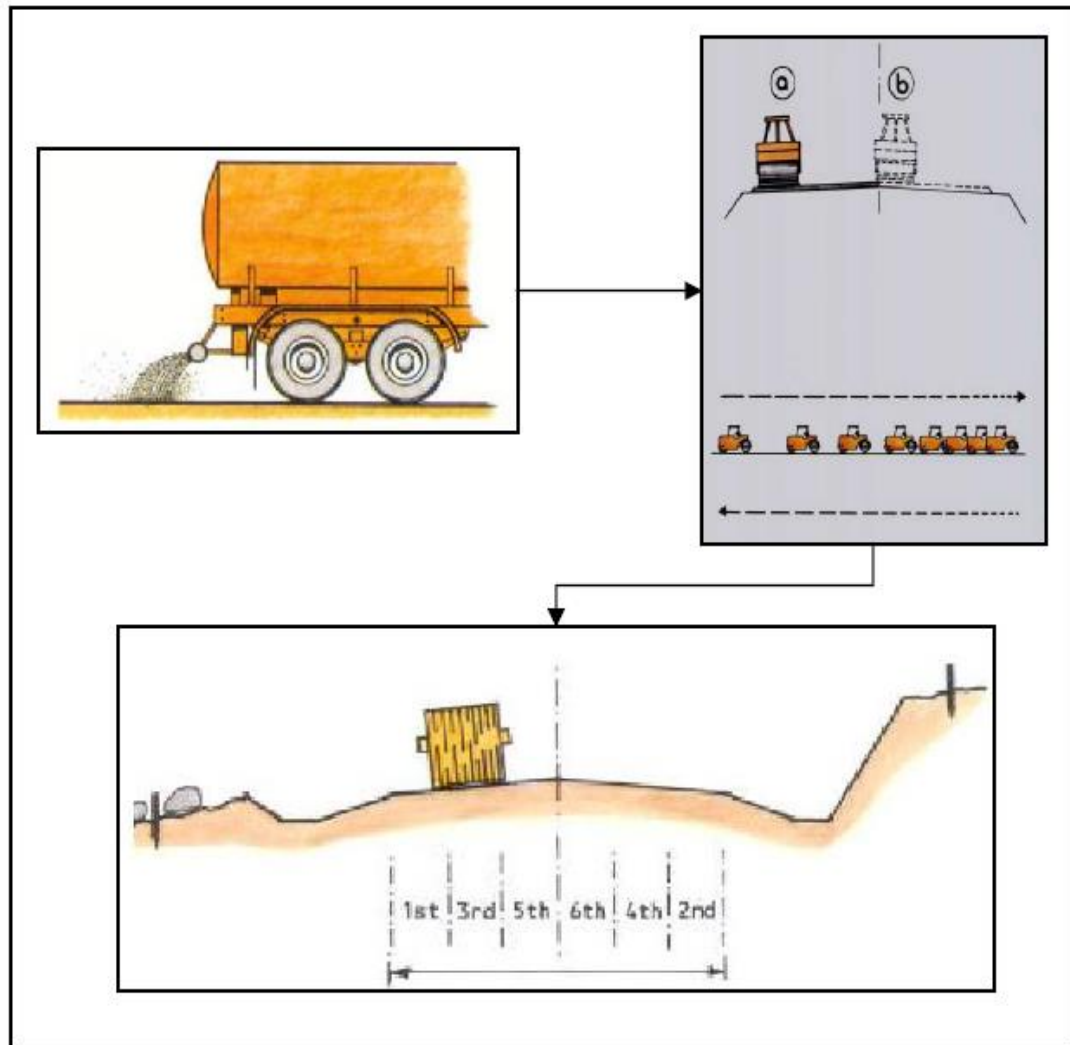
Posteriormente se llevará a cabo la conformación, hidratación y compactación de la subrasante de acuerdo a las Figura 3.2 y Figura 3.3.

Figura 3.2: SECUENCIA Y CONFORMACION DE LA SUBRASANTE



Fuente: Manual Andino para la Construcción y Mantenimiento de Empedrados

Figura 3.3: SECUENCIA DE HIDRATACION Y COMPACTACION DE LA SUBRASANTE



Fuente: Manual Andino para la Construcción y Mantenimiento de Empedrados

3.2.3.4 Medición y forma de pago

Esta actividad será medida y pagada por metro cuadrado del derecho de vía legal. El pago de esta actividad será la compensación plena por todo el equipo, mano de obra, y cualquier otro imprevisto necesario para poder realizar correctamente la actividad.

3.2.3.5 Tabla de muestreo y control

Tabla 3.2: ESCARIFICADO Y CONFORMACION DE LA SUBRASANTE

DESCRIPCION	VALOR REQUERIDO
Tipo de suelo clasificación según ASTM D 2487-00 ¹²	ML o CL
Tipo de suelo clasificación según AASHTO M 145-03 ¹³	A4 o A6
CBR mínimo	6 %
CBR recomendado	8 %
% de compactación de la subrasante luego de la re conformación (relación a Proctor Modificado)	≥ 95 %

Fuente: Manual Andino para la Construcción y Mantenimiento de Empedrados

¹² ASTM D 2487-00: Clasificación de suelos para propósitos de ingeniería

¹³ AASHTO M 145-03: Sistema de clasificación de suelos y agregados para la construcción de carreteras

3.2.4 Estabilización de subrasante

3.2.4.1 Descripción

Este trabajo consistirá en modificar las propiedades de la subrasante mediante la adición de un componente químico.

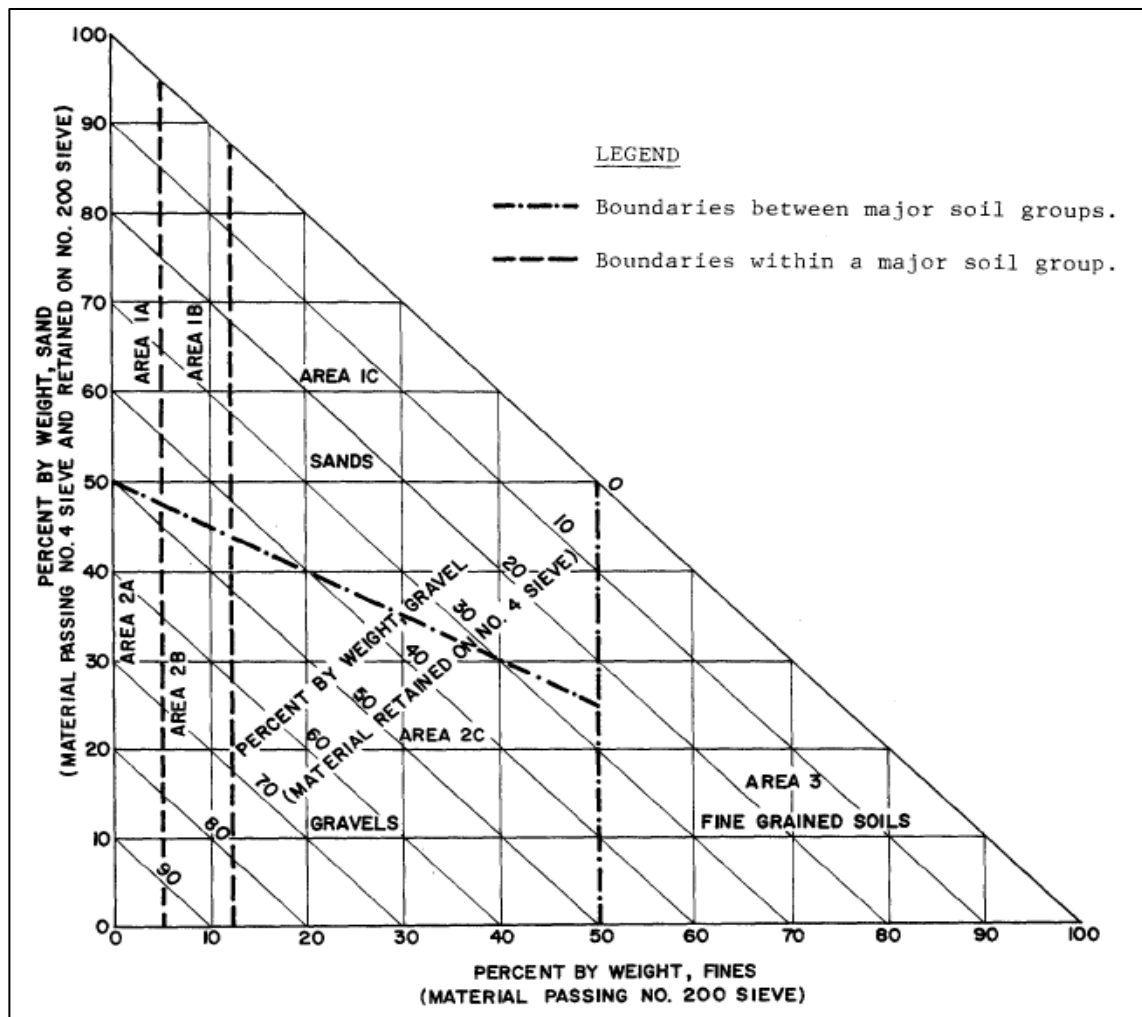
La selección del método de estabilización a utilizar depende de varios factores: del tipo de suelo que ha de estabilizarse, el tipo de mejora de la calidad del suelo se desea, la resistencia requerida y la durabilidad de la capa estabilizada, y el costo y las condiciones ambientales.

Para la selección del método de estabilización a utilizar se toman en cuenta las siguientes características de los suelos:

- a. Utilizando el triángulo de graduación del suelo en la Figura 3.4, el cual se basa en las características de la pulverización del suelo que, cuando se combina con ciertas restricciones en relación con límite líquido (LL) índice de plasticidad (PI), y la gradación del suelo que figura en la Tabla 3.3, para proporcionar orientación la selección del aditivo más adecuado para la estabilización. Figura 3.4 se introduce con el porcentaje de grava (material retenido por ciento en No. 4 tamiz), arena (porcentaje de material que pasa el Tamiz No. 4 y Retenido en el Tamiz No. 200) y finos (porcentaje de material que pasa el Tamiz No. 200) para determinar el área en la que la gradación del suelo cae. El área de OA, 2C, 3, etc.) Indicado en la intersección de los tres porcentajes de material se utiliza para

introducir la Tabla 3.3 para seleccionar el tipo de estabilización, teniendo en cuenta las diversas restricciones y observaciones.

Figura 3.4: TRIANGULO DE GRADUACION DE AYUDA PARA ELEGIR EL TIPO DE ESTABILIZACION



Fuente: *Soil Stabilization for Pavements Mobilization Construction*, DEPARTMENT OF THE ARMY
CORPS OF ENGINEERS OFFICE OF THE CHIEF OF ENGINEERS

--- Los límites entre los grupos principales de suelos

--- Los límites dentro de un grupo de suelo importante

TABLA 3.3: GUIA PARA LA SELECCION DEL ADITIVO ESTABILIZANTE PARA SUELOS

Area	Tipos de Suelo	Tipo de Estabilización Aditivo Recomendado	Restricción de LL e IP de los Suelos	Restricción de Porcentaje que Pasa No. 200	Observaciones
1A	SW o SP	(1) Bituminoso (2) Cemento Portland (3) Cal - Cemento - Cenizas Volantes	IP no exceda los 25		
1B	SW - SM o SP - SM o SW - SC o SP - SC	(1) Bituminoso (2) Cemento Portland (3) Cal (4) Cal - Cemento - Cenizas Volantes	IP no exceda los 10 IP no exceda los 30 IP no menos de 12 IP no exceda los 25		
1C	SM o SC o SM - SC	(1) Bituminoso (2) Cemento Portland (3) Cal (4) Cal - Cemento - Cenizas Volantes	IP no exceda los 10	No debe exceder el 30% en peso	
2A	GW o GP	(1) Bituminoso (2) Cemento Portland			Solo un materia Bien graduado El material debe contener al menos 45% en peso de material que pasa el Tamiz No. 4
2B	GW - GM o GP - GM o GW - GC o GP - GC	(1) Bituminoso (2) Cemento Portland (3) Cal (4) Cal - Cemento - Cenizas Volantes	IP no exceda los 10 IP no exceda los 30 IP no menos de 12 IP no exceda los 25		Solo un materia Bien graduado El material debe contener al menos 45% en peso de material que pasa el Tamiz No. 4
2C	GM o GC o GM - GC	(1) Bituminoso (2) Cemento Portland (3) Cal (4) Cal - Cemento - Cenizas Volantes	IP no exceda los 10 -----a IP no menos de 12 IP no exceda los 25	No debe exceder el 30% en peso	Solo un materia Bien graduado El material debe contener al menos 45% en peso de material que pasa el Tamiz No. 4
3	CH o CL o MH o ML o OH o OL o ML - CL	(1) Cemento Portland (2) Cal	LL menos de 40 e IP menos de 20 IP no menos de 12		Los suelos orgánicos y fuertemente ácidos que caen dentro de esta área no son susceptibles a la estabilización por medios ordinarios

$$a = 20 + \frac{50 - \text{porcentaje que pasa No. 200}}{4}$$

*Fuente: Soil Stabilization for Pavements Mobilization Construction, DEPARTMENT OF THE ARMY
CORPS OF ENGINEERS OFFICE OF THE CHIEF OF ENGINEERS*

3.2.5 Estabilización de suelos mediante la adición de cal

3.2.5.1 Materiales:

Cal: la cal que se use para la construcción de suelo-cal puede ser cal viva o cal hidratada y debe satisfacer los requisitos establecidos bajo las especificaciones de la norma ASTM C 977-02.¹⁴

Son frecuentes dotaciones entre el 2 y el 4 % de cal, proporción en peso sobre el suelo seco.

Agua: el agua que se use para la construcción de mezcla suelo-cal debe estar limpia, no debe contener materia orgánica y debe estar libre de sales, aceites, ácidos y álcalis perjudiciales

Suelo: los suelos que se usen para la elaboración de mezcla suelo-cal deben estar limpios y recomendable que estos no deban tener más de uno por ciento (1%) de su peso de materia orgánica. Además la fracción del suelo que pasa la malla No 40 debe tener un índice de plasticidad no menor de 10. El tamaño máximo del agregado grueso que contenga el suelo no debe ser mayor de 50 mm ó 1/3 del espesor de la capa compactada de suelo-cal.

3.2.5.2 Maquinaria y equipos

Equipo mecánico: Motoniveladora, un rodillo vibratorio liso de al menos 10 toneladas, y un camión cisterna para hidratación.

¹⁴ ASTM C 977-02: Especificación estándar para la cal viva y cal hidratada para la Estabilización de Suelos

3.2.5.3 Procedimiento de ejecución

Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo: dicha fórmula señalará el contenido de cal, el contenido de agua del suelo en el momento del mezclado, y el de la mezcla en el de la compactación, el valor mínimo de la densidad a obtener, el valor mínimo del índice CBR de la mezcla a los siete días.

Distribución de la cal: la cal se distribuirá uniformemente, de acuerdo con la dosificación establecida, para ello los sacos se colocarán sobre el suelo formando filas longitudinales y transversales, a una distancia adecuada unos de otros, según la dosificación que corresponda. La distancia entre las filas longitudinales será aproximadamente igual a la distancia entre las transversales.

Mezclado: la mezcla in situ se realizará mediante una motoniveladora que permitan la disgregación del suelo a la profundidad establecida en los planos, si esta disgregación no ha sido previamente realizada y, en todo caso, la mezcla uniforme del suelo con la cal extendida en su superficie. El mezclado deberá proseguirse hasta la obtención de una mezcla homogénea de la cal con el suelo, lo que se reconocerá por el color uniforme de la mezcla.

Se añadirá el agua necesaria conforme se realiza la mezcla. La cantidad de agua requerida será la necesaria para alcanzar el contenido de humedad fijado en la fórmula de trabajo. En todo caso, se tendrán en cuenta las precipitaciones y evaporaciones de agua que puedan tener lugar durante la realización de los trabajos. El agua se agregará

uniformemente, y deberá evitarse que escurra por las roderas dejadas por el equipo de humectación.

La disgregación de la mezcla deberá conseguir que los grumos sean inferiores a veinte milímetros (20 mm). Si esta condición resultara difícil de cumplir se procederá a un mezclado en dos etapas, dejando curar la mezcla entre ambas operaciones un período de veinticuatro (24) a cuarenta y ocho (48) horas, cuidando de mantener la humedad adecuada. En este caso el suelo se compactará ligeramente, después de la mezcla inicial, si existe riesgo de precipitaciones.

Compactación de la Mezcla: Al principio de la compactación, la humedad del suelo estabilizado con cal no deberá diferir de la fijada en la fórmula de trabajo en más del dos por ciento (2 %) del peso seco de la mezcla. Si, a pesar de ello, al compactar se produjesen fenómenos de inestabilidad o arrollamiento, deberá reducirse la humedad por nueva mezcla y/o aireación, hasta que dejen de producirse tales fenómenos.

En el momento de iniciar la compactación, la mezcla deberá hallarse suelta en todo su espesor. En el caso de que fuera preciso añadir agua, esta operación se efectuará de forma que la humectación de los materiales sea uniforme.

La compactación se iniciará longitudinalmente por el punto más bajo de las distintas bandas, y se continuará hacia el borde más alto de la capa; solapándose los elementos de compactación en sus pasadas sucesivas, que deberán tener longitudes ligeramente distintas.

3.2.5.4 Medición y forma de pago

La estabilización de subrasante mediante la adición de cal se medirá en metros cúbicos colocados y terminados en la obra después de su compactación, de acuerdo con las cotas y dimensiones señaladas en los planos.

El pago se hará por metro cúbico de subrasante compactada, al precio unitario de contrato, a satisfacción, pago que cubrirá todos los costos de colocación, distribución, mezcla, humedecimiento y compactación de los materiales utilizados en la estabilización de la subrasante.

3.2.5.5 Tabla de control

Tabla 3.4: ESTABILIZACION DE SUELOS MEDIANTE LA ADICION DE CAL

DESCRIPCION	CONTROL
Dosificación mínima del peso seco del material	3 %
Dosificación máxima del peso seco del material	10 %
Tolerancia en la dosificación	± 0.3 %
Densidad mínima de compactación según Norma AASHTO T 180-02 ¹⁵ o ASTM D 1557-00 ¹⁶	95 %

Fuente: Guía básica de estabilización de suelos con cal para caminos de baja intensidad vehicular en el salvador (Trabajo de Graduación, Universidad de El Salvador, 2009)

¹⁵ AASHTO T 180-02: Método de prueba estándar para las relaciones de densidad de los suelos mediante un pisón de 4.54 kg (10-lb) y una altura de caída de 457-mm (18 pulg.)

¹⁶ ASTM D 1557-00: Métodos de prueba estándar para las características de compactación de laboratorio de suelos utilizando Esfuerzo Modificado (56.000 ft-lbf/ft³ (2.700 kN-m/m³))

3.2.6 Estabilización con adición de cemento portland

3.2.6.1 Materiales

Suelo: puede resultar de la combinación de gravas, arenas, limos y arcillas. Básicamente cualquier suelo puede estabilizarse con cemento a excepción de los suelos orgánicos y con altos contenidos de sales que puedan afectar el desempeño del cemento.

Cemento: se pueden utilizar cementos bajo la norma ASTM C 150-02a¹⁷, ASTM C 595-03¹⁸ y ASTM C 1157-02¹⁹ para elaborar mezclas de suelo cemento.

Agua: para elaborar mezclas de suelo cemento, deberá tener un potencial de hidrogeno (PH) entre 5.5 y 8.0 y el contenido de sulfatos no podrá ser superior a 1 gramo por litro. Adicional a los requisitos de calidad del agua, están los requisitos de cantidad del agua, ya que se deberá lograr la máxima densidad en las mezclas e hidratar adecuadamente el cemento. Por lo general el contenido de humedad deberá estar entre 10 a 13% en peso seco de la mezcla.

3.2.6.2 Maquinaria y equipos

Equipo mecánico: Motoniveladora, un rodillo vibratorio liso de al menos 10 toneladas, y un camión cisterna.

¹⁷ ASTM C 150-02a: Especificación estándar para cemento portland

¹⁸ ASTM C 595-03: Especificación normalizada para cementos adicionados hidráulicos

¹⁹ ASTM C 1157-02: Especificación normalizada de desempeño para cemento hidráulico

PROCEDIMIENTO DE EJECUCION

Dosificación y distribución del cemento: Tiene como objetivo colocar y distribuir uniformemente en la superficie del suelo escarificado, la cantidad de cemento especificada en el diseño de mezcla mediante una dosificación de cemento en sacos, la cual consiste en colocar sacos o bolsas de cemento de un peso determinado (42.5 kg) sobre la superficie del suelo escarificado y pulverizado, en una distancia tal, que corresponda a la dosificación determinada previamente en el diseño de mezcla. Posterior a la colocación de sacos, se abren y el contenido es distribuido uniformemente sobre la superficie del suelo. Esta actividad es realizada con personal entrenado y protegido, pues el proceso genera cantidades considerables de polvo, que son nocivas en exposiciones largas de tiempo.

Dosificación y distribución de agua: El método tradicional para dosificar y aplicar la humedad óptima en campo, es a través del uso de un camión cisterna, el cual tiene una función de transportar y distribuir el agua necesaria para alcanzar la humedad óptima de compactación especificada, para esto, el equipo cuenta con una "flauta esparcidora" calibrada, la cual hace posible una dosificación exacta de acuerdo con la velocidad en marcha del camión cisterna.

Mezclado con motoniveladora: este proceso tiene como objetivo, lograr mezclar adecuadamente el suelo con el cemento y el agua, de tal forma de obtener una mezcla homogénea que pueda trabajarse y compactarse a su máxima densidad.

Debido a que realiza únicamente con la hoja o cuchilla de la motoniveladora, se necesitan varias pasadas del material suelto (mezcla), esto se realiza removiendo el material de izquierda a derecha y viceversa en relación al sentido de circulación del equipo.

El proceso debe ser acompañado de inspección visual permanente para indicar sitios con variaciones de color, indicativo de la falta de homogeneidad en la mezcla.

Conformación y compactación: los equipos de mezclado in situ, entregan posterior al mezclado, un material poco denso de "volumen suelto" muy difícil de conformarlo con motoniveladora, por tal razón es importante dejar el material en condiciones más accesibles, esto se logra realizando una compactación preliminar con rodo compactador sin vibración, esto ayudará también a evitar creación de grumos y que se aceleren las condiciones de fraguado.

Una vez se tienen las condiciones adecuadas, se realiza la conformación con motoniveladora, el cual consiste en extender el material hasta alcanzar las cotas deseadas que cumplan con todos los requerimientos de la vía, pendientes transversales y longitudinales, peraltes, etc. la revisión de humedad debe acompañar en todo momento al proceso de conformación. Finalmente deberá realizarse la compactación final utilizando para ello un equipo vibrocompactador, aplicando un número de pasadas estipulado en el tramo de prueba, para cumplir con la densidad máxima especificada en el proyecto.

Curado: los procedimientos convencionales para curar el suelo cemento son: el riego continuo de agua posterior a la compactación y acabado del suelo cemento, realizado con camión - tanque al menos dos veces por hora.

3.2.6.3 Medición y forma de pago

La estabilización de subrasante con adición de cemento portland se medirá en metros cúbicos colocados y terminados en la obra después de su compactación, de acuerdo con las cotas y dimensiones señaladas en los planos.

El pago se hará por metro cúbico de subrasante compactada, al precio unitario de contrato, a satisfacción, pago que cubrirá todos los costos de colocación, distribución, mezcla, humedecimiento y compactación de los materiales utilizados en la estabilización de la subrasante.

3.2.6.4 Muestreo y control

Ensayo de esfuerzo a compresión. Probetas cilíndricas de 4 pulgadas de diámetro y 4.6 pulgadas de altura (molde del Proctor). La PCA²⁰ recomienda un esfuerzo mínimo a compresión de 21 Kg/cm² después de 7 días de curado

Ensayo de humedecimiento y secado. El material perdido después de 12 ciclos debe estar dentro de los siguientes límites.

²⁰ PCA: *Portland Cement Association*

**Tabla 3.5: CRITERIOS DE LA PCA PARA ENSAYOS DE
HUMEDECIMIENTO Y SECADO O
CONGELAMIENTO - DESCONGELAMIENTO**

AASHTO	ASTM (SUCS)	Máxima pérdida de peso permisible, %
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM	14
A-1-b	GM, GP, SM, SP	14
A-2	GM, GC, SM, SC	14
A-3	SP	14
A-4	CL, ML	10
A-5	ML, MH, CH	10
A-6	CL, CH	7
A-7	MH, CH	7

FUENTE: ACI 230.1R²¹

²¹ ACI 230.1R: Informe de suelo cemento

Tabla 3.6: REQUERIMIENTOS TÍPICOS PARA VARIOS GRUPOS DE SUELOS

AASHTO	SUCS	Rango típico de cemento (% en peso)	Contenido típico de cemento para prueba de humedad-densidad (% en peso)	Contenido típico de cemento para pruebas de durabilidad (% en peso)
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM	3-5	5	3-5-7
A-1-b	GM, GP, SM, SP	5-8	6	4-6-8
A-2	GM, GC, SM, SC	5-9	7	5-7-9
A-3	SP	7-11	9	7-9-11
A-4	CL, ML	7-12	10	8-10-12
A-5	ML, MH, CH	8-13	10	8-10-12
A-6	CL, CH	9-15	12	10-12-14
A-7	MH, CH	10-16	13	11-13-15

FUENTE: ACI 230.1R

3.2.7 Estabilización de subrasante con emulsión asfáltica

3.2.7.1 Materiales

Emulsiones asfálticas: es una mezcla de asfalto con emulsificantes que con el agua forman una emulsión estable que permite tender las carpetas asfálticas "en frío", es decir, a temperaturas menores a 100°C.

Agua: Se deberá considerar el porcentaje de agua adecuado para lograr la producción de éstas. Se presentará el diseño de la emulsión asfáltica, de acuerdo a las normas del ASTM.

Suelo: los agregados deberán cumplir con las siguientes especificaciones:

Tabla 3.7: ESPECIFICACIONES PARA AGREGADOS

CONDICION	SUBRASANTE
Tamaño máximo	75 mm
% Máximo piedra	-----
Índice de Plasticidad	< 10 %
Abrasión, Los Ángeles	< 60 %
Tipo de material	A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-6 y A-3

FUENTE: Norma AASHTO M 147-65(2008)²²

Tabla 3.8: ESPECIFICACIONES PARA AGREGADOS

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA EN PESO			
	GRADACION A (1)	GRADACION B	GRADACION C	GRADACION D
2"	100	100	-----	-----
1"	-----	75-95	100	100
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100
No 4	25-55	30-60	35-65	50-85
No 10	15-40	20-45	25-50	40-70
No 40	8-20	15-30	15-30	25-45
No 200	2-8	5-15	5-15	8-15

(1) La curva de gradación A deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 m. s. n. m.

FUENTE: Norma AASHTO M 147-65(2008)²²

²² AASHTO M 147-65(2008): Especificación Estándar de agregados para la sub-base, base y capas de rodadura

Tabla 3.9: ESPECIFICACIONES PARA AGREGADOS

ENSAYO	< 3000 m. s. n. m.	≥ 3000 m. s. n. m.
Partículas con una cara fracturada	80% min.	80% min.
Partículas con dos caras fracturadas	40% min.	50% min.
Abrasión. Los Ángeles	40% min.	40% min.
Partículas Chatas y alargadas (1)	15% min.	15% min.
Sale solubles totales	0.5% min.	0.5% min.
Pérdida con Sulfato de Sodio	-----	12% min.
Pérdida con Sulfato de Magnesio	-----	18% min.

(1) Referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1".

FUENTE: Norma AASHTO M 147-65(2008)²³

Tabla 3.10: RELACION DE SOPORTE (CBR)

VALOR RELATIVO DE SOPORTE, CBR	Tráfico ligero y medio	min. 80%
	Tráfico pesado	min. 100%

FUENTE: Norma AASHTO M 147-65(2008)²³

Los requerimientos para el agregado grueso (retenido en la malla No 4) son los siguientes:

²³ AASHTO M 147-65(2008): Especificación Estándar de agregados para la sub-base, base y capas de rodadura

Tabla 3.11: ESPECIFICACIONES PARA AGREGADO GRUESO

ENSAYO	< 3000 m. s. n. m.	≥ 3000 m. s. n. m.
Partículas con una cara fracturada	80% min.	80% min.
Partículas con dos caras fracturadas	40% min.	50% min.
Abrasión. Los Ángeles	40% min.	40% min.
Partículas Chatas y alargadas (1)	15% min.	15% min.
Sales solubles totales	0.5% min.	0.5% min.
Pérdida con Sulfato de Sodio	-----	12% min.
Pérdida con Sulfato de Magnesio	-----	18% min.

(1) Referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1".

FUENTE: Norma AASHTO M 147-65(2008)²⁴

Los requerimientos para el agregado fino (pasa la malla No 4) son los siguientes:

Tabla 3.12: ESPECIFICACIONES PARA AGREGADO FINO

ENSAYO	< 3000 m. s. n. m.	≥ 3000 m. s. n. m.
Índice Plástico	4% máx.	2% máx.
Equivalente de Arena	35% min.	45% min.
Sales Solubles Totales	0.55% máx.	0.5 máx.
Índice de Durabilidad	35% min.	35% min.

FUENTE: Norma AASHTO M 147-65(2008)²⁴

3.2.7.2 Maquinaria y equipos

Equipo mecánico: Motoniveladora, mezcladora rotativa, rodillo pata de cabra, rodillo neumático y un camión cisterna.

3.2.7.3 Procedimiento de ejecución

Preparación de la mezcla de suelo y arena

²⁴ AASHTO M 147-65(2008): Especificación Estándar de agregados para la sub-base, base y capas de rodadura

Por medio de la motoniveladora se extiende en una capa de espesor uniforme en el ancho exigido para la subrasante, se verificará la humedad existente. El contenido de humedad debe estar comprendido entre el límite plástico y el límite líquido en el momento de incorporarle la emulsión, en caso de que hubiera que adicionarle el agua restante ésta se incorporará mediante el camión cisterna.

Incorporación de la emulsión y mezclado con la mezcladora rotativa se incorpora la emulsión asfáltica y se efectúa al mismo tiempo el mezclado de los materiales.

Compactación una vez que el material se encuentre convenientemente ventilado hasta su correcta humedad se procederá a distribuir la mezcla en el ancho especificado y en el espesor tal que una vez compactado se llegue al espesor de proyecto. La compactación se comienza con los rodillos pata de cabra y al llegar a los 5 cm superiores aproximadamente de la base deberá escarificarse y volver a perfilar la capa. Posteriormente se completará la compactación con los rodillos neumáticos y lisos a fin de asegurar una correcta terminación de la superficie.

3.2.7.4 Medición y forma de pago

La estabilización de subrasante con emulsión asfáltica se medirá en metros cúbicos colocados y terminados en la obra después de su compactación, de acuerdo con las cotas y dimensiones señaladas en los planos.

El pago se hará por metro cúbico de subrasante compactada, al precio unitario de contrato, a satisfacción, pago que cubrirá todos los costos de colocación, distribución,

mezcla, humedecimiento y compactación de los materiales utilizados en la estabilización de la subrasante.

3.2.8 Superficie de rodadura

3.2.8.1 Descripción

En este trabajo consiste en el transporte, suministro, elaboración de mortero, manejo, almacenamiento y colocación de los materiales de construcción.

3.2.8.2 Materiales

Piedra: La piedra deberá tener al menos dos caras fracturadas o roca labrada de cantera, la piedra debe ser dura, sana, libre de grietas u otros defectos que tiendan a reducir su resistencia a las solicitaciones que estará sometida y a los efectos de intemperismo. Las superficies de las piedras deben estar exentas de tierra, arcilla o cualquier materia extraña, que pueda obstaculizar la perfecta adherencia de esta con el mortero.

Tabla 3.13: CARACTERISTICAS FISICO-MECANICAS DE LA PIEDRA

CARACTERISTICAS	VALOR REQUERIDO
Pérdida por abrasión en máquina de los Ángeles (500 revoluciones)	$\leq 40 \%$
Densidad mínima	1400 kg/m ³
Tamaño mínimo	10 cm
Tamaño máximo	30 cm

Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras

Arena: La arena para mortero debe llenar los requisitos para agregados finos de acuerdo con los requisitos de la Norma ASTM C 144-02²⁵ o su equivalente en la Norma

²⁵ ASTM C 144-02: Especificación de agregados para mortero

AASHTO M 45-89²⁶. En lo que se refiere a la graduación, debe llenar los requisitos siguientes:

Tabla 3.14: DISTRIBUCION GRANULOMETRICA DE LA ARENA A UTILIZAR EN LA SUPERFICIE DE RODADURA

MALLA	% QUE PASA	
	Arena Natural	Arena Fabricada
No. 4 (4.75mm)	100	100
No. 8 (2.36mm)	95-100	95-100
No. 16 (1.18mm)	70-100	70-100
No. 30 (600µm)	40-75	40-75
No. 50 (300µm)	10-35	20-40
No. 100 (150µm)	2-15	10-25
No. 200 (75µm)	0-5	0-10

Fuente: Norma ASTM C 144-02

Cemento: Debe ser fabricado con base en la norma ASTM C 1157-02²⁷

Agua: Debe ser agua limpia exenta de materiales orgánicos, excesos de arcilla y libre de sales perjudiciales al cemento.

3.2.8.3 Maquinaria y equipos

Equipo mecánico: Volquetas y concretera de una bolsa.

Equipo manual: Carretilla.

²⁶ AASHTO M 45-89: Especificación de agregados para mortero

²⁷ ASTM C 1157-02: Especificación Normalizada de Desempeño para Cemento Hidráulico

3.2.8.4 Procedimiento de ejecución

La piedra será transportada en volquetas hasta el proyecto, y se distribuirá de tal manera que la distancia entre cada montón de piedra permita una correcta utilización del material.

Figura 3.5: TRANSPORTE Y ACOPIO DE MATERIAL



Fuente: Manual Andino para la Construcción y Mantenimiento de Empedrados

Previo a la colocación de las piedras, se colocará una capa de mortero con un espesor mínimo de 5.0 cm sobre la cual se embeberán y acomodarán inmediatamente las piedras. Las superficies de las piedras se deben humedecer antes de colocarlas. Deben ser rechazadas las piedras cuyos defectos no se pueden remover por medio de agua y cepillo.

Se colocarán las piedras maestras o cordones maestros con la piedra de mayor tamaño en los ejes, bordes o límites de carriles. Adicionalmente deben colocarse maestras longitudinales intermedias entre el eje y el borde del camino. La distancia entre maestras no debe ser mayor a 1.50 m. Las piedras se deben ir colocando cuidadosamente en su

lugar, de tal manera que las separaciones entre piedra y piedra no deben ser menores de 1.50 centímetros ni mayor de 3.00 centímetros. Se deben colocar las piedras de mayores dimensiones en las esquinas de la estructura. Las piedras se deben colocar de tal manera que las caras de mayor dimensión queden en un plano horizontal, los lechos y la nivelación de sus uniones, se deben llenar y conformar totalmente de mortero. El mortero deberá cumplir con una resistencia mínima a la compresión de 150 kg/cm².

Las piedras se deben manipular en tal forma, que no golpeen a las ya colocadas para que no alteren su posición. Se debe usar el equipo adecuado para la colocación de las piedras grandes que no puedan ser manejadas por medios manuales. No se debe permitir rodar o dar vuelta a las piedras sobre las piedras ya colocadas, ni golpearlas o martillarlas una vez colocadas. Si una piedra se afloja después de que el mortero haya alcanzado el fraguado inicial, se debe remover la piedra y el mortero circundante y colocarla de nuevo.

3.2.8.5 Medición y forma de pago

El área a pagarse será por el número de metros cuadrado, medidos sobre la superficie del empedrado fraguado, completo en su lugar.

3.2.8.6 Tabla de muestreo

Tabla 3.15: SUPERFICIE DE RODADURA

DESCRIPCION	MUESTREO
Características de la piedra	1 cada banco de préstamo
Granulometría de la arena	1 cada banco de préstamo
Resistencia de mortero ASTM C 109/C 109M-02 ²⁸	3 cubos por cada 150 m ² de empedrado fraguado

Fuente: Condiciones técnicas/2012, Fondo de Conservación Vial (FOVIAL)

²⁸ ASTM C 109/C 109M-02: Método Normalizado de Ensayo de Resistencia a Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico (Utilizando Especímenes Cúbicos de 2 in. o [50-mm])

3.2.9 Cunetas revestidas

3.2.9.1 Descripción

En este trabajo consiste en el transporte, suministro, elaboración, manejo, almacenamiento y colocación de los materiales de construcción. También se incluye en este trabajo, todas las operaciones necesarias de alineamiento, excavación, conformación de la sección y compactación del suelo, para la correcta construcción de las Cunetas revestidas, de acuerdo con los planos, así mismo la construcción de vertederos. Las cotas de cimentación, las dimensiones, tipos y formas de las cunetas revestidas, deben ser las indicadas en los planos. Antes de colocar cualquiera de los revestimientos mencionados anteriormente, se debe conformar y compactar la superficie de las cunetas y retirar cualquier materia extraña o suelta que se encuentre en las mismas.

3.2.9.2 Materiales

Piedra: La piedra deberá tener al menos dos caras fracturadas o roca labrada de cantera, la piedra debe ser dura, sana, libre de grietas u otros defectos que tiendan a reducir su resistencia a las sollicitaciones que estará sometida y a los efectos de intemperismo. Las superficies de las piedras deben estar exentas de tierra, arcilla o cualquier materia extraña, que pueda obstaculizar la perfecta adherencia de esta con el mortero. Las piedras pueden ser de forma cualquiera y sus dimensiones pueden variar entre 10 a 30 cm. Las piedras deben ser de materiales que tengan un peso mínimo de 1400 kg./m^3 .

Arena: La arena para mortero debe llenar los requisitos para agregados finos de acuerdo con los requisitos de la Norma ASTM C 144-02²⁹ o su equivalente en la Norma AASHTO M 45-89³⁰.

Tabla 3.16: DISTRIBUCION GRANULOMETRICA DE LA ARENA A UTILIZAR EN CUNETAS REVESTIDAS

MALLA	% QUE PASA	
	Arena Natural	Arena Fabricada
No. 4 (4.75mm)	100	100
No. 8 (2.36mm)	95-100	95-100
No. 16 (1.18mm)	70-100	70-100
No. 30 (600µm)	40-75	40-75
No. 50 (300µm)	10-35	20-40
No. 100 (150µm)	2-15	10-25
No. 200 (75µm)	0-5	0-10

Fuente: Norma ASTM C 144.02²⁹

Cemento: Debe ser fabricado con base en la norma ASTM C 1157-02³¹

Agua: Debe ser agua limpia exenta de materiales orgánicos, excesos de arcilla y libre de sales perjudiciales al cemento

3.2.9.3 Maquinaria y equipos

Equipo manual: Palas, piochas, carretillas, azadones.

3.2.9.4 Procedimiento de ejecución

²⁹ ASTM C 144-02: Especificación de agregados para mortero

³⁰ AASHTO M 45-89: Especificación de agregados para mortero

³¹ ASTM C 1157-02: Especificación Normalizada de Desempeño para Cemento Hidráulico

Preparación y Colocación de la Piedra: La superficies de las piedras, se deben humedecer antes de colocarlas, para quitar la tierra, arcilla o cualquier materia extraña; deben ser rechazadas las piedras cuyos defectos no se pueden remover por medio de agua y cepillo. Las piedras limpias se deben ir incrustando cuidadosamente sobre la superficie del terreno debidamente preparado, con las superficies planas se las tiene hacia el exterior. La separación entre piedra y piedra no debe ser menor de 30 milímetros ni mayor de 50 milímetros, las cuales deben quedar completamente llenas de mortero. Las piedras deben manipular en tal forma, que no golpeen a las ya colocadas para que no alteren su posición. No se debe permitir rodar o dar vuelta a las piedras sobre la cuneta, ni golpearlas ni martillarlas una vez colocadas. Si una piedra se afloja después que el mortero haya alcanzado su fraguado inicial, se debe remover la piedra y el mortero circundante y colocarla de nuevo.

Figura 3.6: CONFORMACION DE LA CUNETETA



Fuente: Manual Andino para la Construcción y Mantenimiento de Empedrados

Figura 3.7: COLOCACION DE LA PIEDRA EN CUNETAS



Fuente: Manual Andino para la Construcción y Mantenimiento de Empedrados

Figura 3.8: CUNETAS EMPEDRADAS

San Agustín, Febrero de 2012

Elaboración y Colocación del Mortero: El mortero debe ser una mezcla de cemento, arena y agua, la proporción a utilizar debe ser de una parte de cemento por tres partes de arena, agregándole la cantidad de agua necesaria para formar una pasta de consistencia tal que pueda ser manejable y que permita extenderse fácilmente en las superficies de las piedras a ligar.

Si no se usa mezcladora para la elaboración del mortero; el cemento y agregado fino, se deben mezclar con pala en seco, en un recipiente sin fugas, hasta que la mezcla tenga un color uniforme; después de lo cual se le agregará el agua para producir el mortero de la consistencia deseada.

El mortero se debe preparar en cantidades necesarias para uso inmediato, siendo 30 minutos el máximo de tiempo para emplearlo y en ningún caso, se debe permitir el retemple del mortero.

El mortero deberá cumplir con una resistencia mínima a la compresión de 150 kg/cm².

El mortero colocado en las juntas debe penetrar 13 milímetros debajo de la superficie. Se debe remover el mortero en exceso de la superficie. Las cunetas se deben mantener húmedas durante 6 horas después de haber sido terminadas. No se debe aplicar ninguna carga.

Figura 3.9: CUNETA TERMINADA



Fuente: Manual Andino para la Construcción y Mantenimiento de Empedrados

3.2.9.5 Medición y forma de pago

La medida se debe hacer del número de metros cuadrados, con aproximación de dos decimales, de cunetas revestidas de Piedra Ligada con Mortero.

También se debe incluir en esta medida los vertederos y cortinas. En el caso de cortinas se tiene un espesor mayor que el especificado para cunetas, el volumen construido se le debe calcular su equivalente en metros cuadrados del espesor correspondiente.

3.2.9.6 Tabla de control

Tabla 3.17: CUNETAS REVESTIDAS

DESCRIPCION	MUESTREO
Características de la piedra	1 cada banco de préstamo
Granulometría de la arena	1 cada banco de préstamo
Resistencia de mortero ASTM C 109/C 109M-02 ³²	3 cubos por cada 25 m ³ de mortero

Fuente: Condiciones técnicas/2012, Fondo de Conservación Vial (FOVIAL)

³² ASTM C109/C109M: Método Normalizado de Ensayo de Resistencia a Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico (Utilizando Especímenes Cúbicos de 2 in. o [50-mm])

3.2.10 Construcción de badenes

3.2.10.1 Descripción

Este trabajo consiste en el transporte, suministro, elaboración, manejo, almacenamiento y colocación de los materiales de construcción. También se incluye en este trabajo, todas las operaciones necesarias de alineamiento, conformación de la sección y compactación del suelo, para la correcta construcción de los badenes de concreto.

3.2.10.2 Materiales

Grava: Debe cumplir con los requerimientos indicados en AASHTO M 80-2008³³.

Arena: Debe cumplir con los requerimientos indicados en AASHTO M 6-2003³⁴.

Cemento: Debe ser fabricado bajo la norma ASTM C-1157³⁵.

Agua: El agua a utilizar presentará características adecuadas para propósitos de construcción, su inspección será visual y deberá contar con la aprobación del Supervisor.

3.2.10.3 Maquinaria y equipos

Equipo mecánico: Volquetas y concretera de una bolsa.

Equipo manual: Carretilla u otro equipo que pueda ser utilizado.

³³AASHTO M 80-2008: Especificación estándar para el agregado grueso para concreto hidráulico

³⁴ AASHTO M 6-2003: Especificación estándar para el agregado fino para concreto hidráulico

³⁵ ASTM C 1157-02: Especificación Normalizada de Desempeño para Cemento Hidráulico

3.2.10.4 Procedimiento de ejecución

Antes de colocar el concreto, se debe conformar y compactar la superficie de los badenes y retirar cualquier materia extraña o suelta que se encuentre en las mismas y se deberá revisar que los moldes estén adecuadamente instalados.

Se deberá humedecer la superficie compactada antes de proceder al colado. El acabado será allanado.

3.2.10.5 Medición y forma de pago

La medida se debe hacer del número de metros cuadrados, con aproximación de dos decimales.

3.2.10.6 Tabla de muestreo y control

Tabla 3.18: CONSTRUCCION DE BADENES

DESCRIPCION	CONTROL
Desgaste de la grava (Abrasión) ASTM C 131-03 ³⁶	50 % máximo
Elaboración de especímenes de prueba para determinar la Resistencia a la Compresión ASTM C 31/C 31M-03a ³⁷ y C 39/C 39M-01 ³⁸	3 cilindros por cada 25 m ³ de concreto
Espesor mínimo	10 cm
Pendiente en sentido transversal	2 % hacia aguas abajo

Fuente: Condiciones técnicas/2012, Fondo de Conservación Vial (FOVIAL)

³⁶ ASTM C 131-03: Método de prueba estándar para resistencia al desgaste de agregado grueso por abrasión e impacto en la máquina de Los Angeles

³⁷ ASTM C 31/C 31M-03a: Práctica Estándar para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en el Campo.

³⁸ ASTM C 39/C 39M-01: Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto.

3.2.11 Obras de mampostería varias

3.2.11.1 Descripción

Este trabajo consistirá en la elaboración de estructuras con piedras ligadas con mortero para ser utilizada en la construcción de cabezales, sumideros, estructuras de retención y demás obras que se encuentren a lo largo del proyecto.

3.2.11.2 Materiales

Piedra: La piedra deberá tener al menos dos caras fracturadas o roca labrada de cantera, la piedra debe ser dura, sana, libre de grietas u otros defectos que tiendan a reducir su resistencia a las solicitaciones que estará sometida y a los efectos de intemperismo.. Las superficies de las piedras deben estar exentas de tierra, arcilla o cualquier materia extraña, que pueda obstaculizar la perfecta adherencia de esta con el mortero. Las piedras pueden ser de forma cualquiera y sus dimensiones deben ser de al menos 10 cm. Las piedras deben ser de materiales que tengan un peso mínimo de 1400 kg/m³.

Arena: La arena para mortero debe llenar los requisitos para agregados finos de acuerdo con los requisitos de la Norma ASTM C 144-02³⁹ o su equivalente en la Norma AASHTO M 45-89⁴⁰.

³⁹ ASTM C 144-02: Especificación para agregados para mortero de albañilería

⁴⁰ AASHTO M 45-89: Especificación de agregados para mortero

**Tabla 3.19: DISTRIBUCION GRANULOMETRICA
DE LA ARENA A UTILIZAR EN OBRAS DE
MAMPOSTERIA**

MALLA	% QUE PASA	
	Arena Natural	Arena Fabricada
No. 4 (4.75mm)	100	100
No. 8 (2.36mm)	95-100	95-100
No. 16 (1.18mm)	70-100	70-100
No. 30 (600µm)	40-75	40-75
No. 50 (300µm)	10-35	20-40
No. 100 (150µm)	2-15	10-25
No. 200 (75µm)	0-5	0-10

Fuente: Norma ASTM C 144-02⁴¹

Cemento: Debe ser fabricado con base en la norma ASTM C 1157-02⁴²

Agua: Debe ser agua limpia exenta de materiales orgánicos, excesos de arcilla y libre de sales perjudiciales al cemento.

3.2.11.3 Maquinaria y equipos

Equipo manual: Palas, piochas, carretillas, azadones.

3.2.11.4 Procedimiento de ejecución

Las superficies de las piedras se deben humedecer antes de colocarlas, para quitar la tierra, arcilla o cualquier materia extraña, deben ser rechazadas las piedras cuyos defectos no se pueden remover por medio de agua y cepillo. Las piedras limpias se deben ir colocando cuidadosamente en su lugar de tal manera que formen en lo posible

⁴¹ ASTM C 144-02: Especificación para agregados para mortero de albañilería

⁴² ASTM C 1157-02: Especificación Normalizada de Desempeño para Cemento Hidráulico

hiladas regulares. Las separaciones entre piedra y piedra no deben ser menores de 1.5 centímetros ni mayor de 3.0 centímetros.

Se deben colocar las piedras de mayores dimensiones, en la base inferior seleccionando las de mayor dimensión para colocarlas en las esquinas de la estructura. Incluyendo la primera hilada, las piedras se deben colocar de tal manera que las caras de mayor dimensión queden en un plano horizontal, los lechos de cada hilada y la nivelación de sus uniones, se deben llenar y conformar totalmente con mortero. Cuando las piedras sean de origen sedimentario, se deben colocar de manera que el plano de estratificación quede en lo posible normal a la dirección de los esfuerzos.

Excepto en las superficies visibles, cada piedra debe ir completamente recubierta por el mortero.

Las piedras se deben manipular en tal forma, que no golpeen a las ya colocadas para que no alteren su posición. Se debe usar el equipo adecuado para la colocación de las piedras grandes que no puedan ser manejadas por medios manuales. No se debe permitir rodar o dar vuelta a las piedras sobre el muro, ni golpearlas o martillarlas una vez colocadas. Si una piedra se afloja después de que el mortero haya alcanzado el fraguado inicial, se debe remover la piedra y el mortero circundante y colocarla de nuevo.

El mortero debe ser una mezcla de cemento, arena y agua, la proporción a utilizar debe ser de una parte de cemento por tres partes de arena, agregándole la cantidad de agua necesaria para formar una pasta de consistencia tal que pueda ser manejable y que

permita extenderse fácilmente en las superficies de las piedras a ligar y su resistencia mínima a la compresión deberá ser 150 kg/cm^2 .

Si no se usa mezcladora para la elaboración del mortero; el cemento y agregado fino, se deben mezclar con pala en seco, en un recipiente sin fugas, hasta que la mezcla tenga un color uniforme; después de lo cual se le agregará el agua para producir el mortero de la consistencia deseada.

El mortero se debe preparar en cantidades necesarias para uso inmediato, siendo 30 minutos el máximo de tiempo para emplearlo y en ningún caso, se debe permitir el retemple del mortero.

Inmediatamente después de la colocación de la mampostería, todas las superficies visibles de las piedras se deben limpiar de las manchas de mortero y mantenerse limpias hasta que la obra esté terminada.

La mampostería se debe mantener húmeda durante 3 días después de haber sido terminada. No se debe aplicar ninguna carga exterior sobre o contra la mampostería de piedra terminada, por lo menos durante 14 días después de haber terminado el trabajo. Las superficies y las uniones de las piedras de las estructuras de mampostería de piedra, no se deben repellar si los planos no indican lo contrario.

3.2.11.5 Medición y forma de pago

La medición de esta actividad se hará por metro cúbico de mampostería de piedra para estructuras menores terminadas en obra. El pago de esta actividad medido por metro

cúbico será la plena compensación por el suministro de todos los materiales aquí especificados; equipo, herramientas, mano de obra y demás trabajos imprevistos para poder ejecutar correctamente esta actividad.

3.2.11.6 Tabla de muestreo y control

Tabla 3.20: OBRAS DE MAMPOSTERIA VARIAS

DESCRIPCION	MUESTREO
Características de la piedra	1 cada banco de préstamo
Granulometría de la arena	1 cada banco de préstamo
Resistencia de mortero ASTM C 109/C 109M-02 ⁴³	3 cubos por cada 150 m ² de empedrado fraguado

Fuente: Condiciones técnicas/2012, Fondo de Conservación Vial (FOVIAL)

⁴³ ASTM C 109/C 109M-02 Método Normalizado de Ensayo de Resistencia a Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico (Utilizando Especímenes Cúbicos de 2 in. o [50-mm])

3.2.12 Recepción final

3.2.12.1 Descripción

Este trabajo consistirá en la aceptación final por parte del contratista, supervisor y propietario de la obra, dando como terminado la correcta ejecución del proyecto.

3.2.12.2 Procedimiento de ejecución

Cuando el Contratista notifica que la totalidad del proyecto está terminado, debe programarse una inspección. Si se comprueba que todo el trabajo ha sido completado, esta inspección constituirá la inspección final y el Contratista será notificado por escrito de la aceptación a partir de la fecha de esa inspección final. La aceptación final releva al Contratista de la responsabilidad futura de mantenimiento del proyecto.

Si la inspección determina trabajos insatisfactorios, el Contratista recibirá una lista de tales trabajos incompletos o que requieren corrección. Tan pronto complete o corrija el trabajo, el Contratista deberá notificar de nuevo al Contratante, para programar y efectuar una nueva inspección y resolución.

CAPITULO IV: ENSAYOS DE LABORATORIO

4.1 INTRODUCCION

En la correcta ejecución de un pavimento de empedrado fraguado es necesario conocer el estrato de suelo en el cual se cimentará, por lo cual las propiedades físicas y mecánicas de estos suelos que soportarán la estructura son el elemento de ayuda para el diseño.

Para la investigación de las propiedades de los suelos es necesario realizar un reconocimiento del terreno, en el cual se tomarán muestras de campo representativas de los suelos en donde se cimentará la estructura del pavimento.

En el presente capítulo se dan a conocer los ensayos de laboratorio que se le realizan a los diferentes elementos de la estructura, en los cuales se detallan el procedimiento a realizar para su correcta ejecución y obtención de valores representativos de campo.

Para el estudio de la subrasante se tomó como referencia los datos obtenidos en la campaña geotécnica realizada del proyecto de apertura de calle que unirá el municipio de Arcatao, departamento de Chalatenango, El Salvador con el municipio de Valladolid, departamento de Valladolid, Honduras.

4.2 SUBRASANTE

4.2.1 Trabajo de campo en Arcatao, Chalatenango

Consistió en la extracción de muestras in-situ alteradas para lo cual realizamos pozos a cielo abierto en tramos separados aproximadamente 500 metros a lo largo del eje proyectado de la calle; por lo cual, las muestras fueron extraídas descartando los primeros 20-30 centímetros de la capa superficial, y considerando para la campaña geotécnica el material de suelo inmediatamente después del removido hasta una profundidad de 1.20 metros. Se obtuvo por cada pozo 3 cantidades aproximadas de $\frac{3}{4}$ partes del volumen del saco, lo cual se consideró suficiente para los ensayos requeridos.

Seguidamente fueron identificadas con el estacionamiento respectivo del pozo que fueron extraídas, luego de eso se empaquetaron y transportadas adecuadamente a un destino previo al envío para laboratorio.

En toda la campaña se realizaron un total de diez pozos a cielo abierto desde la salida del municipio de Arcatao hasta la calle ya construida a conectar, los pozos efectuados se identificaron de la siguiente manera:

Tabla 4.1: UBICACION DE LOS POZOS A CIELO ABIERTO

PCA	1	2	3	4	5
Estacionamiento	0+000	0+500	1+000	1+500	2+000
PCA	6	7	8	9	10
Estacionamiento	2+500	3+000	3+500	4+000	4+123

Fuente: Campaña geotécnica en el municipio de Arcatao, Chalatenango

4.2.2 Ensayos de laboratorio practicados a las muestras de campo en laboratorio

Con las muestras ya ubicadas en el laboratorio, se procedió a mezclar las incrementos de cada saco obtenidos de un mismo pozo a fin de generar una mezcla compuesta, para enseguida preparar la reducción de muestra a tamaño de ensayo según norma AASHTO T 248-02⁴⁴ y ASTM C 702-98⁴⁵ (Reaprobada 2003).

A partir de eso se efectuaron una serie de ensayos necesarios para el correcto diseño, los cuales se enlistan a continuación:

- Granulometría según Norma AASHTO T 27-93⁴⁶ y ASTM D 422-01⁴⁷.
- Límite líquido, límite plástico e índice de Plasticidad según Norma AASHTO T 89-02⁴⁸ y AASHTO T 90-00⁴⁹ respectivamente.
- Clasificación para propósitos de ingeniería según Norma AASHTO M 145-03-91⁵⁰ (2008) y ASTM D 2487-00⁵¹.
- Relación densidad humedad según Norma AASHTO T 180-02⁵² (Proctor modificado)
- CBR según Norma AASHTO T 193-99⁵³.

⁴⁴ AASHTO T 248-02: Método estándar para la reducción de muestras de agregado a tamaño de ensayo

⁴⁵ ASTM C 702-98: Práctica estándar para la reducción de muestras de agregado a tamaño de ensayo

⁴⁶ AASHTO T 27-93: Método de ensayo para análisis granulométrico de agregados finos y gruesos

⁴⁷ ASTM D 422-01: Método de ensayo para el análisis de tamaño de partículas de los suelos

⁴⁸ AASHTO T 89-02: Método de ensayo para determinar el límite líquido de los suelos

⁴⁹ AASHTO T 90-00: Método de ensayo para determinar el límite plástico y el índice de plasticidad de los suelos

⁵⁰ AASHTO M-145-06: Especificación para Clasificación de Suelos y Mezclas de agregados de suelo, con fines de construcción de carreteras

⁵¹ ASTM D 2487-00: Clasificación de suelos para propósitos de ingeniería

⁵² AASHTO T 180-02: Método de ensayo para las Relaciones Densidad-humedad de los suelos mediante un pisón de 4.54 kg (10-lb) y caída de 457-mm (18 plg.)

⁵³ AASHTO T 193-99: Método de ensayo para determinar la relación de soporte de California

Tabla 4.2: RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE LA SUBRASANTE

No	EST.	Profundidad (m)	Clasificación de suelo		PASANTE DE MALLA				LIMITES			Proctor T 180-02			CBR (%)
			AASHTO	SUCS	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Humedad Nat. (%)	PSV Máximo (Kg/m ³)	Humedad Óptima (%)	
1	0+000	1.2	A-2-7(0)	GC: Grava Arcillosa con Arena	59	57	51	33	51	39	12	11	1442	28	7
2	0+500	1.2	Estrato rocoso		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	0+600	1.2	A-7-5 (2)	SM: Arena limosa con grava	75	70	63	46	42	31	11	13	1610	24	19
4	1+000	1.2	A-2-6 (0)	SM: Arena limosa con grava	10	67	41	29	40	28	12	12	1711	23	21
5	1+500	1.2	A-2-5 (0)	SM: Arena limosa	95	76	45	22	42	32	10	14	1484	26	22
6	2+000	1.2	A-5 (9)	MH: Limo elástico Arenoso	97	96	91	72	50	40	10	15	1442	28	6
7	2+500	1.2	A-7-5 (2)	SC: Arena arcillosa con Grava	98	93	88	70	55	42	13	12	1522	23	17
8	3+000	1.2	A-7-5 (11)	MH: Limo elástico Arenoso	94	91	82	71	56	44	12	11	1504	26	16
9	3+500	1.2	A-7-5(13)	MH: Limo elástico Arenoso	95	94	89	79	51	39	12	14	1469	27	20
10	4+000	1.2	A-4(5)	ML: Limo arenosos	99	97	89	67	40	7	33	13	1474	23	18
11	4+123	1.2	A-7-5(3)	SM: Arena limosa	95	92	77	43	58	45	13	12	1505	24	12

4.3 RESISTENCIA A LA FLEXION DE MAMPOSTERIA (MORTERO Y PIEDRA)

4.3.1 Elaboración de vigas de empedrado

El objetivo de la elaboración de vigas de empedrado obedece a la medición de la resistencia a la tensión del mortero, para estimar la carga para la cual se desarrolla el agrietamiento. Para ello se somete a flexión una viga hasta el máximo esfuerzo a flexión por tensión que se alcanza en la fibra inferior de la viga es el módulo de ruptura.

Para determinar este máximo esfuerzo se utilizarán vigas de dimensiones estándar y vigas modificadas.

VIGA ESTANDAR (15 x 15 x 60 cm)

Este dimensionamiento de vigas es el utilizado para el ensayo a flexión de concreto bajo la norma ASTM C 78-02⁵⁴, la cual se tomará como referencia para la realización del ensayo.

VIGA MODIFICADA (20 x 30 x 60 cm)

Utilizaremos una viga modificando sus dimensiones en ancho y alto, debido al tamaño del agregado que se utiliza (piedra) y además que se pretende realizar un modelo de viga que se asemeje a los espesores de empedrados fraguados que se construyen en campo.

⁵⁴ ASTM C 78-02: Método de Prueba Estándar para la Resistencia a la Flexión del Concreto (Utilizando Viga Simple con carga al tercio medio)

- **Altura:** Se utilizará una altura de 20 cm el cual se estableció debido al tamaño de la piedra que se utilizada (10 a 15 cm), más una capa de mortero que será utilizada como nivelante de la superficie superior para la correcta distribución de cargas en el espécimen.
- **Ancho:** Se utilizará un ancho de 30 cm para acomodar al menos dos líneas de piedra cuatrapeadas entre sí.

4.3.2 Material y equipo

- Arena del río las Cañas, San Salvador
- Cemento fabricado en base a Norma ASTM C 1157-02⁵⁵
- Agua
- Piedra basáltica
- Molde de metal de 15x15x60 cm (estándar)
- Molde de madera de 20x30x60 cm (modificada)
- Cubos metálicos de 52 mm
- Grasa
- Herramientas y utensilios: palas, cubetas, cucharón de albañil, cinta métricas
- Máquina universal para aplicar carga uniforme y perpendicular a la cara de las viguetas y aplicada sin excentricidad

⁵⁵ ASTM C 1157-02: Especificación Normalizada de Desempeño para Cemento Hidráulico

4.3.3 Requisitos que deben cumplir los materiales y equipo

1. Verificar que la arena cumpla con los requisitos de la Norma ASTM C 144-02⁵⁶ o su equivalente en la Norma AASHTO M 45-89⁵⁷.

Se utilizó arena del río las Cañas y se verificó que cumpliera con las especificaciones de arena para mortero, obteniendo los siguientes valores:

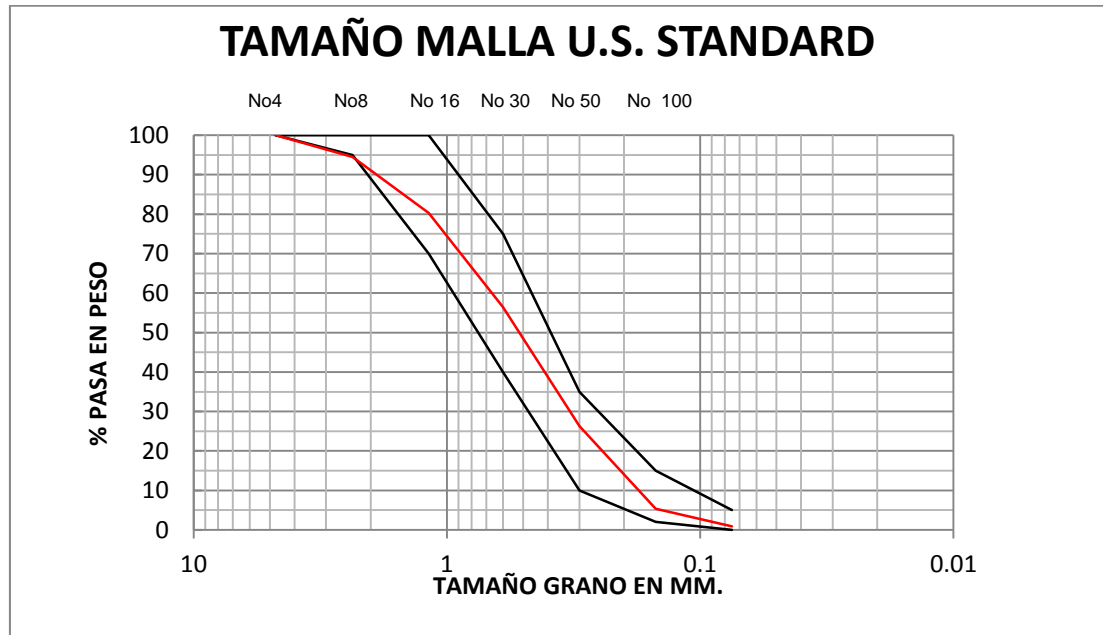
Tabla 4.3: AGREGADO CONSTITUYENTE DEL MORTERO

Mallas	Mallas (mm)	Masa Retenida	% Retenido		% Que pasa
			Parcial	Acumulado	
No 4	4.750	0.0	0	0	100
No 8	2.360	18.2	5	5	95
No 16	1.180	47.1	14	20	80
No 30	0.600	79.2	24	44	56
No 50	0.300	100.1	30	74	26
No 100	0.150	69.3	21	95	5
No 200	0.075	14.8	4	99	1
Pasa	0.000	3.0	1	100	0

⁵⁶ ASTM C 144-02: Especificación de agregados para mortero

⁵⁷ AASHTO M 45-89: Especificación de agregados para mortero

Figura 4.1: LIMITES DE GRADUACION DE LA ARENA PARA MORTERO



Fuente: Norma ASTM C 144-02

2. Cemento fabricado con base en la norma ASTM C 1157-02⁵⁸ Tipo GU (uso general) que se encuentra en el mercado.
3. Piedra con al menos dos caras fracturadas.

⁵⁸ ASTM C 1157-02: Especificación Normalizada de Desempeño para Cemento Hidráulico

Figura 4.2: PIEDRA A UTILIZAR EN LAS VIGAS



4.3.4 Elaboración de molde

Para la elaboración de molde de viga de 20x30x60 cm (modificada), de esta se utilizó plywood de ¼”, refuerzos de madera, clavos y masilla

1. Corte de los elementos que conformaran el molde de acuerdo a las dimensiones establecidas (Ver Figura 4.3.1).
2. Clavado de los elementos que conforman el molde (Ver figura 4.3.2).
3. Presentación de moldes de madera (Ver Figura 4.3.3).
4. Sellado de las juntas de madera por medio de masilla (Ver Figura 4.3.4).

Figura 4.3: ELABORACION DE MOLDES DE VIGA MODIFICADA



4. Máquina universal la cual deberá aplicar una carga uniforme y perpendicular a la cara de las viguetas y sin excentricidad.

4.3.5 Dosificación de los materiales

1. La resistencia mínima esperada para el mortero será de 17.2 MPa, siendo este un Mortero Tipo M con una proporción que deberá cumplir con lo establecido en la Norma ASTM C 270-07⁵⁹.

Tabla 4.4: ESPECIFICACION DE MORTERO POR PROPIEDADES

Mortero	tipo	Resistencia a la compresión promedio mínima MPa (lb/pulg ²)	Retención de agua mínima %	Contenido de aire máximo %	Proporción de agregado (medido en condiciones húmedo suelto)
Cemento -cal	M	17,2 (2500)	75	12	No menos que 2¼ y no más que 3½ veces de los volúmenes separados de materiales cementantes
	S	12,4 (1800)	75	12	
	N	5,2 (750)	75	14	
	O	2,4 (350)	75	14	
Cemento para mortero de pega	M	17,2 (2500)	75	12	
	S	12,4 (1800)	75	12	
	N	5,2 (750)	75	14	
	O	2,4 (350)	75	14	
Cemento de mampostería	M	17,2 (2500)	75	18	
	S	12,4 (1800)	75	18	
	N	5,2 (750)	75	20	
	O	2,4 (350)	75	20	

Fuente: Norma ASTM C 270-07

2. Volumen de los materiales que se utilizaron:

Tabla 4.5: CALCULO DE MATERIALES

Material	Volumen (L)	Volumen (m ³)
Piedra	22.8	0.023
Arena	57	0.057
Cemento	21	0.021
Agua	15	0.015
Volumen	115.8	0.116
10 % de Desperdicio	11.58	0.012
Volumen Total	127	0.127

⁵⁹ ASTM C 270-07: Especificaciones de mortero de pega para unidades de mampostería

3. Relación Agua – Cemento utilizada

Gravedad específica del cemento 1.17

$$W_{cem} = Vol \times G_s$$

$$W_{cem} = 0.021 \text{ m}^3 \times 1170 \text{ kg/m}^3 = 24.57 \text{ kg}$$

$$\frac{a}{c} = \frac{15}{24.57} \rightarrow \frac{a}{c} = \mathbf{0.61}$$

4. Dosificación de Mortero (Cemento : Arena)

$$\frac{\text{Volumen de arena}}{\text{Volumen de cemento}} = \frac{57}{21} = 2.714$$

Relación por volumen de Mortero 1:2.7. (Cumple con la Norma)

4.3.6 Elaboración de las vigas y cubos de mortero

1. Engrasado, colocación de los moldes y materiales en un lugar limpio y nivelado (Ver Figura 4.4.1 y 4.4.2).
2. Elaboración de mortero en concretera con las proporciones anteriormente establecidas.
3. Colocación de la capa de mortero de 5 cm en el fondo del molde (Ver Figura 4.4.3).
4. Colocación de las piedras en forma cuatrapeadas (Ver Figura 4.4.4)
5. Sellado de las uniones entre piedra y piedra con mortero (Ver Figura 4.4.5) y varillado.
6. Colocación y nivelado de la capa superior con mortero y elaboración de los cubos de mortero (Ver Figura 4.4.6).

Figura 4.4: ELABORACION DE VIGAS Y CUBOS



4.3.7 Curado de los especímenes

1. Colocación de papel húmedo y plástico para mantener humedad en los especímenes en situ durante siete días (Ver Figura 4.5.1 y 4.5.2), para su posterior desmoldado.
2. Transporte de los especímenes a una habitación con humedad controlada (Ver Figura 4.5.3, 4.5.4 y 4.5.5).
3. Permanencia de los especímenes en la habitación húmeda hasta cumplir la edad de ensayo de los especímenes (Ver Figura 4.5.6).

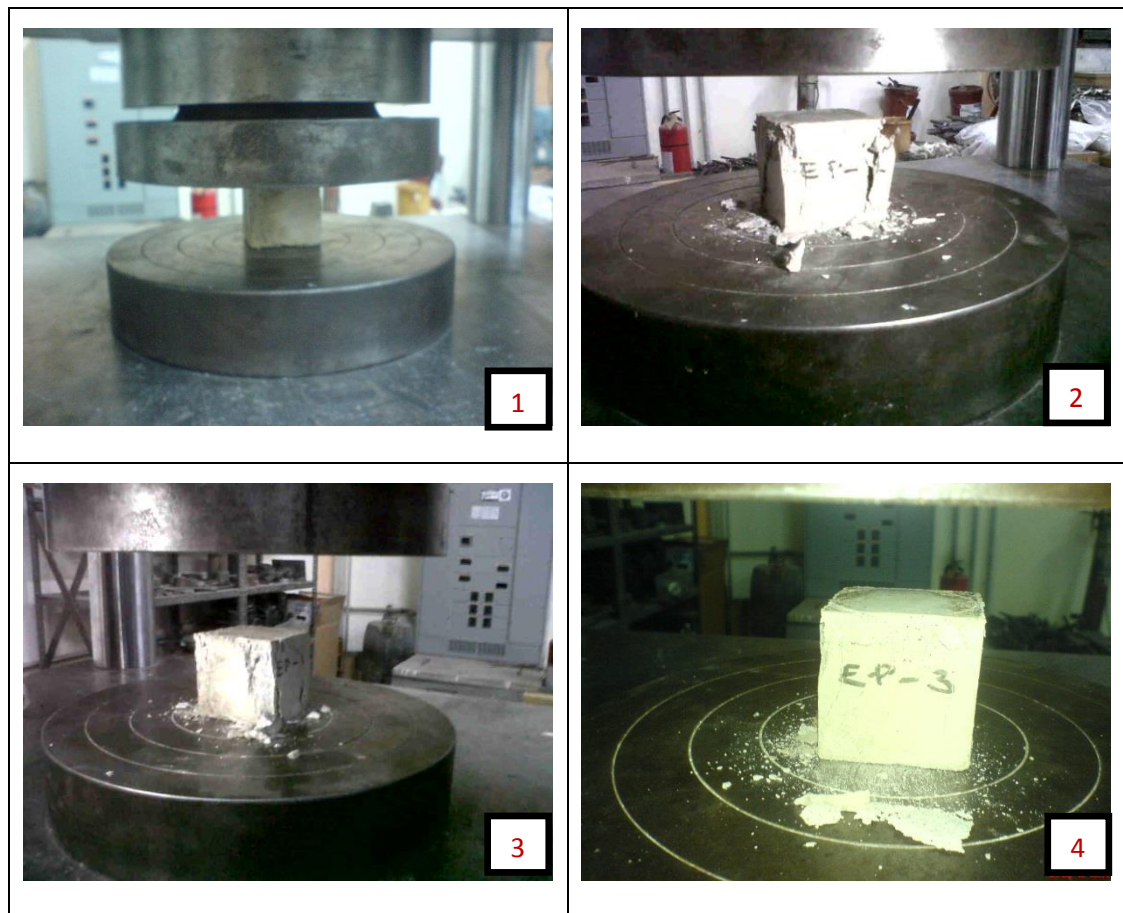
Figura 4.5: PROCESO DE CURADO DE VIGAS Y CUBOS

4.3.8 Ensayo de compresión del mortero

Para este ensayo se utilizó el procedimiento según la Norma ASTM C109/C109M-08⁶⁰

1. Colocación del espécimen y aplicación de la carga (Ver Figura 4.6.1).
2. Falla de especímenes (Ver Figura 4.6.2, 4.6.3 y 4.6.4).

Figura 4.6: ENSAYO DE CUBOS DE MORTERO

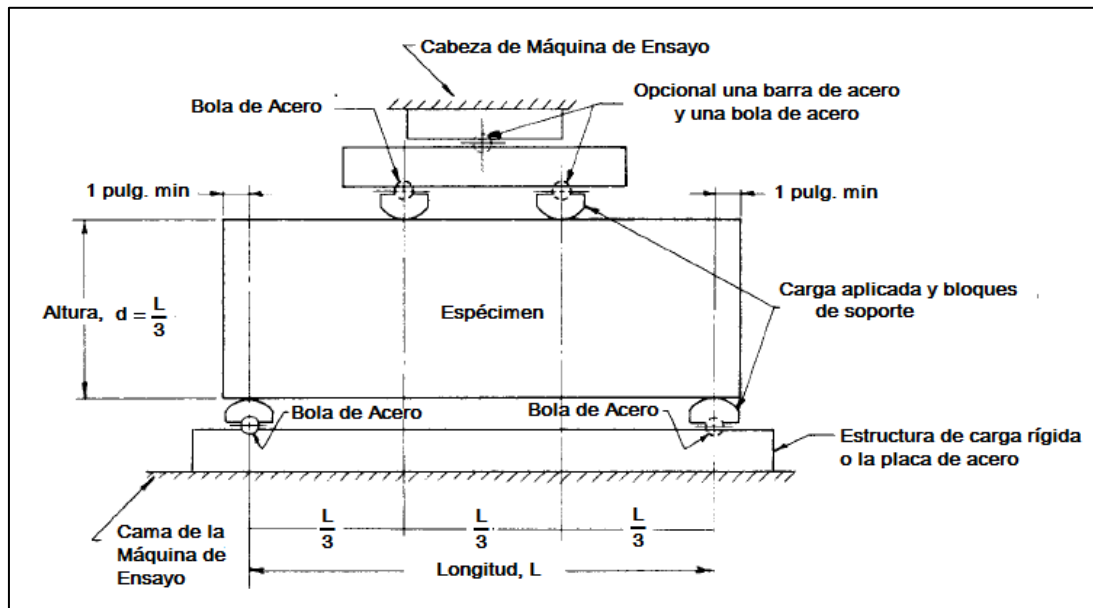


⁶⁰ ASTM C109/C109M-08: Método de ensayo estándar para la compresión de cubos de mortero

4.3.9 Ensayo de flexión de la mampostería

Para la realización de este ensayo se utiliza la Máquina universal para aplicación de cargas uniforme. Los puntos de apoyo a utilizar serán los establecidos en la Norma ASTM C 78-02⁶¹, el cual utiliza una viga simple apoyada con carga en los tercios medios del claro.

Figura 4.7: PUNTOS DE APOYO Y APLICACION DE CARGAS



NOTA: En la viga de tamaño modificado se utilizó un alto de 20 cm.
Fuente: Norma ASTM C 78-02

4.3.9.1 Procedimiento de ensayo de viga de tamaño modificado

1. Peso del espécimen (Ver Figura 4.8.1).
2. Colocación del espécimen en los puntos de apoyo, para lo cual se utilizó madera y varillas de acero de $\frac{1}{2}$ " en los puntos de aplicación de la carga, así como tubos

⁶¹ ASTM C 78-02: Método de Prueba Estándar para la Resistencia a la Flexión del Concreto (Utilizando Viga Simple con carga al tercio medio)

de acero de diámetro de 2" en los puntos de apoyo de la viga (Ver Figura 4.8.2 y 4.8.3) y aplicación de la carga.

3. Falla del espécimen (Ver Figura 4.8.4, 4.8.5 y 4.8.6)
4. Especimen después del ensayo (Ver Figura 4.8.7 y 4.8.8)

Figura 4.8: PROCESO DE ENSAYO DE VIGA DE TAMAÑO MODIFICADO

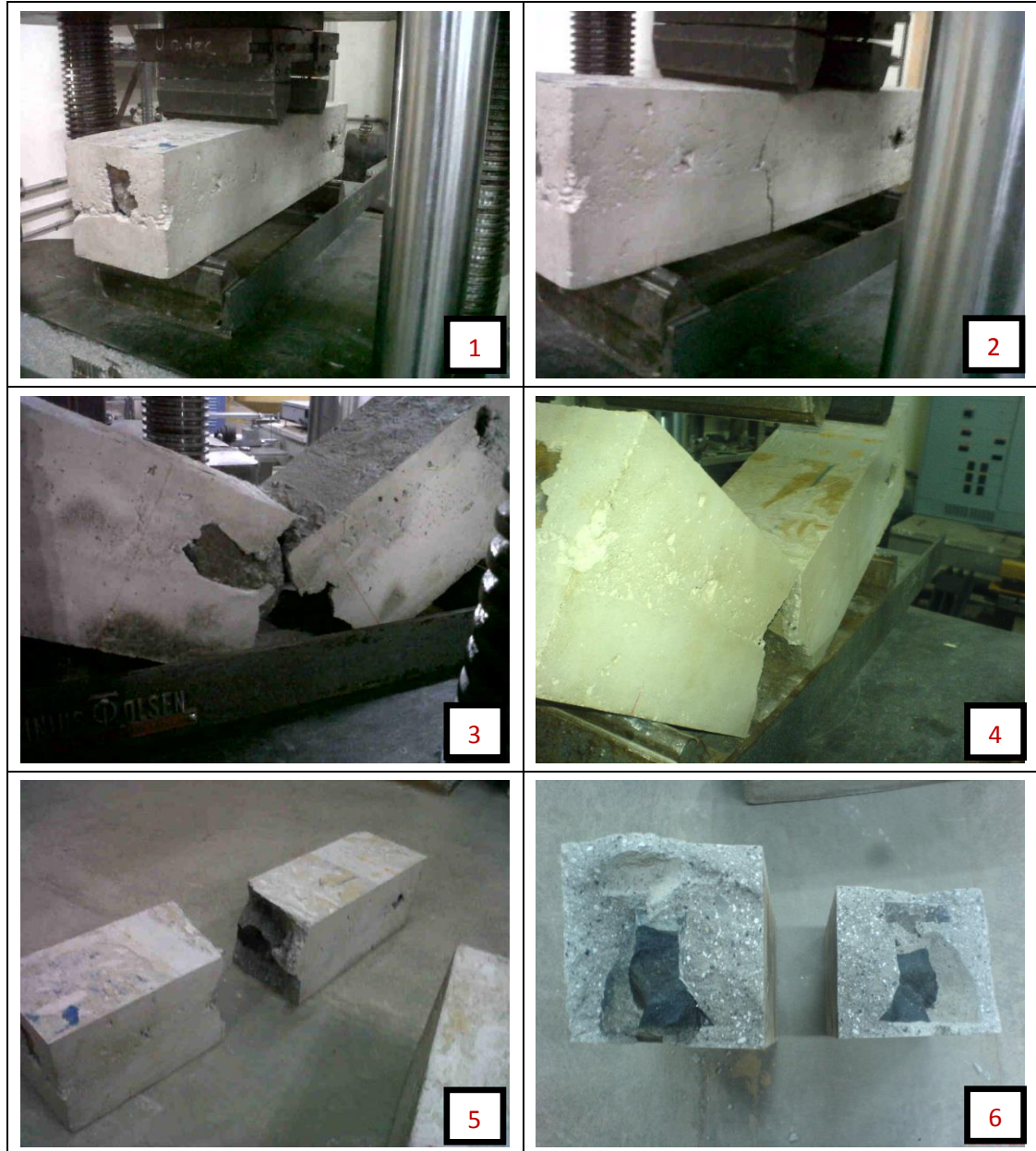
4.3.9.2 Procedimiento de ensayo de viga de tamaño estándar

Para este ensayo se utilizaron los apoyos que se utilizan en vigas de concreto y se procedió a ensayar según la Norma ASTM C 78-02⁶².

1. Colocación del espécimen en los puntos de apoyo y aplicación de la carga (Ver Figura 4.9.1).
2. Falla del espécimen (Ver Figura 4.9.2, 4.9.3 y 4.9.4).
3. Especimen después de ensayo (Ver Figura 4.9.5).
4. Se observa falla en una de las piedras del espécimen (Ver Figura 4.9.6).

⁶² *ASTM C 78-02: Método de Prueba Estándar para la Resistencia a la Flexión del Concreto (Utilizando Viga Simple con carga al tercio medio)*

Figura 4.9: PROCESO DE ENSAYO DE VIGA DE TAMAÑO ESTANDAR



4.3.10 Memoria de cálculo

4.3.10.1 Resistencia a la compresión del mortero

1. Determinación del área del espécimen

$$A_i = L_1 \times L_2$$

$$A_{EP-1} = 5.14 \times 5.32 = \mathbf{27.34 \text{ cm}^2}$$

$$A_{EP-2} = 5.12 \times 5.30 = \mathbf{27.14 \text{ cm}^2}$$

$$A_{EP-3} = 5.10 \times 5.30 = \mathbf{27.03 \text{ cm}^2}$$

2. Peso volumétrico del espécimen

$$Wvol_i = W_i / Vol_i$$

$$Wvol_{EP-1} = \frac{260.0}{5.14 \times 5.32 \times 5.10} = 1.864 \text{ gr/cm}^3 \approx \mathbf{1864 \text{ kg/m}^3}$$

$$Wvol_{EP-2} = \frac{257.5}{5.12 \times 5.30 \times 5.17} = 1.835 \text{ gr/cm}^3 \approx \mathbf{1835 \text{ kg/m}^3}$$

$$Wvol_{EP-3} = \frac{254.9}{5.10 \times 5.30 \times 5.10} = 1.849 \text{ gr/cm}^3 \approx \mathbf{1849 \text{ kg/m}^3}$$

3. Peso volumétrico promedio de ensayo

$$Wvol_{prom} = \frac{\sum Wvol}{3}$$

$$Wvol_{prom} = \frac{1864 + 1835 + 1849}{3}$$

$$W_{vol_{prom}} = 1849 \text{ kg/m}^3$$

4. Resistencia a Compresión de cada espécimen según ASTM C 109/C 109M-08⁶³

$$f_c = \frac{\text{Carga Maxima Soportada}}{\text{Area Especimen}}$$

$$f_{c1} = \frac{5650}{27.34} = 206.7 \rightarrow f_{c1} = 207 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{c2} = \frac{5850}{27.14} = 215.5 \rightarrow f_{c2} = 216 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{c3} = \frac{6300}{27.03} = 233.0 \rightarrow f_{c3} = 233 \text{ kg/cm}^2$$

5. Resistencia Promedio del Ensayo

$$f_{c_{prom}} = \frac{f_{c1} + f_{c2} + f_{c3}}{3}$$

$$f_{c_{prom}} = \frac{207 + 216 + 233}{3} = 218.7$$

$$f_{c_{prom}} = 219 \text{ kg/cm}^2 = 21.47 \text{ MPa}$$

Para un Mortero Tipo M la resistencia mínima a la compresión deberá ser de 17.2 MPa:

$$f_{c_{ensayo}} = 21.47 \text{ MPa} > 17.2 \text{ MPa} \quad \text{OK.}$$

⁶³ ASTM C 109/C 109M-08: Método de ensayo estándar para la compresión de cubos de mortero

4.3.10.2 Vigueta estándar

1. Determinación del ancho promedio del espécimen

$$b = \frac{\sum A_{superiores} + \sum A_{inferiores}}{6}$$

$$b = \frac{14.7 + 14.5 + 14.6 + 14.8 + 14.8 + 14.7}{6} = 14.7 \rightarrow \mathbf{b = 14.7 \text{ cm}}$$

2. Determinación de la altura promedio del espécimen

$$d = \frac{\sum Alturas}{3}$$

$$d = \frac{14.8 + 14.7 + 14.8}{3} = 14.8 \rightarrow \mathbf{d = 14.8 \text{ cm}}$$

3. Determinación de largo promedio del espécimen

$$l = \frac{\sum Largos}{3}$$

$$l = \frac{60.3 + 60.4 + 60.4}{3} = 60.4 \rightarrow \mathbf{l = 60.4 \text{ cm}}$$

4. Resistencia a la Flexión del espécimen según ASTM E 518-02⁶⁴

$$MR = \frac{(P + 0.75P_s)l}{bd^2}$$

Dónde:

MR: Modulo de Ruptura, Kg/cm²

⁶⁴ ASTM E 518-02: Método de prueba estándar para determinar el esfuerzo de adherencia por flexión en mampostería

P: Carga máxima aplica, Kg

P_s: Peso del espécimen, Kg

b: Ancho promedio del espécimen, cm

d: Altura promedio del espécimen, cm

$$MR = \frac{[1500 + (0.75 \times 28.5)]60.4}{14.7 \times 14.8^2} = 28.54$$

$$MR = 29 \text{ Kg/cm}^2$$

4.3.10.3 Vigueta modificada

1. Determinación del ancho promedio del espécimen

$$b = \frac{\sum A_{superiores} + \sum A_{inferiores}}{6}$$

$$b = \frac{30.5 + 32.0 + 30.2 + 29.8 + 30.0 + 30.0}{6} = 30.4 \rightarrow \mathbf{b = 30.4 \text{ cm}}$$

2. Determinación de la altura promedio del espécimen

$$d = \frac{\sum Alturas}{3}$$

$$d = \frac{20.1 + 20.3 + 20.1}{3} = 20.2 \rightarrow \mathbf{d = 20.2 \text{ cm}}$$

3. Determinación de largo promedio del espécimen

$$l = \frac{\sum Largos}{3}$$

$$l = \frac{59.9 + 59.7 + 60.0}{3} = 59.9 \rightarrow \mathbf{l = 59.9 \text{ cm}}$$

4. Resistencia a la Flexión del espécimen según ASTM E 518-02⁶⁵

$$MR = \frac{(P + 0.75P_s)l}{bd^2}$$

Dónde:

MR: Modulo de Ruptura, Kg/cm²

P: Carga máxima aplica, Kg

P_s: Peso del espécimen, Kg

b: Ancho promedio del espécimen, cm

d: Altura promedio del espécimen, cm

$$MR = \frac{[3900 + (0.75 \times 80.8)]59.9}{30.4 \times 20.2^2} = 19.13$$

$$MR = 19 \text{ Kg/cm}^2$$

4.3.11 Resultados obtenidos

Tabla 4.6: RESULTADOS DE LABORATORIO

Resistencias Mecánicas	Valor Obtenido
Compresión del mortero	219 kg/cm ²
Módulo de Ruptura	
Vigueta estándar	29 kg/cm ²
Vigueta modificada	19 kg/cm ²

⁶⁵ ASTM E 518-02: Método de prueba estándar para determinar el esfuerzo de adherencia por flexión en mampostería

Se tomara el valor de módulo de ruptura obtenido en la viga modificada (19 kg/cm^2), debido a que presenta una mayor similitud a los pavimentos de empedrado fraguado que se construyen en el campo.

**CAPITULO V: APLICACION Y
PROPUESTA DE METODOLOGIA
DE DISEÑO**

5.1 INTRODUCCION

En la ejecución de un proyecto de pavimentación de empedrado fraguado es necesario implementar una metodología de diseño técnicamente aceptable que se encuentre basada en las propiedades mecánicas de la subrasante y capa de rodadura, que permita simular las condiciones desfavorables que se puedan presentar en campo durante el periodo de vida útil del pavimento.

Para lo cual en el siguiente capítulo se presenta una metodología de diseño, la cual utiliza parámetros determinados durante el transcurso de esta investigación, dando así los resultados obtenidos mediante una memoria de cálculo que cumpla con los requerimientos técnicos propuestos para este tipo de estructura.

5.2 METODOLOGIA DE DISEÑO

5.2.1 Diseño de pavimentos

Pavimentos unicapa de alto desempeño

Son una estructura de pavimento formada por una sola capa usando el suelo existente en el camino, mezclado con un porcentaje de cemento Portland de entre 11 y 20% en peso, que compactada al porcentaje de diseño es capaz de soportar las cargas y el desgaste producido por el tráfico, proporcionando a la vez una superficie de rodaje adecuada.

La filosofía de este pavimento es similar a la del concreto compactado, pero empleando un suelo natural como material de partida en vez de agregados procesados. Este tipo de pavimento tiene un campo de aplicación específico en la red vial no pavimentada y constituye una alternativa a las tradicionales intervenciones de colocación de balasto que se hacen dos veces por año (antes y después de la época lluviosa). Las propiedades estructurales de los pavimentos unicapa, dependen del tipo de suelo y del contenido de cemento así como de la energía de compactación y del curado.

Justificación de la elección de la metodología de diseño

El diseño de los empedrados fraguados se realizará mediante el diseño de pavimentos unicapa de alto desempeño, debido a que este tipo de pavimentos se comporta como una sola capa de rodadura continua, la cual es colocada directamente sobre la subrasante. Los pavimentos construidos por empedrado fraguado se espera que posean una resistencia mayor a los pavimentos unicapa, pero a su vez una resistencia menor que los pavimentos de concreto.

Tabla 5.1: MODULOS DE RUPTURA EN PAVIMENTOS

PAVIMENTOS UNICAPA		EMPEDRADO		PAVIMENTOS DE CONCRETO	
Tipo de Suelo	MR	Capa de rodadura	MR de laboratorio	Tipo de Carretera	MR Recomendado
Suelos granulares no plásticos	11 - 23 kg/cm ²	Empedrado fraguado	19 kg/cm ²	Urbanas Principales	48 kg/cm ²
Suelos finos y plásticos	7 - 15 kg/cm ²			Urbanas Secundarias	42 kg/cm ²

Fuente: Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto, Ensayo de Laboratorio y Método de Diseño de Pavimentos AASHTO

5.2.2 Información requerida

- Transito promedio diario anual (TPDA)

TPDA = 100 con un 14% de vehículos pesados, Según la HCM 2000⁶⁶, cuando no existen datos para el diseño.

- Período de Diseño

Para establecer el período de diseño nos basamos en los períodos de diseño recomendados por el Manual de Centroamericano para Diseño de pavimentos.

Tabla 5.2: PERIODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS

Tipo de Carretera	Período de Diseño
Autopista Regional	20 - 40 años
Troncales suburbanas	15 - 30 años
Troncales rurales	
Colectoras suburbanas	10 - 20 años
Colectoras rurales	

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos

Se utilizará el período de diseño para 10 años debido a que el nivel de exigencia en caminos rurales es bajo.

⁶⁶ HCM 2000: Manual de Capacidad de Carreteras edición 2000.

$$PD = 10 \text{ años}$$

- Tasa de Crecimiento Vehicular

Según el Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano de El Salvador, tasa de crecimiento vehicular es de:

$$i = 1.5 \% \text{ anual}$$

Pero según AASHTO⁶⁷ 1993, la tasa de crecimiento mínimo a utilizar para el diseño de pavimentos es de dos por ciento anual, por lo que se utilizará:

$$i = 2.0 \% \text{ anual}$$

- CBR de diseño

Para determinar el módulo de reacción de la subrasante a utilizar en el diseño del empedrado fraguado es necesario definir un único módulo de reacción de diseño, con el cual se efectuará el dimensionamiento de la estructura del pavimento para todo el tramo.

Debido a que en los proyectos no presentan tramos homogéneos, que será necesario determinar un CBR que sea representativo de todo el proyecto.

El Criterio que se adoptará para la definición del CBR de Diseño, se basa en considerar un determinado “porcentaje de cobertura” en función de la importancia ó categoría del camino a diseñar, la importancia o categoría del camino vendrá dada, en este caso, por un parámetro que representa la magnitud de la sollicitación que impondría el tránsito a la

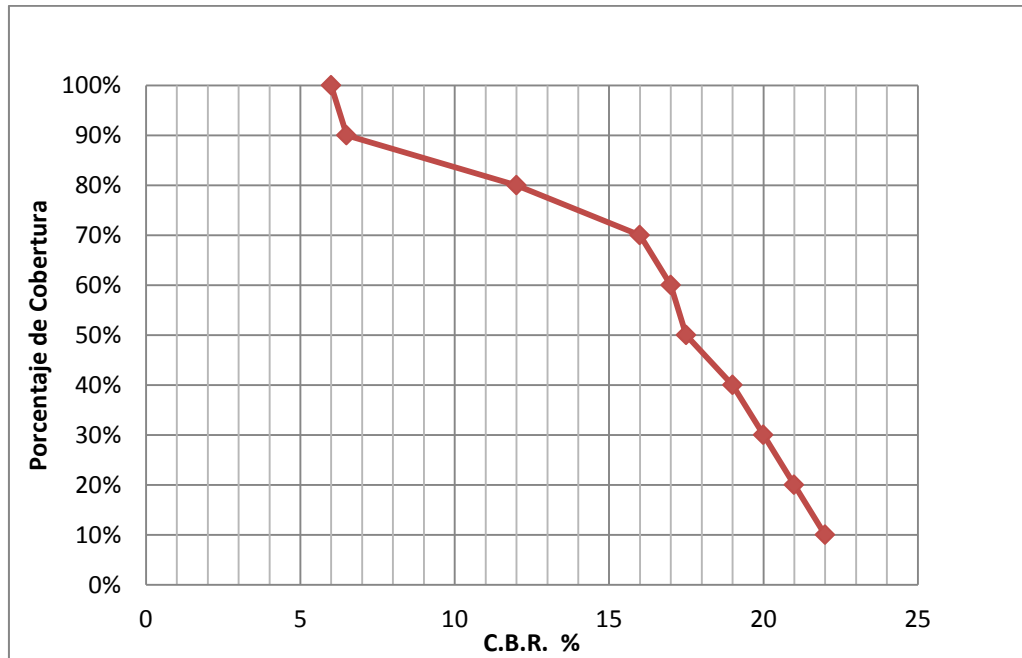
⁶⁷ AASHTO: American Association Of State Highway And Transportation Officials

estructura del pavimento. Este parámetro es “el número de ejes de 8.16 toneladas (ESAL’s), conocidos como ejes equivalentes, en efecto destructivo, acumulados a lo largo del período de diseño (número N)”.

Los porcentajes de cobertura se calculan con los valores de CBR de campo de la siguiente manera:

Tabla 5.3: PORCENTAJES DE COBERTURA DE CBR DECAMPO

% CBR de Campo	Valores mayores o iguales	Porcentaje de Cobertura
6	10	$10/10 \times 100 = 100\%$
7	9	$9/10 \times 100 = 90\%$
12	8	$8/10 \times 100 = 80\%$
16	7	$7/10 \times 100 = 70\%$
17	6	$6/10 \times 100 = 60\%$
18	5	$5/10 \times 100 = 50\%$
19	4	$4/10 \times 100 = 40\%$
20	3	$3/10 \times 100 = 30\%$
21	2	$2/10 \times 100 = 20\%$
22	1	$1/10 \times 100 = 10\%$

Figura 5.1: PORCENTAJE DE COBERTURA - CBR

Para calcular el CBR de diseño utilizamos los percentiles recomendados por SIECA, que retoma del manual del Instituto del Asfalto:

Tabla 5.4: PERCENTILES RECOMENDADOS PARA LA ELECCION DE CBR DE DISEÑO

TRANSITO (ESAL`s)	PERCENTIL RECOMENDADO
$< 10^4$	60
$10^4 - 10^6$	75
$> 10^6$	87.5

Fuente: Manual MS-1 del Instituto del Asfalto

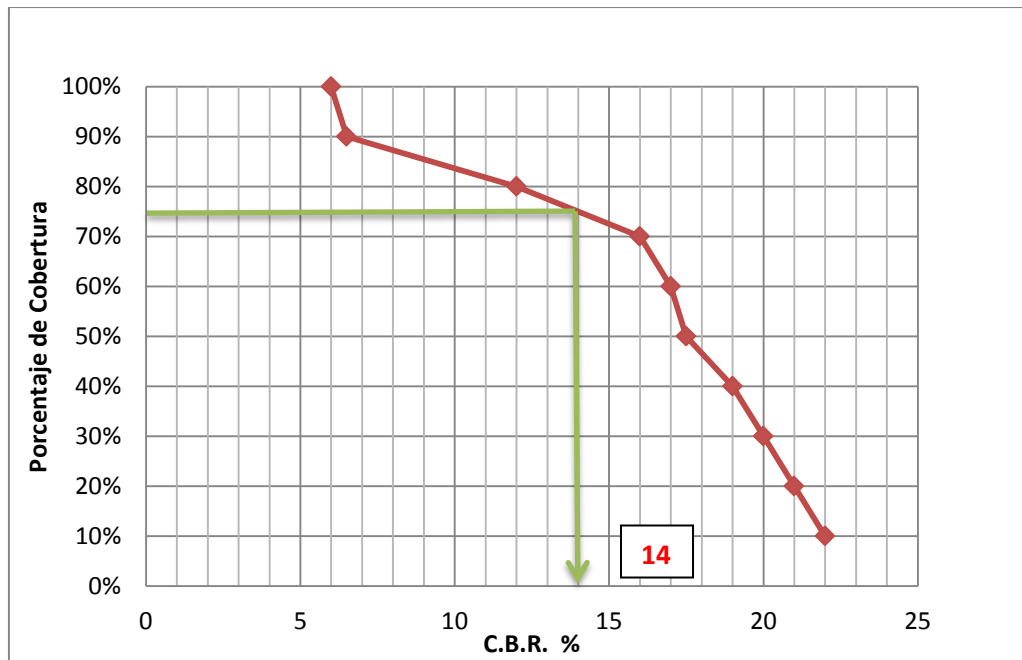
Numero de repeticiones de carga de vehículos pesados en período de diseño (N)

$$N = PD \times 365 \times TPDA \times \%C2$$

$$N = 10 \times 365 \times 100 \times 0.14 = 51100$$

Se encuentra en el rango de $10^4 - 10^6$ ESAL's, por lo tanto el Percentil recomendado es de 75%.

Figura 5.2: DEFINICION DEL VALOR SOPORTE DE DISEÑO



Obteniendo un CBR de diseño de 14 %

- Módulo de reacción de la subrasante K (MPa /m)

Con el CBR de diseño nos auxiliamos de las fórmulas para correlación del módulo de reacción de la subrasante según el Manual de Diseño de Espesores, Pavimentos de Hormigon del ICPA⁶⁸

⁶⁸ ICPA: Instituto del Cemento Portland Argentino

Si: CBR se encuentra entre el 3% y 20% ($3 < \text{CBR} < 20$)

$$K = 2.19 \ln(\text{CBR}) + 0.365 \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \right) \quad \text{Ecuación 1}$$

Si: CBR es mayor de 20% ($\text{CBR} > 20$)

$$K = -0.0006(\text{CBR})^2 + 0.2722(\text{CBR}) + 1.7216 \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \right) \quad \text{Ecuación 2}$$

Para este caso $\text{CBR} = 14\%$, utilizaremos la Ecuación 1

$$K = 2.19 \ln(14) + 0.365 = 6.5697 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$$

$$K = 6.1455 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} = 63 \frac{\text{MPa}}{\text{m}}$$

- Módulo de ruptura a la flexión MR (MPa)

$MR = 19 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 1.86 \text{ MPa}$ Obtenido mediante ensayo de laboratorio

- Módulo de elasticidad E_c (MPa)

$$E_c = 6750 \times MR$$

$$E_c = 6750 \times 1.86 = 12577 \text{ MPa}$$

- Coeficiente de Poisson

Para este valor se tomó el dado en la Monografía M46 del CALCULO DEL COMPORTAMIENTO DE LA MAMPOSTERIA MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS de Barcelona España, Primera Edición, diciembre de 1998.

$$\mu = 0.167 \quad \text{Para mampostería}$$

- Carga por rueda P (MN)

$$P = 2.25 \text{ Ton} = 0.022 \text{ MN} \quad \text{Para un vehículo C2}$$

- Separación entre ruedas s (m)

$$s = 0.50 \text{ m}$$

- Presión de inflado de neumáticos p (MPa)

$$p = 95 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \approx 0.66 \text{ MPa}$$

5.2.3 Método de cálculo

1. Numero de repeticiones de carga de vehículos pesados en período de diseño (N)

$$N = PD \times 365 \times TPDA \times \%C2$$

$$N = 10 \times 365 \times 100 \times 0.14 = 51100$$

2. Factor de crecimiento vehicular para el período de diseño (Fcr)

$$F_{cr} = \frac{(1 + i)^{PD} - 1}{i}$$

$$F_{cr} = \frac{(1 + 0.02)^{10} - 1}{0.02} = 10.95$$

3. Proyección de repeticiones de carga(NR)

$$NR = N \times \left(1 + \frac{F_{cr}}{100}\right)$$

$$NR = 51100 \times \left(1 + \frac{10.95}{100}\right) = 56695$$

4. Relación de Tensiones (SR)

$$SR = 1.20 - 0.10 \log(NR)$$

$$SR = 1.20 - 0.10 \log(56695) = 0.72$$

5. Tensión admisible (σ_{adm})

$$\sigma_{adm} = SR \times M_R$$

$$\sigma_{adm} = 0.72 \times 1.86 = 1.35 \text{ MPa}$$

6. Radio del área de contacto equivalente (a)

$$a = \left(\frac{P}{p \times \pi} \right)^{0.5}$$

Considerando un vehículo de diseño C2

Máxima carga de rueda simple (P)

$$P = 2.25 \text{ Ton} \approx 0.022 \text{ MN}$$

$$a = \left(\frac{0.022}{0.66 \times \pi} \right)^{0.5} = 0.103$$

7. Radio de rigidez relativa de Westergaard (L)

Considerando un espesor de empedrado de 0.175 m.

$$L = \sqrt[4]{\frac{E_c \times h^3}{12 \times (1 - \mu^2) \times K}}$$

$$L = \sqrt[4]{\frac{12577 \times 0.175^3}{12 \times (1 - 0.167^2) \times 63}} = 0.55$$

8. Variable (Y) que relaciona radio equivalente de contacto, radio de rigidez relativo y separación entre llantas

$$Y = 0.33635 - 0.065(S/a) + [0.016(S/a) - 0.58] \ln(a/L)$$

$$Y = 0.33635 - 0.065(0.5/0.103) + [0.016(0.5/0.103) - 0.58] \ln(0.103/0.54)$$

$$Y = 0.86$$

9. Tensión producida por las cargas (σ)

$$\sigma = \frac{N_r \times P}{h^2} \times Y$$

Dónde: N_r = Numero de llantas en la punta del eje

$$\sigma = \frac{2 \times 0.022}{0.175^2} \times 0.86 = 1.24 \text{ MPa}$$

5.2.4 Condicionamientos que debe cumplir el pavimento

1. Tensiones admitidas y producidas

Las tensiones a las cuales serán producidas en el pavimento deberán ser menores a las máximas tensiones que puede admitir el pavimento.

$$\sigma_{adm} > \sigma$$

$$1.35 > 1.24 \text{ OK}$$

2. Condicionamiento del módulo de ruptura

Para esta condición de tomará en cuenta los porcentajes de módulos de ruptura recomendados tanto en pavimentos unicapa (50 %) como en pavimentos de concreto hidráulico (100 %), por lo que se tomara un valor intermedio (75 %), debido que los

empedrados fraguados poseen una resistencia mayor a los pavimentos unicapa, pero a su vez una resistencia menor que los pavimentos de concreto.

$$0.75MR > \sigma$$

$$0.75 \times 1.86 > 1.24$$

$$1.40 > 1.24 \text{ OK}$$

5.2.5 Resultados del diseño del empedrado fraguado

Tabla 5.5: RESULTADOS OBTENIDOS DEL DISEÑO DEL PAVIMENTO

Subrasante	
CBR	14%
Módulo de reacción	63 Mpa/m
Capa de rodadura	
Módulo de ruptura a la flexión	1.86 Mpa
Módulo de elasticidad	12577 Mpa
Espesor	17.5 cm

Además se elaboró un software para el diseño de empedrados fraguados, el cual será para uso de la Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador.

CAPITULO VI: DAÑOS DE LOS EMPEDRADOS FRAGUADOS

6.1 INTRODUCCION

Los daños que presentan los empedrados fraguados en muchas ocasiones se deben al uso de materiales que no cumplen con los requisitos necesarios para formar parte de la estructura, falta de mantenimiento, y en algunas veces por el exceso de cargas en la estructura.

En el siguiente capítulo de investigación de campo de los empedrados fraguados se presentan los criterios y procedimientos para la identificación y recolección de información de los daños más comunes que presentan los empedrados fraguados, así como la descripción de cada uno de ellos y las posibles causas que llevaron a ocasionarlo.

Además se presenta un catálogo de daños recopilados en las diferentes visitas de campo, presentado el tipo de daño, severidad, tamaño y una imagen de estado actual.

6.2 PERDIDA DE ADHERENCIA

1. **Descripción:** Es el fracturamiento que ocurre en el pavimento, o en forma oblicua a este, dividiendo el mortero de la piedra, presentándose como grietas en la capa de rodadura.
2. **Posibles causas:** Son causadas por una combinación de los siguientes factores: excesivas repeticiones de cargas pesadas (fatiga), deficiente apoyo de la losa empedrada, asentamientos de la fundación, pérdida de adhesión entre mortero y piedra.
3. **Niveles de severidad:** Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano, alto) de acuerdo a las características de las grietas que presentan, según la siguiente guía:

B (Bajo) Presentan la siguiente condición:

- Grietas finas, no activas, de ancho promedio menor de 3 mm.

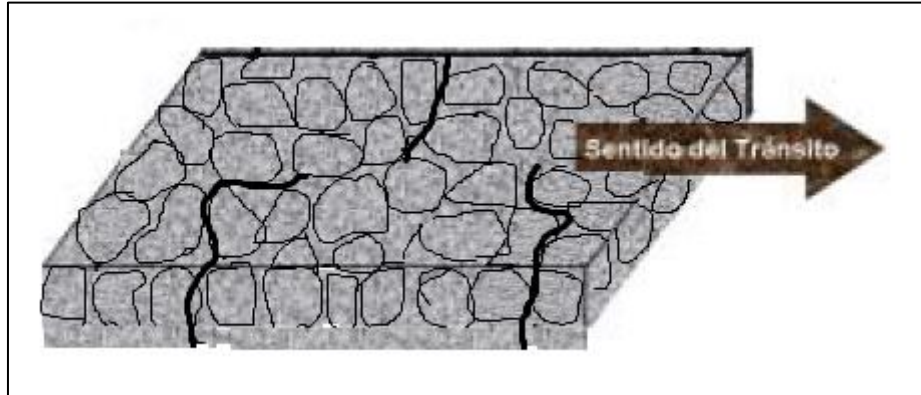
M (Mediano) Existen algunas de las condiciones siguientes:

- Grietas activas, de ancho promedio entre 3 y 10 mm.
- Grietas de 10 mm de ancho con despostillamiento.

A (Alto) Existen algunas de las condiciones siguientes:

- Grietas activas de ancho promedio mayor de 10 mm.
- Grietas selladas, con despostillamientos severos.

4. **Medición:** Una vez identificada la severidad de las grietas, esta puede medir en metros lineales o metros cuadrados, totalizando metros lineales o cuadrados en una sección o muestra.

5. Esquema:**Figura 6.1: PERDIDA DE ADHERENCIA**

6.3 ROTURA DE BORDE

1. **Descripción:** Es la rotura de la superficie a un costado de la superficie de rodadura por desprendimiento de pequeños trozos de mortero y en piedras.
2. **Posibles causas:** La rotura de borde generalmente es consecuencia de un exceso de acabado del mortero fresco colocado, produciendo la exudación del mortero y agua, así como también debido a la escorrentía de aguas en la superficie del pavimento.

Las fisuras capilares pueden evolucionar en muchos casos por efecto del tránsito, dando origen al descascaramiento del mortero, posibilitando la formación de baches.

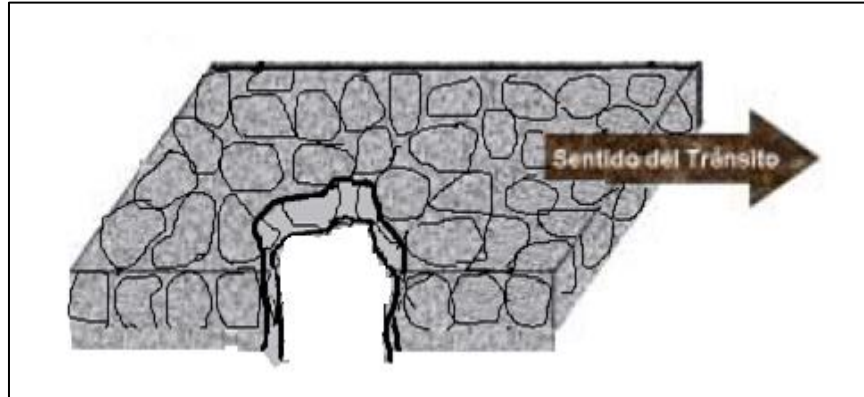
3. **Niveles de severidad:** Se diferencian tres niveles de severidad (Bajo, Mediano y Alto) según el tipo de daño y el área de la capa de rodadura afectada, de acuerdo con la siguiente guía:

B (Bajo) La rotura se extienden sobre todo el pavimento; la superficie se encuentra en buena condición sin descascaramiento.

M (Mediano) El pavimento evidencia descascaramiento, pero estas son de reducida área, afectando menos del 10% del pavimento en una muestra de cinco metros cuadrados.

A (Alto) El pavimento evidencia descascaramiento y desprendimiento de piedras en áreas significativas.

4. **Medición:** Una vez identificada la severidad de la falla, ésta puede ser medida en metros cuadrados, totalizando metros cuadrados en la sección o muestra.

5. Esquema:**Figura 6.2: ROTURA DE BORDE**

6.4 HUNDIMIENTO

1. **Descripción:** Depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área localizada del mismo; puede estar acompañado de un agrietamiento significativo, debido al asentamiento del pavimento.
2. **Posibles causas:** Este tipo de deformación permanente del pavimento, con o sin agrietamiento puede ocurrir cuando se producen asentamiento o consolidación en la subrasante, por ejemplo, en terraplenes cuando existen condiciones muy desfavorables para la fundación, o bien en zonas contiguas a una estructura de drenaje o de retención donde puede ocurrir el asentamiento del material de relleno por deficiente compactación inicial o bien por movimiento de la propia estructura.
3. **Niveles de severidad:** Siendo en general de gran dimensión, se pueden diferenciar tres niveles de severidad (Bajo, Mediano y Alto) según su incidencia en la comodidad de manejo, de acuerdo con la siguiente guía:

B (Bajo) El hundimiento causa al vehículo un balanceo o salto característico, sin generar incomodidad.

M (Mediano) El hundimiento causa a los vehículos un significativo salto o balanceo, que genera incomodidad.

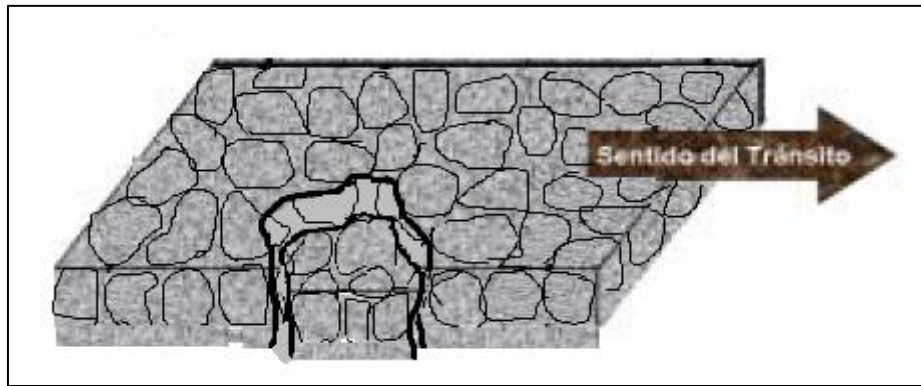
A (Alto) El hundimiento causa un excesivo salto que provoca una pérdida de control de los vehículos, siendo necesario recurrir a una reducción de velocidad.

4. **Medición:** Los hundimientos se miden contando y registrando separadamente según su severidad, la cantidad existente en una sección o muestra. Los cuales se pueden

medir en metros cuadrados afectados, o simplemente el número de daños observados.

5. Esquema:

Figura 6.3: HUNDIMIENO



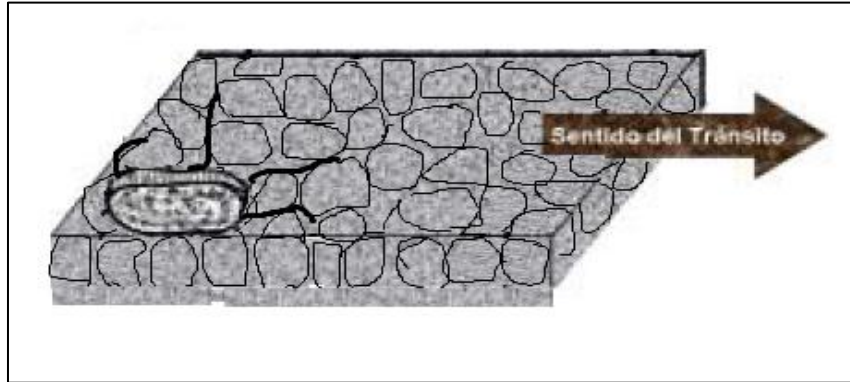
6.5 BACHES

1. **Descripción:** Desintegración completa del pavimento, en la cual ha sido removida completamente la piedra y el mortero en un área específica, formando una cavidad de bordes irregulares.
2. **Posibles causas:** Los baches se producen por conjunción de varias causas: fundaciones y capas inferiores inestables; espesores del pavimento estructuralmente insuficientes; defectos constructivos; retención de agua en zonas hundidas y/o agrietadas. La acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento que provoca la desintegración y posterior remoción de parte de la superficie del pavimento, originando un bache.
3. **Niveles de severidad:** Baja, Media y Alta: Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano, Alto) en función del área afectada y de la profundidad del bache, asociada ya sea a hundimientos como a la pérdida de material, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 6.1: NIVELES DE SEVERIDAD EN BACHES

Profundidad máxima (cm)	Diámetro Promedio del Bache (cm)		
	Menor a 70	70 - 100	Mayor a 100
Menor de 2.5	B	B	M
De 2.5 - 5.0	B	M	A
Mayor de 5.0	M	M	A

4. **Medición:** Los baches descubiertos pueden medirse alternativamente: a) Contando el número de baches por cada nivel de severidad y registrando estos separadamente, y b) Computando éstos en metros cuadrados de superficie afectada, registrando separadamente las áreas, según su nivel de severidad.

5. Esquema:**Figura 6.4: BACHE**

ESTADO DE LOS EMPEDRADOS

UBICACIÓN: Agua Zarca Apopa, San Salvador.

FECHA: Noviembre de 2012.

ANCHO DE LA CALZADA: 5 metros.



DAÑO QUE PRESENTA:

Perdida de adherencia Rotura de borde

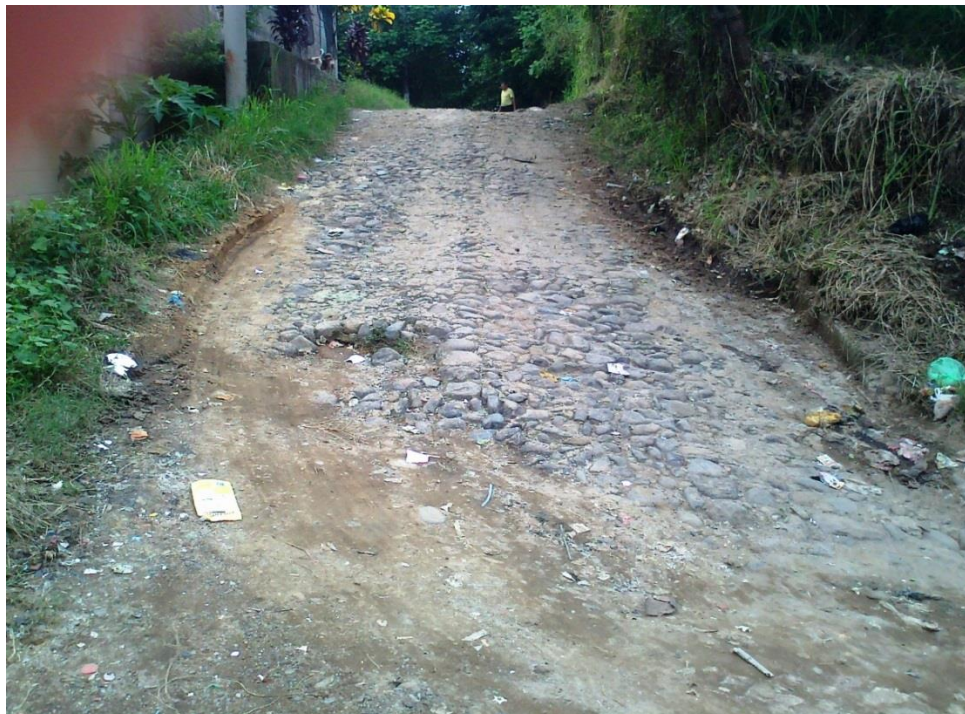
Hundimiento Baches

NIVEL DE SEVERIDAD:

Baja Media Alta

MEDICION: 0.80 metros cuadrados.

FOTO:



ESTADO DE LOS EMPEDRADOS

UBICACIÓN: San Juan Nonualco, La Paz.

FECHA: Octubre de 2012.

ANCHO DE LA CALZADA: 6.5 metros.



DAÑO QUE PRESENTA:

Perdida de adherencia	<input type="checkbox"/>	Rotura de borde	<input checked="" type="checkbox"/>
Hundimiento	<input type="checkbox"/>	Baches	<input type="checkbox"/>

NIVEL DE SEVERIDAD:

Baja Media Alta

MEDICION: 3.25 metros cuadrados.

FOTO:



ESTADO DE LOS EMPEDRADOS

UBICACIÓN: San Juan Nonualco, La Paz.

FECHA: Octubre de 2012.

ANCHO DE LA CALZADA: 6.5 metros.



DAÑO QUE PRESENTA:

Perdida de adherencia	<input type="checkbox"/>	Rotura de borde	<input checked="" type="checkbox"/>
Hundimiento	<input type="checkbox"/>	Baches	<input type="checkbox"/>

NIVEL DE SEVERIDAD:

Baja Media Alta

MEDICION: 3.0 metro cuadrado.

FOTO:



ESTADO DE LOS EMPEDRADOS

UBICACIÓN: Chalatenango, Chalatenango.

FECHA: Noviembre de 2012.

ANCHO DE LA CALZADA: 4.5 metros.



DAÑO QUE PRESENTA:

Perdida de adherencia Rotura de borde

Hundimiento Baches

NIVEL DE SEVERIDAD:

Baja Media Alta

MEDICION: área total de la capa de rodadura

FOTO:



ESTADO DE LOS EMPEDRADOS

UBICACIÓN: Chalatenango, Chalatenango.

FECHA: noviembre de 2012.

ANCHO DE LA CALZADA: 4 metros.



DAÑO QUE PRESENTA:

Perdida de adherencia Rotura de borde

Hundimiento Baches

NIVEL DE SEVERIDAD:

Baja Media Alta

MEDICION: 7.5 metros cuadrados.

FOTO:



ESTADO DE LOS EMPEDRADOS

UBICACIÓN: San Juan Nonualco, La Paz .

FECHA: Diciembre de 2012 .

ANCHO DE LA CALZADA: 6 metros .



DAÑO QUE PRESENTA:

Perdida de adherencia	<input type="checkbox"/>	Rotura de borde	<input type="checkbox"/>
Hundimiento	<input type="checkbox"/>	Baches	<input checked="" type="checkbox"/>

NIVEL DE SEVERIDAD:

Baja Media Alta

MEDICION: 0.25 metros cuadrados .

FOTO:



ESTADO DE LOS EMPEDRADOS

UBICACIÓN: San Juan Nonualco, La Paz .

FECHA: Diciembre de 2012 .

ANCHO DE LA CALZADA: 6 metros .



DAÑO QUE PRESENTA:

Perdida de adherencia	<input type="checkbox"/>	Rotura de borde	<input type="checkbox"/>
Hundimiento	<input checked="" type="checkbox"/>	Baches	<input type="checkbox"/>

NIVEL DE SEVERIDAD:

Baja Media Alta

MEDICION: 0.25 metros cuadrados .

FOTO:



ESTADO DE LOS EMPEDRADOS

UBICACIÓN: San Juan Nonualco, La Paz

FECHA: Diciembre de 2012

ANCHO DE LA CALZADA: 6 metros



DAÑO QUE PRESENTA:

Perdida de adherencia Rotura de borde

Hundimiento Baches

NIVEL DE SEVERIDAD:

Baja Media Alta

MEDICION: 0.25 metros cuadrados

FOTO:



CAPITULO VII: PLAN DE MANTENIMIENTO

7.1 INTRODUCCION

Para mantener las vías de comunicación a un nivel de servicio adecuado para los usuarios es necesario implementar un plan de mantenimiento, el cual deberá solucionar los problemas que se puedan presentar durante el periodo de su vida útil. En el plan de mantenimiento vial es necesario establecer una serie de categorías y actividades que ayuden a implementar una serie procesos de ejecución destinados a mantener la vía en un nivel aceptable.

Para lo cual en el siguiente capítulo se presentan una serie de lineamientos básicos que contienen el conjunto de acciones continuas y permanentes destinados a mantener el buen funcionamiento e incrementar el nivel de transitabilidad de las vías de comunicación.

7.2 PLAN DE MANTENIMIENTO

7.2.1 Definición

“El plan de mantenimiento se considera como un conjunto de acciones que deben realizarse para conservar la estructura de pavimento a un nivel de transitabilidad aceptable”

7.2.2 Objetivos

- Incrementar el período de útil de los pavimentos mediante un programa de actividades relacionadas entre sí.
- Establecer una normativa a seguir para la correcta ejecución de las diferentes actividades.

7.2.3 Elementos para considerar en el inventario vial

El mantenimiento vial de caminos empedrados se orienta hacia 3 aspectos, siendo estos:

- Mantenimiento de drenaje menor (cunetas y alcantarillas);
- Mantenimiento de calzada (bacheo); y,
- Mantenimiento de derecho de vía (taludes).

7.2.4 Normas de mantenimiento

A fin de estandarizar la realización de los trabajos de mantenimiento en todas sus fases, es necesario establecer normas de mantenimiento para servir de guías en el planeamiento, programación, ejecución y control de las operaciones de mantenimiento.

Las normas deberán:

- Definir los niveles de servicio de mantenimiento que deben proporcionarse a las diferentes clases de carreteras y los criterios para la programación de trabajos específicos;
- Estimar las cantidades anuales de trabajo de las diferentes actividades por cada unidad de inventario; y,
- Definir los métodos de trabajo, los procedimientos y los complementos de recursos humanos y equipo mecánico requeridos para llevar a cabo cada actividad de trabajo individual en la forma más efectiva.

7.2.5 Normas de ejecución

Una vez determinado cuales son los problemas y que se haya determinado las características que se desea disponer en la vía el siguiente paso es determinar los recursos físicos necesarios para realizar las cantidades totales de trabajo de mantenimiento requeridas en cada unidad operativa.

Para este propósito se deben definir los métodos y procedimientos de trabajo más efectivos y las combinaciones más eficientes de personal, equipos y materiales necesarios para la ejecución de cada actividad de mantenimiento. Esto requiere el establecimiento de normas para la ejecución o patrones de desempeño de cada actividad establecida.

Además de los datos señalados anteriormente, estas normas permiten conocer cuál es la producción promedio diaria de la cuadrilla en el desempeño de la actividad de mantenimiento durante un día normal.

Del análisis de las normas de ejecución se puede realizar un análisis de precios unitarios de cada unidad de trabajo.

Para cada una de las actividades de mantenimiento, se ha establecido una norma de ejecución, la cual explica:

- La composición de la cuadrilla más efectiva;
- Los tipos y cantidades de equipo requerido;
- El procedimiento para ejecutar la actividad; y,
- El estimado de producción promedio por día.

El procedimiento de trabajo, norma de ejecución, está constando expresamente en las especificaciones de mantenimiento vial para cada rubro o actividad de trabajo.

Debe destacarse que las normas de ejecución, niveles de servicio y normas de cantidad son independientes del sistema de pago que se emplee, sea este por estándares de mantenimiento, volúmenes de obra u otro. El sistema de pago debe ser analizado por cada entidad de gestión vial, luego de un análisis de ventajas y desventajas de los diferentes esquemas que existen para el efecto. En relación al pago por estándares, deberán establecerse Listas de Control que permitan llevar adecuadamente el control de las actividades de mantenimiento y determinar que los niveles de servicio y las normas de cantidad se cumplan.

7.2.6 Categorías de mantenimiento

Los trabajos de conservación vial están agrupados en las siguientes tres categorías generales:

1. El mantenimiento rutinario, comprende todas aquellas actividades requeridas para conservar una vía de regular a buen estado, las cuales se repiten una o más veces al año. También, incluye aquellas labores de reparación vial destinadas a recuperar elementos menores dañados, deteriorados o destruidos, tal como obras de drenaje menores, muros de retención y actividades afines.
2. El mantenimiento preventivo, consiste en actividades y obras de mantenimiento destinadas a prevenir fallas en la vía antes de que ocurran.
3. El mantenimiento de emergencia, son las actividades realizadas en forma urgente que se realizan como consecuencia de fuerza mayor, tal como el caso de desastres naturales, con el propósito de habilitar la vía permitiendo así el paso vehicular.

7.2.7 Actividades a realizar

Tabla 7.1: CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDAD	Repeticiones por año	INTERVALOS DE EJECUCION (MESES)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MANTENIMIENTO RUTINARIO													
a Limpieza del derecho de vía	4	■			■			■			■		
b Limpieza de cunetas	4	■			■			■			■		
c Limpieza de alcantarillas y otras estructuras de drenaje	4	■			■			■			■		
d Reparación de badenes	2	■						■					
e Revisión de obras de retención	2	■						■					
MANTENIMIENTO PREVENTIVO													
a Bacheo de empedrados	3	■				■				■			
b Reparación de cunetas revestidas	3	■				■				■			
MANTENIMIENTO DE EMERGENCIA													
a Remoción de derrumbes menores	2	■						■					

7.2.8 Limpieza del derecho de vía

7.2.8.1 Descripción

Este trabajo consistirá en el corte de toda la maleza, la remoción del producto de esta operación y en general de toda la basura y desperdicio que se encuentre en el área comprendida dentro de los límites del derecho de vía legal del proyecto salvo en casos que el Supervisor especifique límites diferentes.

7.2.8.2 Procedimiento de ejecución

El Contratista procederá a cortar a una altura no mayor de 10 centímetros, toda la maleza existente en el área comprendida dentro del derecho de vía. En el proceso de dicha operación, el Contratista debe tratar de evitar el corte de aquellos árboles que hayan crecido dentro del derecho de vía, que en su fase adulta puedan proporcionar ornato y sombra a la carretera y que se encuentren a una distancia del hombro tal que no representen obstrucción a la visibilidad ni peligro para el tránsito vehicular.

Los materiales, basura y desperdicios deben ser retirados del lugar y depositados en sitios autorizados por el Supervisor donde no puedan ser arrastrados al sistema de drenaje de la vía. En caso de suelos orgánicos o materiales vegetales estos pueden ser depositados sobre los taludes de los rellenos a fin de aprovechar este material como abono orgánico para el crecimiento de plantas que puedan protegerlos contra la erosión, si así lo indica el Supervisor y en la forma establecida por éste.

En ningún caso se permitirá la incineración de maleza o basuras producto del corte y la limpieza, así como el uso de productos químicos para controlar el crecimiento de la maleza.

7.2.8.3 Medición

Esta actividad será medida por metro cuadrado. Esta limpieza es realizada en el derecho de vía establecido por la Supervisión, limpiado de acuerdo a lo establecido en esta especificación.

7.2.8.4 Pago

El pago de esta actividad será la compensación plena por todo el equipo, mano de obra, materiales, herramientas, señalización y cualquier otro imprevisto necesario para poder realizar correctamente la actividad.

7.2.8.5 Costo

**Tabla 7.2: COSTO DE LIMPIEZA DEL DERECHO DE VIA
Equipo**

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	Sub Total
Camión volqueta	1	día	\$ 50.00	\$ 50.00
Machete	2	día	\$ 0.03	\$ 0.06
Pala	2	día	\$ 0.07	\$ 0.13
Rastrillo	2	día	\$ 0.06	\$ 0.12
Carretilla	2	día	\$ 0.32	\$ 0.64
Bordeadora	1	día	\$ 1.89	\$ 1.89
Cono	8	día	\$ 0.11	\$ 0.91

Total Equipo \$ 53.76

Mano de Obra

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	Sub Total
Auxiliar	4	día	\$ 8.77	\$ 35.08
Caporal	1	día	\$ 10.77	\$ 10.77
Motorista	1	día	\$ 10.77	\$ 10.77

Total Mano de Obra \$ 56.62

COSTO TOTAL \$ 110.38

Rendimiento promedio (m²/día)

1250

Costo metro cuadrado de Limpieza de vía

\$ 0.09

Tabla 7.3: LIMPIEZA DEL DERECHO DE VIA

<p>Descripción</p> <p>Este trabajo consistirá en el corte de toda la maleza y remoción de toda la basura y desperdicio que se encuentre en los límites del derecho de vía del proyecto.</p>	
<p>Personal</p> <p>1 caporal 4 auxiliares 1 motorista</p>	<p>Procedimiento de ejecución</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Colocar los elementos de seguridad antes de iniciar los trabajos de limpieza. 2. Distribuir los obreros de tal manera que cada uno tenga un área de trabajo de aproximadamente 400 m². 3. Deberá cortarse especialmente en aquellas zonas que resten visibilidad en curvas. 4. Cortar con machete o bordeadora lo más cerca posible del suelo en taludes hasta tres metros de las laterales de corte y relleno y derecho de vía. 5. Eliminar el material cortado transportándolo a sitios adecuados. 6. Retirar los elementos de seguridad y desplazarse a otro sitio.
<p>Equipo</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Camión volqueta ▪ Herramientas manuales: machetes, palas, rastrillos, carretillas, bordeadora. ▪ Elementos de seguridad: conos, señales, vallas, etc. 	
<p>Rendimiento</p> <p>1000 – 1500 m²/día</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Señalizar</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Cortar</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Transportar</p> </div> </div>
<p>Costo</p> <p>\$ 0.09/m²</p>	 <p>Desalojar</p>

7.2.9 Limpieza de cunetas

7.2.9.1 Descripción

Este trabajo consiste en la limpieza total, carga y acarreo a botaderos previamente aceptados por el Supervisor, de los desechos provenientes de la limpieza de las cunetas y contra cunetas de la carretera.

7.2.9.2 Procedimiento para la ejecución

Toda materia extraña debe ser eliminada, mediante métodos que no causen daños a las estructuras que forman las cunetas. La limpieza debe ser total para que las aguas pluviales corran sin obstrucción alguna.

No se permite dejar desechos, en montículos cercanos a dichas obras de arte, que puedan por efecto de las lluvias volver a obstruir estas estructuras.

No se permite botar desechos de material producto de la limpieza, en cuencas, vías o lugares en que se pueda atentar contra la estética o la ecología de la zona.

El supervisor debe aprobar previamente al pago, la limpieza realizada y el destino de los desechos. Cada día, al finalizar las obras de limpieza de las cunetas, se debe recoger los desechos producto de estas labores y depositarlos en los lugares previamente aprobados por el Supervisor.

7.2.9.3 Medición

El material procedente de la limpieza de las cunetas, será medido como sigue: a) por metro lineal.

7.2.9.4 Forma de pago

El pago de esta actividad será la compensación plena por todo el equipo, mano de obra, materiales, herramientas, señalización y cualquier otro imprevisto necesario para poder realizar correctamente la actividad.

7.2.9.5 Costo

Tabla 7.4: COSTO DE LIMPIEZA DE CUNETAS**Equipo**

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	Sub Total
Camión volqueta	1	día	\$ 50.00	\$ 50.00
Pala	2	día	\$ 0.07	\$ 0.13
Carretilla	2	día	\$ 0.32	\$ 0.64
Cono	8	día	\$ 0.11	\$ 0.91

Total Equipo \$ 51.68

Mano de Obra

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	Sub Total
Auxiliar	4	día	\$ 8.77	\$ 35.08
Caporal	1	día	\$ 10.77	\$ 10.77
Motorista	1	día	\$ 10.77	\$ 10.77

Total Mano de Obra \$ 56.62

COSTO TOTAL \$ 108.30




Rendimiento promedio (mL/día)

350

Costo metro lineal de Limpieza de cunetas

\$ 0.31

Tabla 7.5: LIMPIEZA DE CUNETAS

<p>Descripción</p> <p>Este trabajo consistirá en la limpieza total, carga y acarreo a botaderos de los desechos provenientes de la limpieza de las cunetas</p>	
<p>Personal</p> <p>1 caporal 4 auxiliares 1 motorista</p>	<p>Procedimiento de ejecución</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Colocar los elementos de seguridad antes de iniciar los trabajos de limpieza. 2. Transportar los desechos a sitios adecuados. 3. Retirar los elementos de seguridad y desplazarse a otro sitio.
<p>Equipo</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Camión volqueta ▪ Herramientas manuales: palas, carretillas. ▪ Elementos de seguridad: conos, señales, vallas, etc. 	
<p>Rendimiento</p> <p>200 - 500 ml/día</p>	 <p>Señalizar</p>  <p>Transportar</p>
<p>Costo</p> <p>\$ 0.31/ml</p>	 <p>Desalojar</p>

7.2.10 Limpieza de alcantarillas y otras estructuras de drenaje

7.2.10.1 Descripción

Esta actividad consistirá en la recolección, extracción y remoción de todo tipo de materiales que se encuentren depositados en la sección de cada una de las alcantarillas, cajas y canales de entrada y salida, independientemente de su dimensión respectiva, incluyendo además la limpieza y remoción de todo material que se encuentre en otros elementos que conformen el drenaje.

7.2.10.2 Procedimiento de ejecución

La limpieza incluye la obra de arte misma, así como sus cauces de entrada y salida existente dentro del derecho de vía de la carretera y hasta una longitud de 50 m dentro de cauces naturales aguas arriba y aguas debajo de la obra de arte. En caso de haber impedimentos para limpiar causes fuera del derecho de vía, esto debe ser puesto en conocimiento del Supervisor quien debe resolver el caso.

La limpieza de las alcantarillas y cajas debe ser hecha utilizando fundamentalmente mano de obra y herramientas manuales, a menos que por razones especiales sea necesario el uso de algún equipo mecánico, cuando esto suceda la cantidad y tipo de equipo debe ser aprobado por el Supervisor.

Cuando estos canales se encuentren azolvados como producto de depósito o sedimentación de suelos, basura, maleza o cualquier otro material deben ser objeto de excavación y remoción hasta conseguir darles la forma, sección y pendiente originales.

En todo momento se debe tener presente que las labores ejecutadas mediante esta actividad deben ser encaminadas a lograr el paso rápido de las aguas a través de estos elementos.

Todos los materiales extraídos en el desarrollo de las labores anteriormente descritos, constituyen desperdicio y deben ser removidos de la zona y transportados a sitios en donde no representen problemas de carácter ecológico o problemas inminentes a los drenajes, sitio que debe ser aprobado previamente por el Supervisor.

Las labores involucradas en la ejecución de esta actividad se deben hacer sin causar daño a los muros de los cabezales de entrada o de salida así como a la tubería de la alcantarilla o cualquier elemento presente y de carácter necesario para el adecuado funcionamiento de la estructura, de producirse algún daño a estos elementos su reparación será ejecutada por cuenta del Contratista.

7.2.10.3 Medición

El trabajo ejecutado en esta actividad será medido por cubico removido. Se consideran todos los elementos que conforman el sistema de drenaje del punto en consideración, vale decir, el canal de entrada, así como la sección de la estructura el canal de alivio y cualquier elemento asociado al drenaje del sitio, independientemente del diámetro cuando se trate de alcantarillas o del tamaño de la sección cuando se trate de cajas.

7.2.10.4 Forma de pago

El pago de esta actividad será la compensación plena por todo el equipo, mano de obra, materiales, herramientas, traslado del material removido, señalamiento y cualquier otro imprevisto necesario para poder realizar correctamente la actividad.

7.2.10.5 Costo

Tabla 7.6: COSTO DE LIMPIEZA DE ALCANTARILLAS Y OTRAS ESTRUCTURA DE DRENAJE

Equipo

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	Sub Total
Camión volqueta	1	día	\$ 50.00	\$ 50.00
Pala	2	día	\$ 0.07	\$ 0.13
Carretilla	2	día	\$ 0.32	\$ 0.64
Cono	8	día	\$ 0.11	\$ 0.91

Total Equipo \$ 51.68

Mano de Obra

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	Sub Total
Auxiliar	4	día	\$ 8.77	\$ 35.08
Caporal	1	día	\$ 10.77	\$ 10.77
Motorista	1	día	\$ 10.77	\$ 10.77

Total Mano de Obra \$ 56.62

COSTO TOTAL \$ 108.30





Rendimiento promedio (m³/día)

3.75

Costo metro cúbico de Limpieza de alcantarillas

\$ 28.88

Tabla 7.7: LIMPIEZA DE ALCANTARILLAS Y OTRAS ESTRUCTURAS DE DRENAJE

<p>Descripción</p> <p>Este trabajo consistirá en la recolección, extracción y remoción de todo tipo de materiales que se encuentren en las alcantarillas, cajas y canales de entrada y salida.</p>	
<p>Personal</p> <p>1 caporal 4 auxiliares 1 motorista</p>	<p>Procedimiento de ejecución</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Colocar los elementos de seguridad antes de iniciar los trabajos de limpieza. 2. Quitar basura y sedimentación de la salida y entrada de la alcantarilla. 3. Quitar basura y sedimentación del interior de la alcantarilla. 4. Cortar la vegetación existente hasta 10 metros antes de la entrada y después de la salida y 2 metros hacia los lados desde el eje de los cauces. 5. Transportar los desechos a sitios adecuados. 6. Retirar los elementos de seguridad y desplazarse a otro sitio.
<p>Equipo</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Camión volqueta ▪ Herramientas manuales: palas, carretillas. ▪ Elementos de seguridad: conos, señales, vallas, etc. 	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Señalizar</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Limpieza de alcantarilla</p> </div> </div>
<p>Rendimiento</p> <p>2.5 - 5 m³/día</p>	
<p>Costo</p> <p>\$ 28.88/m³</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Transportar</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Desalojar</p> </div> </div>

7.2.11 Reparación de badenes

7.2.11.1 Descripción

Este trabajo consistirá en el suministro y transporte de los materiales necesarios para la elaboración y colocación del concreto a ser utilizado para la reparación áreas dañadas de los badenes que han sido provocadas debido a la acción del tránsito en movimiento y a escorrentía de las aguas superficiales.

7.2.11.2 Materiales

Los materiales necesarios para este trabajo serán grava, arena y cemento. La selección del material se regirá a los requerimientos técnicos señalados en el apartado 3.2.10.2 del presente trabajo de graduación.

7.2.11.3 Equipo

El contratista deberá disponer de todo el equipo necesario para la debida ejecución de los trabajos, incluyendo la señalización adecuada, que deberá contar con la aprobación del Supervisor.

El equipo constará con equipo mecánico como concretera de una bolsa y herramientas manuales para la ejecución del trabajo en mención, principalmente, pala, pico y carretillas.

7.2.11.4 Ensayos y Tolerancias

Los materiales utilizados para esta actividad cumplirán los requerimientos técnicos establecido en la Tabla 3.18 del presente trabajo de graduación.

7.2.11.5 Procedimiento de trabajo

La fase inicial consiste en determinar los sitios donde ha iniciado el daño, para luego ser retirado el material dañado por medio de picos, posteriormente se hidratará completamente la superficie dañada y se procederá a la colocación del concreto, dándole un allanado para su acabado.

Los materiales excedentes deben ser retirados y depositados en los lugares señalados por el Supervisor. Terminada la operación y retirada la señalización se puede trasladar a otro sitio de trabajo.

7.2.11.6 Medición

Las cantidades a pagarse por los trabajos de reparación de badenes, será en metros cuadrados reparados.

7.2.11.7 Pago

El pago de esta actividad será la compensación plena por todo el equipo, mano de obra, materiales, herramientas, señalamiento y cualquier otro imprevisto necesario para poder realizar correctamente la actividad.

7.2.11.8 Costo

Tabla 7.8: COSTO DE REPARACION DE BADENES**Materiales para 1 m³**

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	Sub Total
Grava	0.820	m ³	\$ 25.00	\$ 20.50
Arena	0.410	m ³	\$ 18.00	\$ 7.38
Cemento	7.300	bolsa	\$ 8.50	\$ 62.05

Total Materiales \$ 89.93

Costo metro cuadrado, 10 cm de espesor \$ 8.99

Equipo

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	Sub Total
Camión	1	día	\$ 50.00	\$ 50.00
Concreteira	1	día	\$ 3.79	\$ 3.79
Carretilla	1	día	\$ 0.32	\$ 0.32
Pala	1	día	\$ 0.07	\$ 0.07
Pico	1	día	\$ 0.10	\$ 0.10
Conos	8	día	\$ 0.11	\$ 0.91

Total Equipo \$ 55.18

Mano de Obra

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	Sub Total
Auxiliar	4	día	\$ 8.77	\$ 35.08
Caporal	1	día	\$ 10.77	\$ 10.77
Motorista	1	día	\$ 10.77	\$ 10.77

Total Mano de Obra \$ 56.62



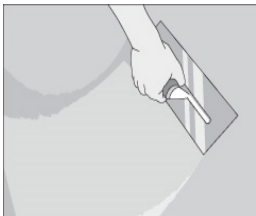
COSTO TOTAL \$ 111.80Rendimiento promedio (m²/día)

16

Costo metro cuadrado de empedrado (Equipo + Mano de Obra) \$ 6.99

Costo metro cuadrado de badén \$ 15.98

Tabla7.9: REPARACION DE BADENES

<p>Descripción</p> <p>Este trabajo consistirá en el suministro y transporte de los materiales necesarios para la elaboración y colación del concreto a ser utilizado para la reparación áreas dañadas de los badenes.</p>	
<p>Personal</p> <p>1 caporal 4 auxiliares 1 motorista</p>	<p>Procedimiento de ejecución</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cargar y transportar los materiales a utilizar 2. Colocar los elementos de seguridad antes de iniciar los trabajos de remoción del área dañada. 3. Retirar toda la superficie dañada 4. Se hidratará completamente la superficie dañada y se procederá a la colocación del concreto, dándole un allanado para su acabado. 5. Retirar los elementos de seguridad y desplazarse a otro sitio.
<p>Equipo</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Camión ▪ Concretera de 1 bolsa ▪ Herramientas manuales pala, pico y carretilla. ▪ Elementos de seguridad: conos, señales, vallas, etc. 	
<p>Materiales</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Grava ▪ Arena ▪ Cemento 	
<p>Rendimiento</p> <p>15 - 17 m²/día</p>	
<p>Costo</p> <p>\$ 15.98/m²</p>	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Señalizar</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Elaboración del concreto</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>Allanado superficial</p> </div>	

7.2.12 Revisión de obras de retención

7.2.12.1 Descripción

Esta actividad consiste en la reparación y mantenimiento de las diferentes obras de retención. Además esta actividad será utilizada además para: limpiar los agujeros de drenaje, rellenar las áreas erosionadas.

7.2.12.2 Materiales

Los materiales necesarios para este trabajo será el cemento portland y arena.

7.2.12.3 Procedimiento de ejecución

Para el mantenimiento de obras de mampostería será necesario taladrar y limpiar agujeros que se encuentre obstruyendo los drenajes, así como reponer cualquier material que se ha lavado al frente o detrás de los muros, y apisonar el material dentro de los orificios.

Las juntas y fisuras que se encuentren abiertas se deberán limpiar y posteriormente serán rellenadas con lechada hasta que estas se cubran por completo

Los sitios de trabajo deberán quedar totalmente limpios, de tal manera que los desechos producto de la limpieza se deberán acarrear y depositar en sitios autorizados por la Supervisión.

7.2.12.4 Medición

Esta actividad de mantenimiento de obras de mampostería se medirá por metro cuadrado de superficie vista.

7.2.12.5 Forma de pago

El pago de esta actividad será la compensación plena por todo el equipo, mano de obra, materiales, herramientas, señalización y cualquier otro imprevisto necesario para poder realizar correctamente la actividad.

7.2.12.6 Costo

Tabla 7.10: COSTO DE REVISION DE OBRAS DE MAMPOSTERIA
Materiales para 1 m²

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	Sub Total
Arena	0.100	m ³	\$ 18.00	\$ 1.80
Cemento	0.011	bolsa	\$ 8.50	\$ 0.09
Total Materiales				\$ 1.89

Equipo

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	Sub Total
Concreteira	1	día	\$ 3.79	\$ 3.79
Camión	1	día	\$ 50.00	\$ 50.00
Pala	1	día	\$ 0.07	\$ 0.07
Carretilla	1	día	\$ 0.32	\$ 0.32
Conos	8	día	\$ 0.11	\$ 0.91
Total Equipo				\$ 55.08

Mano de Obra

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	Sub Total
Auxiliar	4	día	\$ 8.77	\$ 35.08
Caporal	1	día	\$ 10.77	\$ 10.77
Motorista	1	día	\$ 10.77	\$ 10.77
Total Mano de Obra				\$ 56.62

COSTO TOTAL \$ 113.60



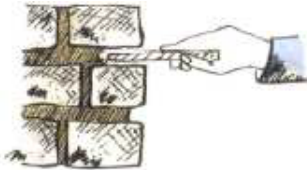

Rendimiento promedio (m²/día)

20

Costo metro cuadrado de revisión de obras de retención

\$ 5.68

Tabla 7.11: REVISION DE OBRAS DE MAMPOSTERIA

<p>Descripción</p> <p>Este trabajo consistirá en la reparación y mantenimiento de las obras de retención para mantener la integridad y reparar los daños que estas puedan presentar</p>	
<p>Personal</p> <p>1 caporal 4 auxiliares 1 motorista</p>	<p>Procedimiento de ejecución</p> <ol style="list-style-type: none"> Colocar los elementos de seguridad antes de iniciar los trabajos de limpieza. Taladrar y limpiar agujeros que se encuentre obstruyendo los drenajes, reponer el material que se ha lavado al frente o detrás de las obras de retención, y apisonar el material dentro de los orificios. Limpiar las juntas y fisuras que se encuentren abiertas para ser rellenadas con lechada. Retirar los elementos de seguridad y desplazarse a otro sitio. <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Señalizar</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Reponer material</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>Limpieza de juntas</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Llenado de juntas</p> </div> </div>
<p>Equipo</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Camión volqueta. ▪ Concretera de 1 bolsa. ▪ Herramientas manuales: palas, carretillas. ▪ Elementos de seguridad: conos, señales, vallas, etc. 	
<p>Materiales</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cemento ▪ Arena 	
<p>Rendimiento</p> <p>20 m² de obra de retención/día</p>	
<p>Costo</p> <p>\$5.68/m²</p>	

7.2.13 Reparación de empedrados

7.2.13.1 Descripción

Este trabajo consistirá en el suministro, transporte y distribución de piedra para la reparación de pequeñas áreas de superficies empedradas, para corregir baches, depresiones, roturas de borde, ondulaciones, etc., causados por la infiltración de agua por piedras desprendidas; por la inestabilidad en la subrasante como resultado de una compactación inadecuada; por inadecuada colocación de la piedra; debido a la acción del tránsito en movimiento.

7.2.13.2 Materiales

Los materiales necesarios para este trabajo será piedra de empedrado para maestras y para relleno. La selección del material se regirá a los requerimientos técnicos señalados en la Tabla 3.13 y Tabla 3.14 del presente trabajo de graduación.

7.2.13.3 Equipo

El contratista deberá disponer de todo el equipo necesario para la debida ejecución de los trabajos, incluyendo la señalización adecuada, que deberá contar con la aprobación del Supervisor.

El equipo constará con todas las herramientas manuales para la ejecución del trabajo en mención, principalmente, pala, pico, pisón.

7.2.13.4 Ensayos y Tolerancias

Los materiales utilizados para esta actividad cumplirán los requerimientos técnicos establecido en la Tabla 3.13 y Tabla 3.14 del presente trabajo de graduación.

7.2.13.5 Procedimiento de trabajo

La fase inicial consiste en determinar los sitios donde ha iniciado el desprendimiento de la piedra, en lo posible cuando se aprecie que inicia el desprendimiento. Luego debe procederse a retirar todas las piedras desprendidas o flojas, hasta tener un área adecuada como para reconformar adecuadamente la subrasante y apisonarla. Previa la compactación, se hidratará ligeramente al bache para lograr la máxima eficiencia del pisón. Efectuada la compactación del bache se colocará una capa de 5 centímetros de mortero donde se acomodará la piedra bajo el mismo procedimiento que se realiza el empedrado. Finalmente se rellenan las uniones con mortero.

Los materiales excedentes deben ser retirados y depositados en los lugares señalados por el Supervisor. Terminada la operación y retirada la señalización se puede trasladar a otro sitio de trabajo.

7.2.13.6 Medición

Las cantidades a pagarse por los trabajos de reparación de empedrado, serán los metros cuadrados bacheados.

7.2.13.7 Pago

El pago de esta actividad constituirá la compensación total por el suministro y transporte de la piedra, la limpieza de la superficie que recibirá la piedra; así como por mano de obra, equipo, herramientas, materiales y operaciones conexas en el completamiento de los trabajos descritos en esta sección.

7.2.13.8 Costo

Tabla 7.12: COSTO DE REPARACION DE EMPEDRADOS
Materiales para 0.276 m²

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	Sub Total
Piedra	0.023	m ³	\$ 15.00	\$ 0.35
Arena	0.025	m ³	\$ 18.00	\$ 0.44
Cemento	0.452	bolsa	\$ 8.50	\$ 3.84
Material granular	0.066	m ³	\$ 17.20	\$ 1.14

Total Materiales \$ 5.76

Costo metro cuadrado de empedrado \$ 20.87

Equipo

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	Sub Total
Concreteira	1	día	\$ 3.79	\$ 3.79
Compactadora	1	día	\$ 17.00	\$ 17.00
Pala	1	día	\$ 0.07	\$ 0.07
Pico	1	día	\$ 0.10	\$ 0.10
Conos	8	día	\$ 0.11	\$ 0.91

Total Equipo \$ 21.86

Mano de Obra

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	Sub Total
Auxiliar	4	día	\$ 8.77	\$ 35.08
Caporal	1	día	\$ 10.77	\$ 10.77
Motorista	1	día	\$ 10.77	\$ 10.77

Total Mano de Obra \$ 56.62

COSTO TOTAL \$ 78.48

Rendimiento promedio (m²/día)

17.50



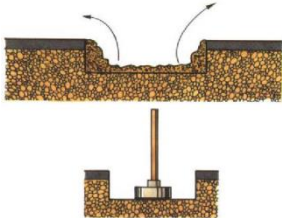

Costo metro cuadrado de empedrado (Equipo + Mano de Obra)

\$ 4.48

Costo metro cuadrado de empedrado

\$ 25.36

Tabla 7.13: REPARACION DE EMPEDRADOS

<p>Descripción</p> <p>Este trabajo consistirá en el suministro, transporte y distribución de piedra para la reparación de pequeñas áreas de superficies empedradas, para corregir baches, depresiones, roturas de borde, ondulaciones, etc.</p>	
<p>Personal</p> <p>1 caporal 4 auxiliares 1 motorista</p>	<p>Procedimiento de ejecución</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cargar y transportar los materiales para el bacheo 2. Colocar los elementos de seguridad antes de iniciar los trabajos de limpieza. 3. Verificar si la piedra que se utilizará para el bacheo es de las dimensiones adecuadas. 4. Retirar todas las piedras flojas y desprendidas del sitio a empedrar, limpiar la superficie, hidratar y recompartar la subrasante. 5. Se colocará una capa de 5 centímetros de mortero donde se acomodará la piedra bajo el mismo procedimiento que se realiza el empedrado. 6. Retirar los elementos de seguridad y desplazarse a otro sitio.
<p>Equipo</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Concretera de 1 bolsa ▪ Compactadora ▪ Herramientas manuales pala, pico. ▪ Elementos de seguridad: conos, señales, vallas, etc. 	
<p>Materiales</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Piedra ▪ Arena ▪ Cemento 	
<p>Rendimiento</p> <p>15 - 20 m²/día</p>	
<p>Costo</p> <p>\$ 25.36/m²</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Señalizar</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Verificación de la piedra</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>Limpiar y compactar</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Empedrar</p> </div> </div>

7.2.14 Reparación de cunetas revestidas

7.2.14.1 Descripción

Son los canales longitudinales situados a ambos lados de la calzada, incluyendo hombros, recubiertas de piedra ligada con mortero que sirven para conducir hacia los drenajes, el agua de lluvia que cae sobre la corona y los taludes. También se deben incluir los vertederos y cortinas, cuyo objetivo es conducir el agua hacia puntos de desagüe.

Este trabajo consiste en el transporte, suministro, elaboración, manejo, almacenamiento y colocación de los materiales de construcción. También se incluye en este trabajo, todas las operaciones necesarias de alineamiento, excavación, conformación de la sección y compactación del suelo, para la correcta construcción de las cunetas revestidas y los vertederos. Antes de colocar cualquiera de los revestimientos mencionados anteriormente, se debe conformar y compactar la superficie de las cunetas y retirar cualquier materia extraña o suelta que se encuentre en las mismas.

Las cotas de cimentación, las dimensiones, tipos y formas de las cunetas revestidas, deben ser las indicadas en los planos o como las ordene el Supervisor.

7.2.14.2 Requisito de los Materiales

La selección del material se regirá a los requerimientos técnicos señalados en la Tabla 3.13 y Tabla 3.14 del presente trabajo de graduación.

7.2.14.3 Procedimiento de ejecución

- i. Preparación y Colocación de la Piedra: La superficies de las piedras, se deben humedecer antes de colocarlas, para quitar la tierra, arcilla o cualquier materia extraña; deben ser rechazadas las piedras cuyos defectos no se pueden remover por medio de agua y cepillo. Las piedras limpias se deben ir incrustando cuidadosamente sobre la superficie del terreno debidamente preparado, con las superficies planas si las tiene hacia el exterior. La separación entre piedra y piedra no debe ser menor de 30 milímetros ni mayor de 50 milímetros, las cuales deben quedar completamente llenas de mortero. Las piedras se deben manipular en tal forma, que no golpeen a las ya colocadas para que no alteren su posición. No se debe permitir rodar o dar vuelta a las piedras sobre la cuneta, ni golpearlas ni martillarlas una vez colocadas. Si una piedra se afloja después que el mortero haya alcanzado su fraguado inicial, se debe remover la piedra y el mortero y colocarla de nuevo.
- ii. Elaboración y Colocación del Mortero: El mortero colocado en las juntas debe penetrar 13 milímetros debajo de la superficie. La proporción del mortero será de 3:1. La piedra a utilizarse debe ser sana, evitándose piedras porosas o quebradizas. Se debe remover el mortero en exceso de la superficie.

Las cunetas se deben mantener húmedas durante 6 horas después den haber sido terminadas. No se debe aplicar ninguna carga exterior sobre las cunetas terminadas, por lo menos durante 2 días después de haber terminado el trabajo.

7.2.14.4 Medida

La medida se debe hacer del número de metros cuadrados, con aproximación de dos decimales, de cunetas revestidas, construidas satisfactoriamente de acuerdo con las especificaciones.

También se debe incluir en esta medida los vertederos y cortinas. En el caso de cortinas se tiene un espesor mayor que el especificado para cunetas, el volumen construido se le debe calcular su equivalente en metros cuadrados del espesor correspondiente al tipo o clase de cuneta de que se trate.

7.2.14.5 Pago

El pago se debe hacer por el número de metros cuadrados indicando el material utilizado, medidos como se indica en el numeral anterior, al precio unitario del contrato, que incluirá todos los costos de mano de obra, equipo, herramienta, señalamiento y cualquier imprevisto necesario para la correcta construcción de este concepto.

7.2.14.6 Costo

Tabla 7.14: COSTO DE REPARACION DE CUNETAS REVESTIDAS**Materiales para 0.276 m²**

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	Sub Total
Piedra	0.023	m ³	\$ 15.00	\$ 0.35
Arena	0.025	m ³	\$ 18.00	\$ 0.44
Cemento	0.452	bolsa	\$ 8.50	\$ 3.84
Material granular	0.066	m ³	\$ 17.20	\$ 1.14

Total Materiales \$ 5.76

Costo metro cuadrado de cunetas revestidas \$ 20.87

Equipo

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	Sub Total
Concretera	1	día	\$ 3.79	\$ 3.79
Compactadora	1	día	\$ 17.00	\$ 17.00
Pala	1	día	\$ 0.07	\$ 0.07
Pico	1	día	\$ 0.10	\$ 0.10
Conos	8	día	\$ 0.11	\$ 0.91

Total Equipo \$ 21.86

Mano de Obra

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	Sub Total
Auxiliar	4	día	\$ 8.77	\$ 35.08
Caporal	1	día	\$ 10.77	\$ 10.77
Motorista	1	día	\$ 10.77	\$ 10.77

Total Mano de Obra \$ 56.62

COSTO TOTAL \$ 78.48Rendimiento promedio (m²/día)


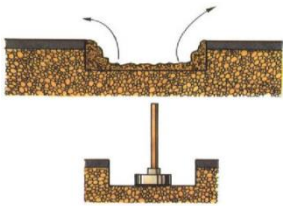


17.50

Costo metro cuadrado de empedrado (Equipo + Mano de Obra)

\$ 4.48

Costo metro cuadrado de cuneta revestida**\$ 25.36**

Tabla 7.15: REPARACION DE CUNETAS REVESTIDAS

Descripción	
Este trabajo consistirá en el transporte, suministro, elaboración, manejo, almacenamiento y colocación de los materiales de construcción. Así como todas las operaciones necesarias de alineamiento, excavación, conformación de la sección y compactación del suelo, para la correcta construcción de las cunetas revestidas y los vertederos.	
Personal	Procedimiento de ejecución
1 caporal 4 auxiliares 1 motorista	<ol style="list-style-type: none"> Colocar los elementos de seguridad antes de iniciar los trabajos de limpieza. Retirar las piedras y revestimientos de la cuneta destruida y de los sectores en donde está desprendiéndose la piedra. Reponer cualquier material de la base y apisonarlo, guardando las alineaciones y pendientes de la cuneta Empedrar la cuneta manteniendo la distancia entre piedra y piedra de 30 a 50 milímetros. Rellenar con mortero las uniones entre piedra y piedra. Limpiar la zona de trabajo y retirar los elementos de seguridad y desplazarse a otro sitio.
Equipo	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Concretera de 1 bolsa ▪ Compactadora ▪ Herramientas manuales pala, pico. ▪ Elementos de seguridad: conos, señales, vallas, etc. 	
Materiales	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Piedra ▪ Arena ▪ Cemento 	
Rendimiento	
15 - 20 m ² /día	
Costo	
\$ 25.36/m ²	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Señalizar</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Limpiar y compactar</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>Empedrar</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Limpiar</p> </div> </div>

7.2.15 Remoción de derrumbes menores

7.2.15.1 Descripción

Este trabajo consistirá en la remoción total, carga y acarreo a botaderos previamente aceptados por el Supervisor, de los materiales provenientes de derrumbes causados por el desprendimiento de taludes de corte o del terreno natural, que al caer sobre la sección de la carretera, podrán obstaculizar, parcial o totalmente, las cunetas, alcantarillas, salidas de agua, canales de entrada y desfogue de las cajas, hombros y uno o más carriles de circulación, impidiendo la circulación vehicular o las corrientes pluviales sobre las estructuras de drenaje.

7.2.15.2 Procedimiento para la ejecución

El contratista debe ejecutar el trabajo dentro de los límites del derecho de vía o en terrenos propiedad del Estado como lo ordene el Supervisor, tomando siempre en consideración la estabilidad de los taludes o terrenos colindantes a la masa de suelo desplazada, y la de las construcciones circunvecinas, si fuera el caso.

Este material deberá moverse con precaución empleando maquinaria o herramientas apropiadas, de tal manera que se cauce el mínimo daño posible a las estructuras dentro de la sección de la carretera. Si el contratista ocasionase algún daño estructural, causado por negligencia o falta de atención al trabajo, las reparaciones que correspondan se efectuarán por su cuenta.

En caso que el derrumbe ponga en riesgo la circulación vehicular, deberá considerar la señalización preventiva adecuada mientras se realice la remoción del material.

7.2.15.3 Medición

El material removido de acuerdo a lo establecido en esta especificación, será medido a) por metro cúbico en condición suelto; b) horas trabajadas (horas – hombre); y c) pago de maquinaria (horas – máquina).

7.2.15.4 Forma de pago

El pago de esta actividad será la compensación plena por todo el equipo, mano de obra, materiales, herramientas, señalización y cualquier otro imprevisto necesario para poder realizar correctamente la actividad.

7.2.15.5 Costo

Tabla 7.16: COSTO DE REMOCION DE DERRUMBES MENORES**Equipo**

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	Sub Total
Camión volqueta	1	día	\$ 50.00	\$ 50.00
Minicargador	1	día	\$ 66.67	\$ 66.67
Pala	2	día	\$ 0.07	\$ 0.13
Carretilla	2	día	\$ 0.32	\$ 0.64
Cono	8	día	\$ 0.11	\$ 0.91

Total Equipo \$ 118.35

Mano de Obra

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	Sub Total
Auxiliar	4	día	\$ 8.77	\$ 35.08
Caporal	1	día	\$ 10.77	\$ 10.77
Motorista	1	día	\$ 10.77	\$ 10.77

Total Mano de Obra \$ 56.62

COSTO TOTAL \$ 174.97

Rendimiento promedio (m³/día)

17.5

Costo metro cúbico de derrumbes menores

\$ 10.00

Tabla 7.17: REMOCION DE DERRUMBES MENORES

<p>Descripción</p> <p>Este trabajo consistirá en la remoción total, carga y acarreo a botaderos previamente aceptados por el Supervisor, de los materiales provenientes de derrumbes causados por el desprendimiento de taludes de corte o del terreno natural</p>	
<p>Personal</p> <p>1 caporal 4 auxiliares 2 motorista</p>	<p>Procedimiento de ejecución</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Colocar los elementos de seguridad antes de iniciar los trabajos de remoción. 2. Retirar los escombros de la vía mediante medios mecánicos o manuales. 3. Limpiar las cunetas después de eliminar los escombros caídos. 4. Transportar y desalojar los escombros a sitios adecuados. 5. Retirar los elementos de seguridad y desplazarse a otro sitio.
<p>Equipo</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Camión volqueta, Minicargador. ▪ Herramientas manuales: palas, carretillas. ▪ Elementos de seguridad: conos, señales, vallas, etc. 	
<p>Rendimiento</p> <p>15 - 20 m³/día</p>	
<p>Costo</p> <p>\$ 10.00/m³</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Señalizar</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Remoción de escombros</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Transportar</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Desalojar</p> </div> </div>

7.3 COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO

Tabla 7.18: COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO POR KILOMETRO DE EMPEDRADO FRAGUADO

ACTIVIDAD	MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD ANUAL	COSTO UNITARIO POR UNIDAD DE MEDIDA	COSTO ANUAL
Limpieza del derecho de vía		m ²	1000.00	\$ 0.09/m ²	\$ 90.00
Limpieza de cunetas		ml	500.00	\$ 0.31/ml	\$ 155.00
Limpieza de alcantarillas	4 Auxiliares	m ³	5.00	\$ 28.88/m ³	\$ 144.40
Reparación de badenes	1 Caporal	m ²	2.50	\$ 15.98/m ²	\$ 39.95
Revisión de obras de retención	1 Motorista	m ²	5.00	\$ 5.68/m ²	\$ 28.40
Bacheo de empedrados		m ²	4.00	\$ 25.36/m ²	\$ 101.40
Cunetas revestidas		m ²	3.50	\$ 25.36/m ²	\$ 88.76
Remoción de derrumbes menores		m ³	5.00	\$ 10.00/m ³	\$ 50.00
Supervisión de Mantenimiento	1 Ingeniero	visita	2.00	\$ 100.00/visita	\$ 200.00

COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO POR KILOMETRO \$ 897.90

CAPITULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

- Se estableció las especificaciones técnicas para la construcción de empedrados fraguados mediante una normativa de procesos constructivos y requisitos que deberán cumplir los materiales que forman parte de la estructura del pavimento.
- Se elaboró un diseño de especímenes de viguetas de empedrado fraguado que representa lo más cercano posible a la realidad a los pavimentos que se puedan presentar en campo, de las cuales se obtuvo un módulo de ruptura de 19 kg/cm^2 , mediante el ensayo de resistencia a la flexión de mampostería (mortero y piedra), que fue la esperada, donde se obtuvo un valor mayor a los pavimentos unicapa ($\text{MR}=7\text{-}15 \text{ kg/cm}^2$ en suelos finos y plásticos) y menor a los pavimentos de concreto hidráulico ($\text{MR}=42\text{-}48 \text{ kg/cm}^2$ en carreteras urbanas principales y secundarias).
- Se obtuvo una resistencia a la compresión del mortero de 219 kg/cm^2 , mayor a la esperada para morteros Tipo M de cemento hidráulico de 175 kg/cm^2 .
- Se determinó una metodología de diseño de pavimentos para empedrados fraguados bajo un modelo de cálculo que utiliza propiedades mecánicas de las diferentes estructuras que componen el pavimento, similar al utilizado en los pavimentos unicapa de alto desempeño por ser pavimentos monolíticos colocados directamente sobre la subrasante.

- Con respecto a los deterioros más comunes que presentan los empedrados fraguados en nuestro país, se logró definir que la rotura de borde es el daño más común, el cual es generado principalmente por la escorrentía superficial sobre la capa de rodadura del pavimento, debido a que el mantenimiento del drenaje longitudinal no es el oportuno.
- Los empedrados fraguados son una alternativa para la mejora de carreteras rurales y caminos vecinales presentando un costo aproximado de mantenimiento anual por kilómetro de \$897.90 para el año de 2013.
- Para vías de tránsito con cargas de tráfico pesadas los empedrados fraguados necesitan un mayor espesor de la estructura para soportar las cargas, el cual no es viable para su construcción y genera mayores costos de mantenimiento.
- Para la construcción de los pavimentos de empedrado fraguado no es estrictamente necesaria la mano de obra calificada, por lo que este tipo de proyectos se logra por medio de la inclusión de mano de obra local, generando empleo en los habitantes de la zona.

8.2 RECOMENDACIONES

- Los empedrados fraguados son recomendados para carreteras rurales y caminos vecinales con una intensidad de tránsito menor de cien vehículos promedio por día.
- Utilizar piedras con angulosidades para que generen una trabazón que ayude a incrementar la resistencia a flexión del empedrado fraguado.
- Realizar un buen varillado tanto en la construcción de los empedrados fraguados como en los especímenes de prueba de laboratorio para evitar la aparición de colmenas que afecten la resistencia de la estructura.
- Elaborar pruebas de laboratorio para poder establecer una correlación entre diferentes tipos de resistencias de mortero.
- Elaborar un pavimento utilizando la metodología de diseño y plan de mantenimiento para corroborar su funcionamiento bajo las cargas reales de tráfico.

BIBLIOGRAFIA

- *Manual de Diseño y Construcción para caminos vecinales sostenibles*

FONDO DE INVERSION SOCIAL PARA EL DESARROLLO LOCAL (FISDL)

San Salvador – El Salvador, 2000

- *Manual Andino para la Construcción y Mantenimiento de Empedrados*

ORGANIZACION INTERNACIONAL DEL TRABAJO (OIT)

Quito – Ecuador, 2004

- *Manual para el Diseño de Caminos Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito*

INSTITUTO DE LA CONSTRUCCION Y LA GERENCIA (ICG)

Lima - Perú, 2007

- *Ingeniería de Caminos Rurales: Guía de Campo para las Mejoras Prácticas de Gestión de Caminos Rurales*

Gordon Keller & James Sherar

Versión en Español – México, 2005

- *Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras*

SECRETARIA DE INTEGRACION ECONOMICA CENTROAMERICANA (SIECA)

Guatemala, 2002

- *Manual centroamericano para el diseño de pavimentos*

SECRETARIA DE INTEGRACION ECONOMICA CENTROAMERICANA (SIECA)

Guatemala, 2002

- *Pavimentos Unicapa de Alto Desempeño*

INSTITUTO SALVADOREÑO DEL CEMENTO Y EL CONCRETO (ISCYC)

Octubre, 2007

- *Normas ASTM*

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS

Estados Unidos de América

- *Normas AASHTO*

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION
OFFICIALES

Estados Unidos de América

- *Comité ACI 230-1R*

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE

Estados Unidos de América

- *Soil Stabilization for Pavements Mobilization Construction*

DEPARTMENT OF THE ARMY CORPS OF ENGINEERS OFFICE OF THE CHIEF
OF ENGINEERS

Estados Unidos de América

ANEXOS

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



Método de ensayo estándar para la compresión de cubos de mortero ASTM
 C109/C109M-08⁶⁹.

LABORATORISTA: Ing. Ramón Evelio López Hernández .

PROYECTO: Trabajo de Graduación .

FECHA DE ENSAYO: 5 de diciembre de 2012 .

Muestra Nº	Edad (días)	L1 (cm)	L2 (cm)	Altura (cm)	Área (cm)	Peso (gr)	Peso Vol. (kg/m ³)	Carga Kg	Compresión (kg/cm)
EP-1	28	5.14	5.32	5.10	27.34	260.0	1864	5650	206.7
EP-2	28	5.12	5.30	5.17	27.14	257.5	1835	5850	215.5
EP-3	28	5.10	5.30	5.10	27.03	254.9	1849	6300	233.0

OBSERVACIONES:

⁶⁹ ASTM C109/C109M-08: Método de ensayo estándar para la compresión de cubos de mortero

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



**Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de la Resistencia a la Flexión del
 Empedrado (Utilizando Viga Simple con Carga en los Tercios del Claro).**

LABORATORISTA: Ing. Ramón Evelio López Hernández .
 PROYECTO: Trabajo de Graduación .
 FECHA DE ENSAYO: 5 de diciembre de 2012 .

<i>Ensayo a los 28 días</i>		
<i>Antes del Ensayo</i>		
Descripción / N° Vigueta	Estándar	Modificada
Ancho Superior (cm)	14.7	30.5
	14.5	32.0
	14.6	30.2
Ancho Inferior (cm)	14.8	29.8
	14.8	30.0
	14.7	30.0
Largo (cm)	60.3	59.9
	60.4	59.7
	60.4	60.0
Altura (cm)	14.8	20.1
	14.7	20.3
	14.8	20.1
Peso (kg)	28.5	80.8
Carga Aplicada (kg)	1500	3900

OBSERVACIONES:

Se utilizó una viga de empedrado fraguado tamaño modificado con dimensiones de 20x30x60 cm
