



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO PARA EL TRAMO CARRETERO DE LA
ALDEA LOMA LARGA A LA ALDEA LAGUNA SECA, MUNICIPIO DE
AMATITLÁN, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

Mauricio Estuardo Monroy Orantes

Asesorado por el Ing. Silvio José Rodríguez Serrano

Guatemala, agosto de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO PARA EL TRAMO CARRETERO DE LA
ALDEA LOMA LARGA A LA ALDEA LAGUNA SECA, MUNICIPIO DE
AMATITLÁN, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MAURICIO ESTUARDO MONROY ORANTES
ASESORADO POR EL ING. SILVIO JOSÉ RODRÍGUEZ SERRANO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Gordillo García
EXAMINADOR	Ing. Wuilliam Ricardo Yon Chavarría
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO PARA EL TRAMO CARRETERO DE LA ALDEA LOMA LARGA A LA ALDEA LAGUNA SECA, MUNICIPIO DE AMATITLÁN, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha marzo de 2010.



Mauricio Estuardo Monroy Orantes



Guatemala 30 de julio de 2010.
Ref.EPS.DOC.910.07.10.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Mauricio Estuardo Monroy Orantes** de la Carrera de Ingeniería Civil, con carné No. **200412442**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO PARA EL TRAMO CARRETERO DE LA ALDEA LOMA LARGA A LA ALDEA LAGUNA SECA, MUNICIPIO DE AMATITLÁN, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Civil

c.c. Archivo
SJRS/ra





Guatemala, 30 de julio de 2010.
REF.EPS.D.572.07.2010

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Montenegro Franco.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO PARA EL TRAMO CARRETERO DE LA ALDEA LOMA LARGA A LA ALDEA LAGUNA SECA, MUNICIPIO DE AMATITLÁN, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA"** que fue desarrollado por el estudiante universitario **Mauricio Estuardo Monroy Orantes**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Silvio José Rodríguez Serrano.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor -Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Inga. Norma Ileana Sarmiento Rodríguez Serrano
Directora Unidad de EPS



NISZ/ra



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
3 de mayo de 2011

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO PARA EL TRAMO CARRETERO DE LA ALDEA LOMA LARGA A LA ALDEA LAGUNA SECA, MUNICIPIO DE AMATITLÁN, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA,** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Mauricio Estuardo Monroy Orantes, quien contó con la asesoría del Ing. Silvio José Rodríguez Serrano.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
TRANSPORTES
USAC

Ing. Jorge Alejandro Arévalo Valdez
Coordinador del Área de Topografía y Transportes

/bbdeb.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Silvio José Rodríguez Serrano y de la Coordinadora de E.P.S. Inga. Norma Ileana Sarmientos Zeceña, al trabajo de graduación del estudiante Mauricio Estuardo Monroy Orantes, titulado DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO PARA EL TRAMO CARRETERO DE LA ALDEA LOMA LARGA A LA ALDEA LAGUNA SECA, MUNICIPIO DE AMATITLÁN, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, agosto 2012

/bbdeb.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO PARA EL TRAMO CARRETERO DE LA ALDEA LOMA LARGA A LA ALDEA LAGUNA SECA, MUNICIPIO DE AMATITLÁN, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA,** presentado por el estudiante universitario **Mauricio Estuardo Monroy Orantes,** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 7 de agosto de 2012

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Ser supremo y divino que me brindó la vida, la oportunidad y capacidades para realizar mis estudios y alcanzar este triunfo.
- Mis padres** Ana Gloria Orantes de Monroy y Mauricio Eudomilio Monroy Morán, por su admiración y ejemplo, su amor, ayuda, consejos y apoyo que me han brindado incondicionalmente en cada momento de mi vida.
- Mi hermano** Manuel Eduardo Monroy, por ser un gran hermano, por su amistad, amor, cariño, y apoyo brindado.
- Mi tía** Ingrid Judith Cael Orantes, quien es como mi hermana y siempre ha sido un ejemplo a seguir, por todo su amor, cariño y apoyo incondicional brindado.
- Mi abuela** María Josefina Orantes Hernández, por ser mi segunda madre, por todo su amor y cariño, oraciones, consejos y apoyo brindado.
- Mis primos** Jimena Flores, Jeanett Fernández, Elías Fernández, siendo como mis hermanos, por su cariño y apoyo incondicional brindado, y especialmente a Josué Fernández, por ser un hermano y amigo admirable y

de ejemplo, por su compañía y apoyo incondicional brindado.

Mis abuelos

Margarita Morán Noyola (q.e.p.d.), Carlos Heraldo Monroy Olivares (q.e.p.d.), a quienes siempre admiraré y llevaré en el corazón, por ser un ejemplo a seguir, por su cariño, consejos y apoyo brindado.

Mis tíos padrinos

Dorina Reynosa de Monroy, Wilmer Monroy y Luz Monroy, con mucho aprecio, por ser un ejemplo, por su cariño, consejos y apoyo incondicional brindado en cada momento de mi vida.

Mis tías y tíos

Enma Monroy, Enilsa Monroy, Carlos Remberto Monroy, Elena Arriaza, Alfredo Campos, Hugo Recinos y Raúl Castellanos, con mucho aprecio, por su admiración, cariño, consejos y apoyo brindado en cada momento de mi vida.

Mis primos

Vanessa López, Waldir López, Marcos Campos, Edwar Castellanos, Jenson Castellanos, Karla Monroy, Carlos Monroy, Claudia Recinos, Hugo Recinos, Otto Recinos, Luis Miguel Monroy, Cristian Monroy, Alejandra Arana y Erika Ramos con mucho aprecio a todos, por su cariño, compañía, apoyo brindado y por los buenos momentos vividos con cada uno, pero especialmente a Daniel Monroy (q.e.p.d.) por los buenos momentos vividos juntos y

por haber formado parte muy importante y especial en mi vida.

Mis sobrinos

Marjorie Pineda, Gabriela Orantes, Keyla López, Edwar Castellanos, Fátima Recinos, Katterin Recinos, Otto Recinos, Justin Castellanos, Nicole Monroy, Denis Monroy, Ángel Daniel Monroy, Estefani Campos y Marcos Campos por el cariño y aprecio a cada uno.

Mis amigos

Diana Barrios, Alex Flores, Luis Miguel Rodas, por su gran amistad y apoyo brindado en cada momento, y especialmente a Andrés Vásquez, gran amigo y consejero que siempre ha estado en las buenas y malas, siendo como de mi familia, por su valiosa amistad y apoyo incondicional brindado.

**Mis amigos y
compañeros de
estudio**

A todos sin excepción alguna pero especialmente a: Ismael Ardón, Carlos Monzón, Gerardín Gomez, Samuel Valiente, Abner Monzón, Bernabé Gramajo, Fernando Bran, Osman Santos, Sara Rivera, Ronald Asig, Cristiam Aguirre y Sergio de la Roca, por su valiosa amistad, compañía, ayuda y apoyo brindado durante el tiempo de estudios.

Mi país

Guatemala, hermosa tierra del quetzal y la marimba que me vio nacer y crecer, que este logro contribuya a engrandecerla aún más.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la vida las capacidades y la oportunidad para alcanzar este triunfo.
Mis padres	Ana Gloria Orantes de Monroy y Mauricio Eudomilio Monroy Morán, porque siempre han estado conmigo, por la confianza, por sus consejos, por el apoyo, palabras de aliento y apoyo económico brindado.
Mi familia	A todos mis familiares sin excepción alguna, hermano, primas, primos, tías, tíos, abuelas, abuelo, sobrinas, sobrino, porque siempre me han apoyado y han contribuido a este triunfo.
Asesor	Ing. Silvio Rodríguez, por su tiempo y la asesoría brindada en este trabajo de graduación.
Ingeniero civil	Josué Fernández, por su tiempo y aporte brindado en este informe.
Mis casas de estudios	Liceo Javier Vespertino, por su enseñanza para el camino a la universidad, la tricentenaria Universidad de San Carlos de Guatemala y especialmente a la gloriosa Facultad de Ingeniería por permitirme la oportunidad de estudio y por los conocimientos adquiridos.

**Municipalidad de
San Juan Amatitlán**

Por brindarme la oportunidad de realizar el EPS en tan bello municipio de San Juan Amatitlán, especialmente a la OMP de la municipalidad por la amistad y apoyo, especialmente a la Arq. Ana María López y la Inga. Ligia Del Cid por el buen recibimiento, la confianza, apoyo brindado y conocimientos compartidos por ambas personas durante el período de EPS.

**Familia Monroy
Reynosa**

A mis tíos padrinos Dorina y Wilmer, mis primos Daniel (q.e.p.d.), Luis Miguel y Cristian, por abrirme las puertas de su casa, por las buenas atenciones y apoyo durante el tiempo de EPS en San Juan Amatitlán.

**Mis amigos y
compañeros de
estudio**

A todos en general y sin excepción, por su valiosa amistad, ayuda y apoyo durante el tiempo de estudios, y porque siempre han estado conmigo, de alguna forma contribuyeron para alcanzar este triunfo.

Agradezco a Dios por todo, y a todas esas buenas y excelentes personas que siempre han estado conmigo apoyándome, y que en algún momento me dieron ánimos y consejos que hayan contribuido para alcanzar este triunfo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. FASE DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Monografía del municipio de San Juan Amatitlán	1
1.1.1. Generalidades	1
1.1.1.1. Ubicación y localización	1
1.1.1.2. Accesos y comunicaciones	2
1.1.1.3. Población	3
1.1.1.4. Actividades económicas	3
1.1.1.5. Aspectos climáticos	4
1.2. Principales necesidades del municipio	4
1.2.1. Priorización de necesidades	5
2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL.....	7
2.1. Diseño del pavimento rígido para el tramo carretero de la aldea Loma Larga a la aldea Laguna Seca	7
2.1.1. Descripción del proyecto.....	7
2.1.2. Inspección inicial	8
2.1.3. Levantamiento topográfico	9
2.1.3.1. Planimetría.....	10

2.1.3.2.	Altimetría	10
2.1.4.	Estudio de suelos	11
2.1.4.1.	Ensayos para la clasificación del suelo	11
2.1.4.1.1.	Ensayo de granulometría	12
2.1.4.1.2.	Límites de Attemberg	13
2.1.4.2.	Ensayos para el control en la construcción.....	14
2.1.4.2.1.	Proctor modificado	15
2.1.4.3.	Ensayos para determinar la resistencia del suelo	16
2.1.4.3.1.	Ensayo de valor soporte del suelo (CBR).....	17
2.1.5.	Análisis del resultado del estudio de suelos	17
2.1.6.	Definición de pavimento	19
2.1.7.	Elementos de un pavimento	19
2.1.7.1.	Subrasante	19
2.1.7.2.	Subbase	19
2.1.7.3.	Superficie de rodadura	21
2.1.8.	Juntas	21
2.1.8.1.	Sellado de juntas	23
2.1.9.	Diseño del espesor de la losa de concreto (carpeta de rodadura)	24
2.1.9.1.	Método de la PCA.....	24
2.1.9.2.	Procedimiento y cálculos de diseño.....	25
2.1.10.	Diseño del drenaje transversal	33
2.1.11.	Especificaciones técnicas del proyecto	36
2.1.11.1.	Subrasante	36
2.1.11.2.	Subbase	37

2.1.11.3.	Concreto para losas	37
2.1.11.4.	Juntas	39
2.1.12.	Estudio de impacto ambiental	39
2.1.12.1.	Matriz de Leopold.....	40
2.1.13.	Presupuesto del proyecto	43
CONCLUSIONES		47
RECOMENDACIONES		49
BIBLIOGRAFÍA		51
APÉNDICE.....		53

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa del municipio de San Juan Amatlán.....	2
2.	Tramo carretero y zonas aledañas de cultivos	9
3.	Esquema de juntas en un pavimento	23
4.	Correlación aproximada entre la clasificación de los suelos	29
5.	Perfil completo del tramo carretero.....	33

TABLAS

I.	Categorías de tráfico en función de cargas por eje	26
II.	Clasificación funcional de las carreteras regionales.....	27
III.	Tipos de suelo de apoyo y sus módulos de reacción aproximados.....	30
IV.	TTPD permisible, categoría de carga por eje No. 1, pavimento con junta de trabazón de agregado (no se necesitan pasajuntas).....	32
V.	Valores de coeficiente de escorrentía	34
VI.	Matriz de Leopold, estudio de impacto ambiental	41
VII.	Presupuesto del pavimento rígido para la aldea Loma Larga y aldea Laguna Seca	44
VIII.	Cronograma de ejecución físico y financiero	45

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H	Altura entre cauce
A	Área
CA	Carretera Interamericana
Q	Caudal
cm	Centímetro
C	Coefficiente de escorrentía
D	Diámetro hidráulico o espesor de la losa de concreto del pavimento (carpeta de rodadura)
S	Espaciamiento entre juntas
F	Factor de fricción
°	Grados sexagesimales
Hop	Humedad óptima
I.P.	Índice plástico
I	Intensidad de lluvia
kg/cm²	Kilogramo sobre centímetro cuadrado
kg/cm³	Kilogramo sobre centímetro cúbico
kg/m³	Kilogramo sobre metro cúbico
km	Kilómetro
lb	Libra
lb/pe³	Libra sobre pie cúbico
ML	Ligera plasticidad de un suelo
L.L.	Límite líquido
L.P.	Límite plástico

L	Longitud de cauce
m	Metro
m²	Metro cuadrado
m³/s	Metros cúbicos por segundo
mm	Milímetro
mm/h	Milímetros por hora
min	Minutos
“	Minutos y/o pulgada
K	Módulo de reacción de sub rasante
Mr	Módulo de ruptura del concreto
US\$	Moneda Dólar de Estados Unidos de América
Q.	Moneda Quetzal de Guatemala
π	Número Pi , relación entre la longitud de una circunferencia y su diámetro, con valor de 3,141592654.
PNH	Peso neto húmedo
PNS	Peso neto seco
PUH	Peso unitario húmedo
PUS	Peso unitario seco
pie³	Pie cúbico
%H	Porcentaje de humedad
PCA	Portland Cement Association
f'c	Resistencia a la compresión del concreto
‘	Segundos
t	Tiempo de concentración de una cuenca
TPDA	Tránsito pesado promedio anual
TPPD	Tránsito pesado promedio diario
¾”	Tres cuartos de pulgada
Ha	Unidad de medida de hectárea.

GLOSARIO

Aditivo	Cualquier material agregado a la mezcla de concreto que no sea agua o cemento con la función de retardar y/o acelerar el fraguado del concreto.
Agregado	Material inerte con determinadas características que conforman el concreto, excluyendo el agua y el cemento.
Agregado fino	Es el agregado del concreto que sus partículas tienen un diámetro entre 0,074 y 4,76 milímetros. (Arena).
Agregado grueso	Es el agregado del concreto que sus partículas tienen un diámetro que varía entre 4,77 y 19,10 milímetros. Normalmente es llamado pedrín.
Altimetría	Rama de la topografía que estudia los métodos que tienen como finalidad la representación de las alturas de los puntos de mayor interés de un terreno.
Arcilla	Partículas de suelo con un diámetro menor de 0,002 milímetros.

Asentamiento	Es el descenso en su nivel que presenta una estructura debido al hundimiento del suelo.
AASHTO	American Association of Highways and Transportation officials
Base	Capa de material seleccionado de granulometría específica que se construye sobre la sub base o sub rasante.
CBR	California Bearing Ratio, ensayo de laboratorio utilizado para determinar la resistencia de corte de un suelo en condiciones de compactación y humedad determinadas.
Concreto	Mezcla dosificada de materiales inertes llamados agregados (grava y arena), aglomerantes y agua.
Cemento	Aglomerante hidráulico (que reacciona y fragua con agua) utilizado en el concreto para aglomerar o pegar los agregados del mismo.
Compactación	Densificación del suelo por medios mecánicos, con el objetivo de mejorar la resistencia y estabilidad volumétrica, afectando la permeabilidad, como consecuencia del proceso de densificación de la masa.

Confinamiento	Es el procedimiento para aumentar la resistencia a la compresión de un elemento, al mantener más unidas las partes del mismo
Costo directo	Es el costo económico de un trabajo en el cual están incluidos los gastos por materiales y de mano de obra.
Costo indirecto	Es el costo económico en el cual están incluidos los gastos administrativos, impuestos, imprevistos y de utilidad que tenga que cubrir el ejecutor.
Curar el concreto	Dar condiciones adecuadas de humedad y temperatura al concreto durante el proceso de fraguado con el objetivo de obtener un concreto endurecido con características de resistencia deseadas.
Densidad	Relación entre la masa de un cuerpo y el volumen del mismo.
Esfuerzo	Relación entre una fuerza aplicada y el área en el que dicha fuerza actúa.
Estabilización de suelo	Método o procedimiento utilizado para mejorar las características mecánicas de un suelo.

Fallar	Acción que presenta un elemento o estructura cuando ha dejado de prestar el servicio para el cual fue diseñado.
Fraguado del concreto	Es el cambio de estado plástico a estado sólido del concreto.
Fundir	Colocado del concreto en la formaleta o lugar donde será construido el elemento con el mismo concreto.
Granulometría	Parte de la petrografía que estudia la medida del tamaño de las partículas, granos y rocas de los suelos así como la distribución de dichas partículas en el mismo.
INE	Instituto Nacional de Estadística de Guatemala.
Junta	Abertura muy pequeña colocada en las estructuras para contrarrestar los efectos de expansión y contracción provocados por los cambios de temperatura y humedad.
Losa	Estructura plana de concreto armado o no armado con grosor específico, utilizada para soportar cargas verticales.

Material selecto	Material que cumple con las propiedades mecánicas y características físicas establecidas en los parámetros de diseño.
Pavimento	Estructura vial destinada para soportar y transmitir las cargas de tránsito al suelo así como permitir un tránsito seguro y cómodo.
Plasticidad	Propiedad de un material que permite que este se deforme sin llegar a quebrarse o fallar.
Rasante	Línea de una calle u otra vía terrestre, considerada en su inclinación respecto del plano horizontal.
Superficie de rodadura	Capa del pavimento que se construye sobre la base o sub base y que está libre al tránsito.
Tamiz	Red con aberturas de tamaño específico utilizada para separar las partículas de un material en el estudio granulométrico.

RESUMEN

El Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), tiene como principal objetivo identificar, analizar y proponer la solución más adecuada a las distintas necesidades o problemas que presenten las comunidades de la República de Guatemala, el presente estudio técnico fue realizado en el municipio de San Juan Amatitlán, departamento de Guatemala.

El siguiente informe está dividido en dos partes, siendo la primera un estudio y análisis general del municipio de San Juan Amatitlán, en ésta se hace una descripción de San Juan Amatitlán sobre sus actividades económicas, clima, datos de la población, así como un diagnóstico sobre las necesidades de servicios básicos y problemáticas de infraestructura que afectan a San Juan Amatitlán.

La segunda parte de este informe, fue nombrada servicio técnico profesional, consta del diseño de un pavimento rígido para el tramo carretero entre las aldeas Loma Larga y la aldea Laguna Seca, dicho proyecto fue seleccionado y diseñado con base al diagnóstico en conjunto con la municipalidad y la población beneficiada.

Para el diseño del pavimento anteriormente descrito se realizaron levantamientos topográficos, estudios de suelo y visitas al lugar, con base a los resultados de dichos estudios el pavimento fue diseñado con el método simplificado de la PCA, siendo todo el diseño basado en normas AASHTO y normas del RGC-2001.

OBJETIVOS

General

Diseño del pavimento rígido para el tramo carretero de la aldea Loma Larga a la aldea Laguna Seca, municipio de San Juan Amatitlán, departamento de Guatemala.

Específicos

1. Desarrollar una investigación monográfica y un diagnóstico sobre los problemas de infraestructura y las necesidades de servicios básicos existentes en el municipio de San Juan Amatitlán, departamento de Guatemala.
2. Capacitar a los miembros de la Oficina Municipal de Planificación (OMP) de la Municipalidad de San Juan Amatitlán para el adecuado mantenimiento y conservación del pavimento rígido para el tramo carretero entre la aldea Loma Larga y la aldea Laguna Seca.

INTRODUCCIÓN

A continuación se muestra el resultado del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, debido a que en muchas comunidades del territorio guatemalteco se sufre de carencias de servicios básicos así como de infraestructura, impidiendo el desarrollo humano de la población de Guatemala. El presente informe es una contribución a la problemática de las comunidades del territorio guatemalteco, específicamente a la comunidad del municipio de San Juan Amatlán del departamento de Guatemala.

El diseño y planificación de un proyecto de pavimentación comprende de varios estudios previos al diseño mismo, dichos estudios abarcan desde estudios previos de suelos, topografía y datos poblacionales para poder presentar un diseño adecuado, dando así un aporte efectivo para contribuir a resolver la problemática de infraestructura y necesidades de las comunidades. Para el caso de un pavimento el objetivo es brindar a la población una mejor comunicación, seguridad y comodidad a la hora de transitar de un lugar a otro como sería el caso de la aldea Loma Larga a la aldea Laguna Seca.

Se muestra detalladamente el procedimiento de diseño y planificación del proyecto de pavimentación para el tramo carretero entre la aldea Loma Larga y la aldea Laguna Seca, siendo descrito dicho procedimiento desde los estudios previos de suelo, topografía y diseño hasta su planificación, así como especificaciones técnicas de diseño y construcción. Cabe mencionar que todo el procedimiento descrito es basado en normas AASHTO, DGC-2001 y bibliografía confiable.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1. Monografía del municipio de San Juan Amatitlán

San Juan Amatitlán es un municipio muy poblado y rico en cultura y actividad económica, sin embargo, posee muchas regiones con carencias en cuanto a la infraestructura, tal es el caso de la aldea Loma Larga y la aldea Laguna Seca.

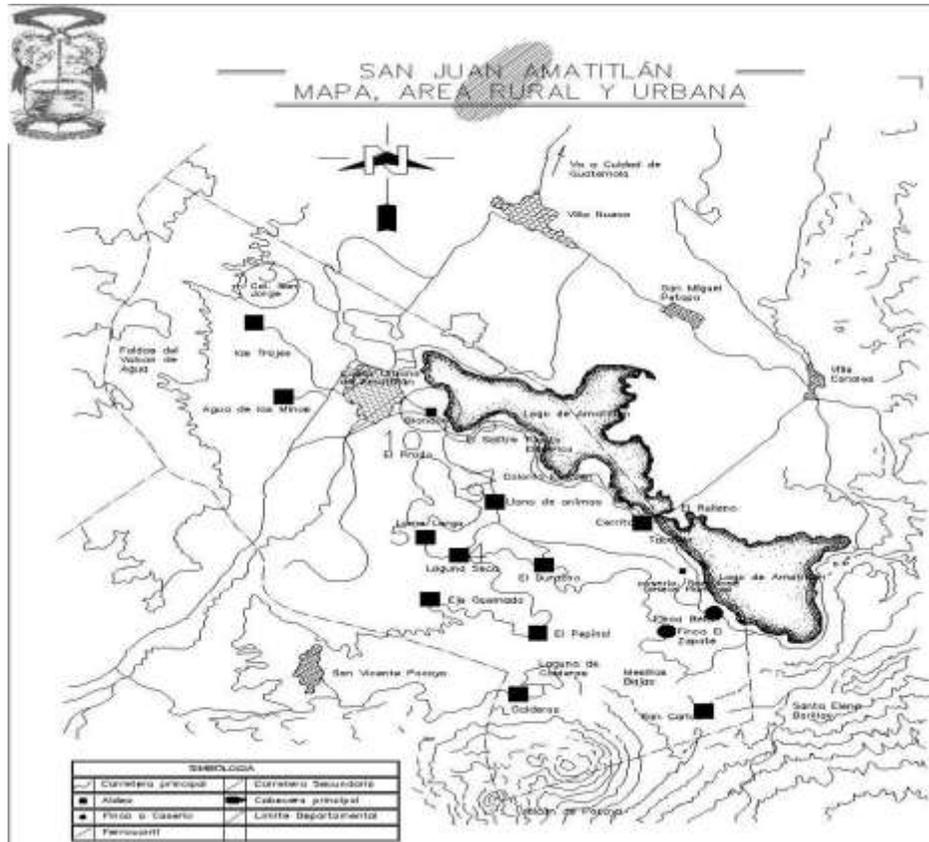
1.1.1. Generalidades

San Juan Amatitlán es un municipio del departamento de Guatemala, se encuentra a una distancia de 25 kilómetros de la cabecera departamental de Guatemala. Cuenta con 1 ciudad, 13 aldeas, 20 caseríos y 3 parajes.

1.1.1.1. Ubicación y localización

Según registros de la Municipalidad de San Juan Amatitlán, este municipio se encuentra situado en la parte sur del departamento de Guatemala, en la Región I o Región Metropolitana. Se localiza en la latitud 14° 28' 42" norte y en la longitud 90° 37' 08" oeste. Limita al norte con los municipios de Villa Nueva, San Miguel Petapa y Villa Canales (Guatemala); al sur con los municipios de Palín y San Vicente Pacaya (Escuintla) y Villa Canales (Guatemala); al este con el municipio Villa Canales (Guatemala); y al oeste con los municipios de Santa María de Jesús y Magdalena Milpas Altas (Sacatepequez).

Figura 1. Mapa del municipio de San Juan Amatlán



Fuente: Oficina Municipal de Planificación, Municipalidad de San Juan Amatlán.

1.1.1.2. Accesos y comunicaciones

Según registros de la Municipalidad de San Juan Amatlán, este municipio está a unos 28 kilómetros de la cabecera departamental entrando por la carretera Interamericana CA-9. Está a 9 kilómetros de la salida de la cabecera Municipal de Villa Nueva, hasta el parque de la cabecera Municipal de San Juan Amatlán.

1.1.1.3. Población

El municipio de San Juan Amatitlán cuenta con 82 870 habitantes, de los cuales 40 462 son hombres y 42 408 son mujeres, distribuidos 60 924 en el área urbana y 21 946 en el área rural, presentando un factor de crecimiento poblacional de 3,92%, según censo realizado por el INE (Instituto Nacional de Estadística) en el 2002. En el municipio se estima que el 94,3 % es no indígena y el 2,4 % es indígena según censo del INE en 1994. En el municipio se habla el español y parte de su población habla cakchiquel según censo del INE en 1994.

1.1.1.4. Actividades económicas

Según registros de la Municipalidad, San Juan Amatitlán cuenta con dos tipos de producción los cuales son:

- Producción agropecuaria

Maíz, frijol, tabaco, maní, hortalizas y frutas. Crianza de ganado y pesca.

- Producción artesanal

Tejidos de algodón, cestería, jarca, instrumentos musicales y muebles de madera, trenzas y escobas de palma, productos de hierro y hojalata, candelas, cuero, ladrillo de barro, petates de tul, cohetería y dulces típicos.

1.1.1.5. Aspectos climáticos

El municipio de San Juan Amatitlán se localiza en la zona de bosque subtropical templado húmedo, que varía según las estaciones de invierno y verano, e influye en la dirección e intensidad de las corrientes eólicas. Los vientos predominantes en el día son nor-noreste, y en las madrugadas el viento sur. Su clima es seco en los meses de verano y húmedo en los meses de invierno, con temperaturas promedio de 26 a 30 grados centígrados.

La época más lluviosa es en los meses de junio a septiembre; la precipitación pluvial se establece dentro del rango de 650 a 1500 milímetros al año, según los portales de internet del municipio de San Juan Amatitlán.

1.2. Principales necesidades del municipio

El municipio de San Juan Amatitlán, a pesar de encontrarse en un desarrollo constante padece una serie de necesidades tanto de servicios básicos como de infraestructura tales como:

- Infraestructura
 - ❖ Mejoramiento de caminos
 - ❖ Puentes para salvar obstáculos
 - ❖ Alumbrado público
 - ❖ Sistemas de disposición de aguas residuales y pluviales
 - ❖ Mercado municipal

- Sociales

Ayuda a las comunidades para el fortalecimiento de los COCODE. La información de que San Juan Amatitlán tiene dichas necesidades fue obtenida de registros de necesidades de la oficina Municipal de Planificación y por lo observado e investigado en el período de EPS.

1.2.1. Priorización de necesidades

Proyecto de pavimentación del camino entre las aldeas Laguna Seca y la aldea Loma Larga:

- Con la pavimentación de dicha ruta se logrará una condición de uso y comunicación más adecuada.
- La movilización y distribución de los cultivos aledaños a la zona sería más favorable.

2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

2.1. Diseño del pavimento rígido para el tramo carretero de la aldea Loma Larga a la aldea Laguna Seca

Para el diseño de dicho pavimento de concreto se tomaron en cuenta la cantidad de tránsito vehicular, así como el tipo del mismo para comenzar con el procedimiento con base a los parámetros de diseño descritos a continuación.

2.1.1. Descripción del proyecto

Luego del estudio de las necesidades de la población de San Juan Amatlán se optó por el proyecto de pavimentación, el cual consiste en el diseño de un pavimento rígido (de concreto hidráulico) para el tramo carretero entre la aldea Loma Larga y la aldea Laguna Seca, dicho diseño es realizado por el método de la PCA, el cual, más adelante será detallado, el mismo permitirá una mejor comunicación entre ambas aldeas así como una mejora en las actividades económicas de la zona dado que en terrenos aledaños se encuentran zonas de cultivo.

Debido al tipo de proyecto se tomaron en consideración varios aspectos para la planificación y diseño del mismo, se comenzó por hacer una visita de reconocimiento del lugar, dicha visita consistió en toma de fotografías, análisis sobre servicios existentes y conocimiento previo de la topografía, posteriormente se comenzó con el levantamiento topográfico para tener una representación gráfica más exacta del lugar, dicho estudio incluye planimetría y altimetría.

Dado a que el proyecto consiste en la pavimentación del tramo carretero, fue necesario realizar un estudio de suelos, el mismo incluye toma de dos muestras de suelo en el tramo carretero, dichas muestras fueron llevadas al laboratorio de suelos donde se procedió a realizar los ensayos de granulometría, límites de Atterberg, Proctor Modificado y el Ensayo de Valor Soporte CBR, una vez obtenidos los resultados del estudio de suelos se realizó el diseño de la vía, debido a que el tramo carretero presenta un ancho de carril de 5 metros en promedio, se optó por un derecho de vía de 5 metros siendo tomado como 2,5 metros a cada lado a partir de la línea central.

Tomando como base los resultados de los estudios preliminares, el estudio topográfico y el estudio de suelos, el diseño del pavimento rígido dió como resultado un pavimento con un espesor de losa de concreto de 15 centímetros según cálculos realizados con el método de la PCA, dicho concreto debe poseer como mínimo una resistencia a la compresión de 281 kilogramos sobre centímetros cuadrados a los 28 días para que pueda cumplir con los requerimientos establecidos en el diseño.

2.1.2. Inspección inicial

Se realizó una inspección detallada del tramo carretero, se determinó que los levantamientos topográficos debían ser planimetría y altimetría, el tramo carretero presentó partes con pendientes pronunciadas, en todo el tramo se pudo constatar que prevalecía un sólo tipo de suelo, las áreas aledañas al tramo carretero están comprendidas por terrenos de cosechas, viviendas y una escuela.

Figura 2. Tramo carretero y zonas aledañas de cultivos



Fuente: tramo carretero de la aldea Loma Larga a la aldea Laguna Seca, municipio de San Juan Amatitlán.

2.1.3. Levantamiento topográfico

Debido a que el tramo carretero ya estaba definido se optó por realizar un estudio de planimetría para obtener una representación gráfica de las características físicas del terreno, siendo éstas las medidas de ancho y largo del tramo carretero así como detalles de curvas y terrenos aledaños. Dado que el tramo será pavimentado es necesario conocer el perfil del mismo para el análisis de movimientos de tierra y pendientes, por ello fue necesario realizar un estudio de altimetría para medir las respectivas diferencias de altitud en todo el tramo.

2.1.3.1. Planimetría

Es la parte de la topografía que comprende los métodos y procedimientos que tienden a conseguir la representación a escala, sobre una superficie plana, de todos los detalles interesantes del terreno, prescindiendo de su relieve. En planimetría los métodos más utilizados son los siguientes:

- A partir de un solo punto conocido, por levantamiento de poligonales, un método que consiste en medir distancias horizontales y azimut a lo largo de una línea quebrada.
- A partir de un solo punto conocido, por proyección radial, un método que consiste en medir distancias horizontales y azimut, o ángulos horizontales.
- A partir de dos puntos conocidos por triangulación y/o intersección, métodos que consisten en medir distancias horizontales y azimut, o ángulos horizontales.

2.1.3.2. Altimetría

Se da el nombre de nivelación al conjunto de operaciones por medio de las cuales se determina la elevación de uno o más puntos respecto a una superficie horizontal de referencia dada o imaginaria, la cual es conocida como superficie o plano de comparación.

El objetivo primordial de la nivelación es referir una serie de puntos a un mismo plano de comparación para poder deducir los desniveles entre los puntos observados.

Se dice que dos o más puntos están a nivel cuando se encuentran a la misma cota o elevación respecto al mismo plano de referencia, en caso contrario se dice que existe un desnivel entre estos.

2.1.4. Estudio de suelos

Debido a que el suelo será el que soportará, en última instancia, las cargas del peso de las losas, del pavimento y las cargas de tránsito, es importante realizar un estudio de suelos adecuado para poder determinar las características del mismo, que permitan un diseño y construcción de pavimento adecuado al tipo de suelo. Para proyectos de pavimentación el estudio está constituido por tres partes:

- Clasificación del suelo
- Ensayos para el control en la construcción
- Determinación de la resistencia del suelo

Para el presente proyecto se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio: Granulometría, Límites de Attemberg, CBR y Proctor Modificado.

2.1.4.1. Ensayos para la clasificación del suelo

Debido a que la resistencia de un suelo está en función de sus propiedades mecánicas, es muy importante conocer las características físicas de un suelo.

2.1.4.1.1. Ensayo de granulometría

Este ensayo tiene como finalidad determinar la distribución de tamaños de las partículas del suelo en su totalidad.

Este ensayo consiste en colocar una serie de tamices con diferentes diámetros que son ensamblados uno encima de otro formando una columna. En la parte superior se encuentra el tamiz de mayor diámetro donde se agrega el material original y la columna de tamices se somete a vibración y movimientos rotatorios intensos en una máquina especial. Luego de algunos minutos, se retiran los tamices y se desensamblan, tomando por separado los pesos de material retenido en cada uno de ellos y que, en suma, deben corresponder al peso total del material que inicialmente se colocó en la columna de tamices.

Tomando en cuenta el peso total y los pesos retenidos se encuentran los porcentajes de peso retenido en cada tamiz, la gráfica granulométrica se obtiene ploteando los porcentajes de peso que pasan versus los distintos tamaños de abertura de cada tamiz. La curva granulométrica permite visualizar la tendencia homogénea o heterogénea que tienen los tamaños de grano (diámetros) de las partículas. Este procedimiento está regido por la Norma AASHTO T-27.

Según los resultados obtenidos del ensayo de granulometría realizado, el suelo posee 4,48 % de grava, 68,65 % de arena y 26,87 % de finos. El suelo se clasificó como arena limosa color café según el método de clasificación de la AASHTO.

2.1.4.1.2. Límites de Attemberg

Los límites de Attemberg son medidas de la consistencia de un suelo, tienen como fin la determinación de las propiedades plásticas de los suelos arcillosos o limosos, siendo de gran importancia dicho estudio para proyectos de pavimentación.

- Límite Líquido (L.L.)

Es el contenido de agua o porcentaje de humedad que fija la división entre el estado casi líquido y el estado plástico.

Es el contenido de agua de un suelo (expresado en porcentaje de peso seco) que posee una consistencia tal que una muestra a la que se le ha practicado una ranura, al sujetarse al impacto de varios golpes fuertes, se cierra sin que el suelo resbale sobre su apoyo.

Este límite sirve para determinar la máxima densidad en la compactación, estimación de asentamientos en problemas de consolidación, así como puede ser también representado como la resistencia al corte del suelo en un estado húmedo. El ensayo con el cual se determina este límite esta regido por la Norma AASHTO T 89.

- Límite Plástico (L.P.)

Está definido como el contenido de agua (expresado en porcentaje del peso seco) con el cual se agrieta un cilindro de material de 1/8 de pulgada de diámetro, al rodarse con la palma de la mano sobre una superficie lisa. El

ensayo con el cual se determina este límite esta regido por la Norma AASHTO T 90.

- Índice plástico

El índice plástico (I.P.) esta determinado como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

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

El índice plástico representa la variación de humedad que puede presentar un suelo que se mantiene en estado plástico. Tanto el límite líquido como el límite plástico están en función de la calidad y del tipo de arcilla; sin embargo, el índice plástico depende, generalmente, de la cantidad de arcilla en el suelo.

Clasificación de la plasticidad de un suelo:

I.P. = 0 - Suelo no plástico.

I.P. entre 0 y 7 – Suelo con baja plasticidad.

I.P. entre 7 y 17 – Suelo con plasticidad media.

I.P. mayor de 17 - Suelo altamente plástico.

2.1.4.2. Ensayos para el control en la construcción

A fin de poder mantener las condiciones óptimas de un suelo a la hora de construir, es necesario llevar un control que muestre los parámetros del suelo, los cuales puedan indicar si el suelo se mantiene en los rangos permitidos.

2.1.4.2.1. Ensayo de proctor modificado

Este ensayo consiste en la compactación de una muestra de suelo en un cilindro metálico de 1/30 pies cúbicos de volumen, la compactación se realiza por medio de 5 capas compactadas a 25 golpes con un martillo de 10 libras a una caída libre de 18 pulgadas, posteriormente se pesa la muestra y el peso unitario húmedo se encuentra de la siguiente forma:

$$PUH = (PNH) / \text{Volumen}$$

Donde:

PUH = peso unitario húmedo en kg/m³

PNH = peso neto húmedo en kg

Volumen = volumen del cilindro en m³

Luego para encontrar el peso unitario seco primero se calcula el porcentaje de humedad.

$$\% H = \{(PNH - PNS)/PNS\} * 100$$

Donde:

PNS = peso neto seco.

PNH = peso neto húmedo.

% H = porcentaje de humedad.

El peso unitario seco se determina de la siguiente forma:

$$PUS = (PUH / (100 + \%H)) * 100$$

Donde:

PUS = peso unitario seco

PUH = peso unitario húmedo

% H = porcentaje de humedad

El ensayo consiste en repetir este procedimiento con humedades distintas hasta encontrar la densidad máxima, la humedad que la muestra de densidad máxima posea será la humedad óptima. El procedimiento de este ensayo es regido por la Norma AASHTO STANDARD T-180.

Un suelo compactado a una humedad óptima (Hop) llegará a su densidad máxima aumentando así la resistencia del mismo y la capacidad de absorción de agua ya que se reducen los vacíos entre las partículas del suelo. Según el resultado del ensayo Proctor modificado el suelo posee una densidad seca máxima de 1 576 kilogramos por metro cúbico o 98,4 libras por pie cúbico y una humedad óptima de 23,2%.

2.1.4.3. Ensayos para determinar la resistencia del suelo

Debido a que el suelo será en última instancia el que soportará las cargas por el tránsito, es necesario realizar estudios que permitan conocer la resistencia de dicho suelo bajo condiciones extremas de humedad.

2.1.4.3.1. Ensayo de valor soporte del suelo (CBR)

El ensayo de CBR tiene como función la determinación de la resistencia de un suelo ante un esfuerzo cortante en condiciones de compactación y humedad adecuada máxima. Este ensayo consiste en preparar la muestra del suelo con la humedad óptima encontrada en el ensayo de Proctor modificado, dicha muestra se procede a compactar en 5 capas en un cilindro metálico. El material debe estar compactado a diferentes porcentajes, esto se logra compactando tres muestras en tres cilindros por separado, las muestras deben ser compactadas a 10, 30 y 65 golpes con el martillo anteriormente descrito. Esto tiene como fin la obtención de distintos grados de compactación.

Posteriormente se procede a sumergir en agua las muestras compactadas en los cilindros por un período de 72 horas tomando medidas de hinchamiento a cada 24 horas. Una vez transcurridas las 72 horas se procede a someter a la muestra a una carga (a velocidad constante) producida por un pistón de 3 pulgadas cuadradas de área, se calculan los esfuerzos para las penetraciones de 0,1 y 0,2 pulgadas. El CBR es expresado como un porcentaje del esfuerzo determinado para hacer penetrar el pistón a 0,1 y 0,2 pulgadas en una muestra de piedra triturada. Este procedimiento de ensayo está regido por la Norma AASHTO T-193-63.

2.1.5. Análisis de resultados del estudio de suelos

Resumen de resultados del estudio de suelos:

- Clasificación PRA: A-2-4
- Clasificación SCU: SM

- Descripción del suelo: arena limosa color café
- Limite líquido: 33,4%
- Índice plástico: 6,2%
- Descripción del suelo con respecto a los límites: suelo con ligera plástico
- Densidad seca máxima: 1 576 kilogramos por metro cúbico
- Humedad óptima (Hop): 23,2%
- CBR al 95% de compactación: 10,7% aprox
- CBR crítico: 5,7%
- Expansión máxima: 2,83%

El material utilizado para la subrasante debe cumplir con las siguientes condiciones:

- No ser un suelo altamente orgánico, clasificado en el grupo A-8 según AASHTO M 145.
- Ser un suelo, de preferencia granular, presentar menos del 3% de expansión de acuerdo con AASHTO T 193 (CBR).

El suelo presente en el tramo carretero cumple con ambos requisitos para una subrasante debido a que no es un suelo orgánico del grupo A-8 sino un suelo clasificado A-2-4 tipo material granular, además según la clasificación SCU es un suelo SM el cual indica que es una arena bien graduada y según los resultados de laboratorio del ensayo de CBR el suelo presenta un porcentaje de expansión máximo del 2,83% siendo menos del máximo permitido que es 3%.

2.1.6. Definición de pavimento

Pavimento es la estructura encargada de soportar y distribuir las cargas del tránsito en forma adecuada al suelo sin que se sobrepase la capacidad de soporte del suelo y llegue a fallar, así mismo el pavimento debe tener una superficie de rodadura que preste comodidad y seguridad en el tránsito.

2.1.7. Elementos de un pavimento

Un pavimento está conformado por distintas capas de material, las cuales varían en su espesor y material, estando éstas en función de las propiedades mecánicas del suelo y del tránsito.

2.1.7.1. Subrasante

La sub rasante es el suelo sobre el cual se construirá el pavimento, dicha capa debe presentar una capacidad de soporte adecuada, de no ser así debe mejorarse por medio de una estabilización de suelo, como se indica en el manual centroamericano para diseño de pavimentos.

El suelo del tramo carretero es apto para una subrasante como se comprobó anteriormente luego de conocer los resultados de los estudio de suelo.

2.1.7.2. Subbase

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir uniformemente las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante

la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase. La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que, generalmente, se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o subbase adecuada.

Especificaciones del material para subbase:

- El material deberá ser seleccionado y tener mayor valor soporte (CBR) que el material de subrasante.
- El valor soporte (CBR) debe determinarse según AASHTO T-193 sobre muestra saturada según AASHTO T-180.
- El tamaño de las piedras que contenga el material no debe ser mayor de 2/3 del espesor de esta y los porcentajes que pasan los tamices No. 40 y No. 200, deben ser según AASHTO T-11 y T-27.
- El índice de plasticidad debe determinarse según AASHTO T- 90, y el Límite Líquido según AASHTO T-89, determinados ambos sobre una muestra preparada en húmedo, según AASHTO T-146.
- El material debe estar libre de impurezas tales como: basura, materia orgánica, terrones de arcilla y cualquier otro material que pueda ocasionar problemas específicos al pavimento.

2.1.7.3. Superficie de rodadura

Es la capa superior de la estructura del pavimento construída sobre la subbase, además es la capa que queda libre al tránsito, es construida con concreto hidráulico por su rigidez y alto módulo de elasticidad, según el manual centroamericano para diseño de pavimentos, su función está basada en la capacidad portante de las losas de concreto más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base.

2.1.8. Juntas

Las juntas tienen como principal objetivo el control y disipación de esfuerzos en las losas de concreto causados por contracción y expansión en presencia de cambios en la temperatura y humedad de las losas. Las juntas más utilizadas son las siguientes:

- Juntas transversales de contracción

Son juntas construidas transversalmente a la línea central y espaciadas, sirven para controlar el agrietamiento por esfuerzos causados por contracción o encogimiento y cambios de humedad o temperatura. Estas juntas están orientadas en ángulos rectos a la línea central y al borde de los carriles o franjas del pavimento.

- Juntas transversales de construcción

Las juntas transversales de construcción son juntas planas y no se benefician del engrape del agregado. Controlan principalmente el agrietamiento natural del pavimento. Su diseño y construcción apropiados son críticos para el

desempeño general del pavimento. Deben construirse al concluir la operación de pavimentación, al final del día, o cuando surge cualquier interrupción de la colocación (por ejemplo, en los accesos a puentes o cuando hay falta de suministro de concreto). Estas juntas, siempre que sea posible, deben instalarse en la localización de una junta planificada previamente.

- Juntas de expansión o aislamiento

Se colocan en localizaciones que permitan el movimiento del pavimento, sin dañar las estructuras adyacentes (puentes, drenajes, etc.) o el pavimento en sí, en áreas de cambios de dirección del mismo.

Las juntas de expansión o aislamiento, deben tener entre 19 milímetros y 25 milímetros ($\frac{3}{4}$ a 1 pulgada) de ancho. En las juntas de expansión, un material premoldeado para relleno de junta, debe ocupar el vacío entre la sub base o sub rasante y el sellador de la junta. El relleno debe quedar alrededor de 25,4 milímetros (1 pulgada) más abajo del nivel de la superficie y debe extenderse en la profundidad y ancho total de la losa.

En las juntas de expansión, el espesor de la losa debe aumentarse en un 20% a lo largo de la junta de expansión. La transición de espesor es gradual, en una longitud de 6 a 10 veces el espesor del pavimento.

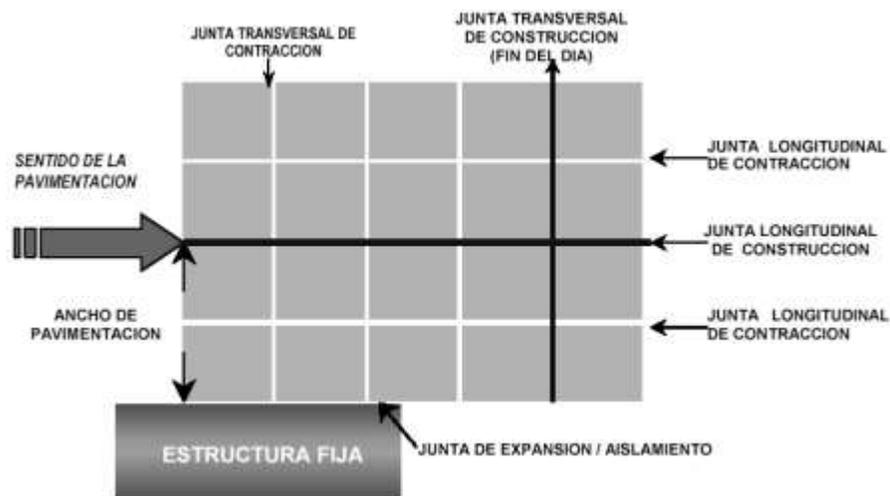
- Juntas longitudinales de contracción

Son utilizadas para dividir los carriles de tráfico y controlar el agrietamiento, donde se colocan dos o más anchos de carriles al mismo tiempo.

- Juntas longitudinales de construcción

Estas juntas unen carriles de pavimentos adyacentes, cuando éstos fueron pavimentados en diferentes fechas.

Figura 3. **Esquema de juntas en un pavimento**



Fuente: LONDOÑO, Cipriano. Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto. p. 25.

2.1.8.1. Sellado de juntas

Como se indica en el Manual centroamericano para el diseño de pavimentos se utiliza el sellado de juntas para minimizar la filtración de agua superficial dentro de las juntas y las capas subyacentes, así como la entrada de materiales incompresibles que puedan ocasionar desportillamientos y daños mayores. Este proceso consiste en el aserrado de la losa, entre 2 y 4 horas después de su colocación.

2.1.9. Diseño del espesor de la losa de concreto (carpeta de rodadura)

El método utilizado para el diseño de losas de pavimentos es el método de Portland Cement Association (PCA).

2.1.9.1. Método de la PCA

Debido a que el tramo carretero a pavimentar presenta dificultad en el acceso, el tránsito en el mismo es mínimo, este método es utilizado cuando no se cuenta con algún aforo vehicular. Para este método, la PCA proporciona tablas con rangos de tránsito así como también tablas con distribución de cargas para distintas categorías de calles y carreteras, estas tablas están diseñadas con un factor de seguridad de carga de 1, 1,1, 1,2 y 1,3 para las categorías 1 a la 4 respectivamente. Cabe mencionar que el período de diseño que este método considera es de 20 años.

El procedimiento de este método consta de tres pasos:

- A. Clasificar la vía a pavimentar según su tráfico en función de las cargas por eje y determinar el TPPD;
- B. Determinar el módulo de reacción k de la sub-rasante para determinar la condición de apoyo y espesor de base;
- C. Determinar el espesor de la losa de concreto con ayuda de los datos anteriores y el uso de la tabla correspondiente a la categoría de la carretera.

Cabe mencionar que este procedimiento es regido por las tablas de este método anteriormente descritas.

Debido a que no se hizo un aforo vehicular, ya que el tránsito en el mismo es mínimo, por condiciones malas del tramo carretero se decidió utilizar el método simplificado para este proyecto.

2.1.9.2. Procedimiento y cálculos de diseño

A. Clasificación de la vía y determinación del TPPD

Dado que el tramo carretero se encuentra en zona rural y es un camino secundario con un tránsito pesado medio, su clasificación es de categoría 1 según la siguiente tabla que es del método PCA.

Tabla I. **Categorías de tráfico en función de cargas por eje**

Categoría de ejes	Descripción	TPDA	TPPD		Carga máxima por eje	
			%	Por día	Eje sencillo	Eje doble
1	Calles residenciales, caminos rurales y secundarios (de bajo a medio*)	200 - 800	1 - 3	Hasta 25	22	36
2	Calles colectoras, caminos rurales y secundarios (altos*), Arterias principales y caminos principales (bajos*)	700 - 5,000	5 - 18	40 - 1,000	26	44
3	Caminos primarios y arterias principales (medio*), viaductos, vías rápidas periféricos, vialidades urbanas y rurales (de bajo a medio*)	3,000 - 12,000 en 2 carriles, 3,000 - 50,000 en 4 carriles	8 - 30	500 - 1,000	30	52
4	Arterias principales, carreteras principales, viaductos (altos*), Carreteras y vías urbanas y rurales (de medios a alto*)	3,000 - 20,000 en 2 carriles, 3,000 - 150,000 4 carriles o más	8 - 30	1,500 - 8,000	34	60

Fuente: SALAZAR RODRÍGUEZ, Aurelio. Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos. p. 148.

La descripción de bajo, medio y alto corresponde al peso relativo de los ejes cargados para el tipo de calle o camino: es decir, alto para un camino rural representaría cargas más pesadas que para el caso de bajo para un camino secundario.

Para poder determinar el TPPD (tránsito pesado promedio diario) con la tabla anterior (tabla I) es necesario conocer el TPDA (tránsito pesado promedio anual), el cual puede ser estimado con la ayuda de la siguiente tabla.

Tabla II. **Clasificación funcional de las carreteras regionales**

TPDA	> 20,000		20,000 - 10,000		10,000 - 3,000		3,000 - 500	
	C	S	C	S	C	S	C	S
AR - Carreteras Regionales	6 - 8	Pav.	4 - 6	Pav.				
TS - Troncales Suburbanas	4	Pav.	2 - 4	Pav.	2	Pav.		
TR - Troncales Rurales	4	Pav.	2 - 4	Pav.	2	Pav.		
CS - Colectoras Suburbanas			2 - 4	Pav.	2	Pav.	2	Pav.
CR - Colectoras Rurales					2	Pav.	2	Pav.

Fuente: CORONADO ITURBIDE, Jorge, Manual centroamericano para diseño de pavimentos.

p. 36.

TPDA = Tránsito promedio diario anual

C= Número de carriles

S= Superficie de rodadura

Pav. = Pavimentadas

Por el tipo de vía que es el tramo carretero de dos carriles, puede ser clasificado como CR (colectoras rurales), tomando como estimación un TPDA de 800.

Una vez obtenido el TPDA se procedió a obtener el TPPD con la ayuda de la tabla III, el TPPD está dado como un porcentaje del TPDA, para este proyecto se tomó un porcentaje de 3% según la tabla del TPDA, dando como

resultado un TPPD de 24, siendo esto como el número de camiones pesados que pasan en el día.

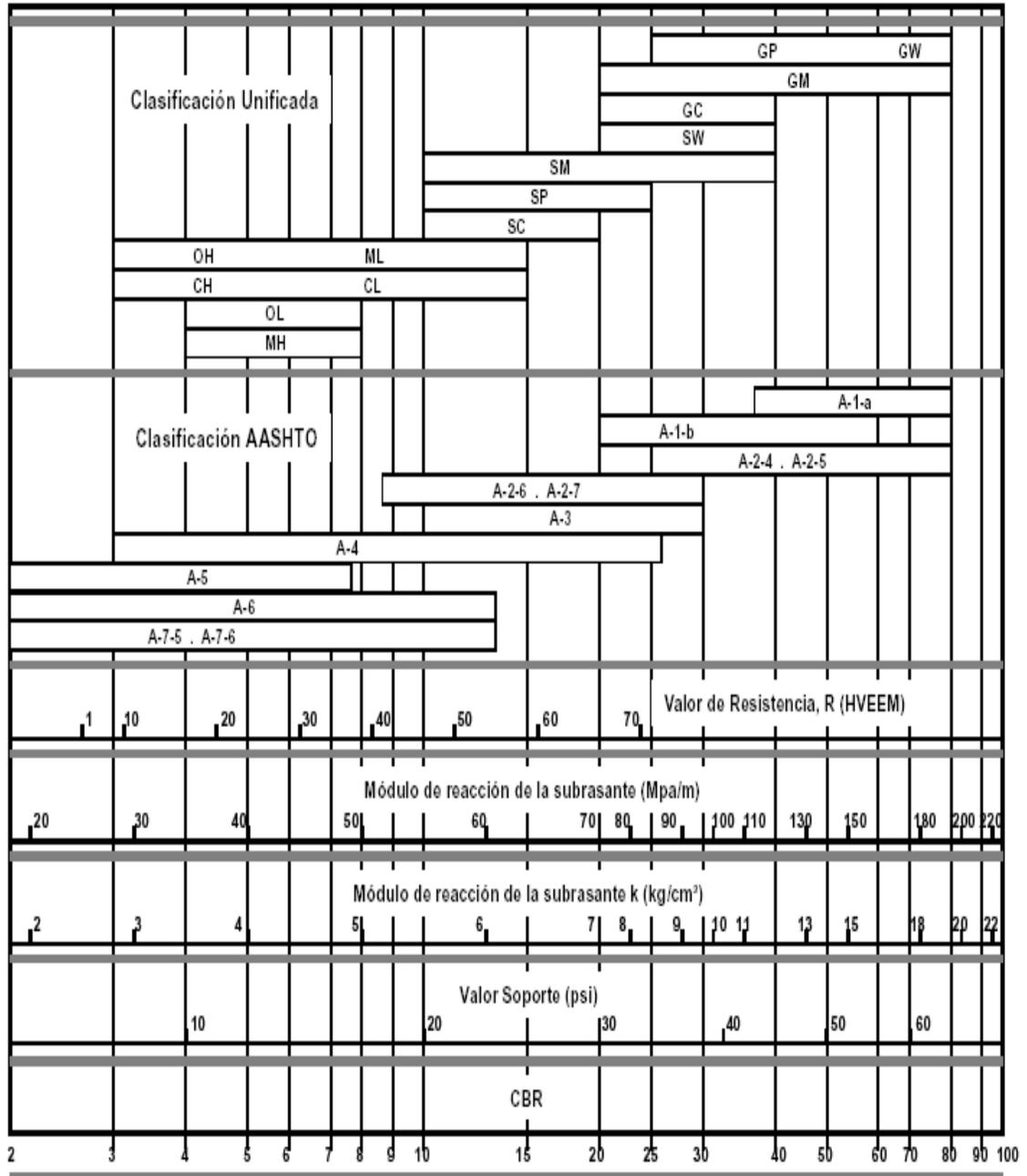
B. Determinación del módulo de reacción k de sub rasante y espesor de base

El módulo de reacción de sub rasante k es la relación entre el esfuerzo aplicado a una placa de suelo y la deformación que dicha placa sufra por efecto del esfuerzo.

Este módulo puede ser determinado por un ensayo en sitio, pero dadas las condiciones se logró determinar este módulo de reacción por medio de la figura 12 que está en función del C.B.R.

La forma de utilizar el siguiente nomograma es situarse en la parte inferior en la zona de C.B.R. y ubicarse en el punto que corresponda al C.B.R. del suelo de la subrasante, el suelo de la subrasante tiene un C.B.R. de 12% según los resultados del laboratorio, una vez ubicado el valor del C.B.R. en el nomograma se procede a ir hacia arriba en la zona del módulo de reacción de la subrasante k , para determinarlo se situó en el valor de 12% en la zona de C.B.R. y se pudo observar en la figura que el módulo de reacción de la sub-rasante es de 5,6 kilogramos por centímetro cúbico aproximadamente.

Figura 4. Correlación aproximada entre la clasificación de los suelos



Fuente: LONDOÑO, Cipriano, Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto. p. 13.

Una vez conocido el módulo de reacción k se procedió a encontrar la condición de apoyo de la sub rasante con la ayuda de la siguiente tabla.

Tabla III. Tipos de suelo de apoyo y sus módulos de reacción aproximados

Tipo de suelo	Condición de apoyo	Rango en los módulos de reacción kg/cm^3
Limos y arcillas plásticas	Bajo	2.0 - 3.35
Arenas y mezclas de arena y gravas con cantidades moderadas de limo y arcilla	Medio	3.6 - 4.7
Arenas y mezclas de arena y gravas prácticamente libre de finos	Alto	5.0 - 6.0
Sub-bases estabilizadas con cemento	Muy alto	6.9 - 11.0

Fuente: SALAZAR RODRÍGUEZ, Aurelio. Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos. p. 149.

Dado que el módulo de reacción aproximado es de 5,6 kilogramos sobre centímetro cúbico, la condición de apoyo de la sub rasante según la tabla III es alto, debido a que la condición de apoyo de la sub rasante es alto y que la finalidad principal de la sub base es evitar el efecto del bombeo de finos, no es necesario ni tampoco económico utilizar sub bases gruesas. Los espesores de sub base de 10 a 15 centímetros se especifican generalmente en proyectos

comunes de construcción, como una manera práctica de garantizar el espesor mínimo de 5 a 7,5 centímetros, necesario para evitar el bombeo.

Para este proyecto se utilizará una subbase de 10 centímetros a modo constructivo, la cual aumentará aún más la condición de apoyo para el pavimento.

C. Determinación del espesor de la losa de concreto

Dado que el tramo carretero corresponde a la categoría de carga por eje No. 1 la tabla que le corresponde para determinar el espesor de la losa de concreto según el método de la PCA simplificado es la tabla IV, esta tabla presenta los valores de TPPD permisibles para esta categoría de vía.

Para determinar el espesor de la losa se estimó la utilización de bordillo para darle un mejor confinamiento al pavimento, por lo que se utilizaron los datos del lado derecho de la tabla IV.

Si se utilizan agregados, cemento y agua de buena calidad para el concreto se estima que el módulo de ruptura se encuentre en el rango de 42 - 46 kilogramos sobre centímetro cuadrado, así que para este proyecto se estimará un módulo de ruptura del concreto de 42 kilogramos sobre centímetro cuadrado.

Debido a que la condición de apoyo del terreno es medio, según la tabla IV se procedió a ubicarse en la columna que corresponde a la condición de apoyo del terreno alto ubicada del lado derecho de la tabla IV, luego se procedió a ubicarse en la parte que corresponde a un $M_r = 42$ kilogramos sobre centímetro cuadrado, el cual fue el módulo de ruptura asumido para el concreto de este

pavimento, observando así que el espesor de losa que resistirá el TPPD de 24 estimado para este proyecto corresponde a 12,5 centímetros, el cual tiene un TPPD permisible de 75 según la tabla IV, pero por fines constructivos se dejará un espesor de losa de 15 centímetros.

Tabla IV. TPPD permisible, categoría de carga por eje No. 1, pavimento con junta de trabazón de agregado (no se necesitan pasajuntas)

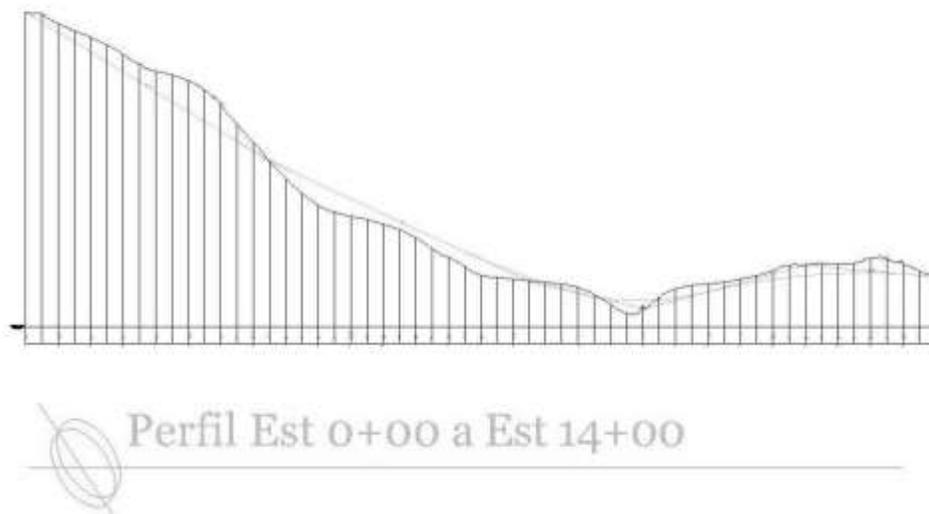
Sin acotamiento ni guarnición					Acotamiento o guarnición			
Espesor de losa (cm)	Apoyo del terreno natural o de sub-base			Espesor de losa (cm)	Apoyo del terreno natural o de sub-base			
	Bajo	Medio	Alto		Bajo	Medio	Alto	
Mr = 46 Kg/cm ²				10.0		0.2	0.9	
	11.5		0.1	11.5	2	8	25	
	12.5	0.1	0.8	12.5	30	130	330	
	14.0	3	15	14.5	320			
	15.0	40	160	430				
	16.5	330						
Mr = 42 Kg/cm ²	12.5		0.1	0.4	10.0		0.1	
	14.0	0.5	3	9	11.5	0.2	1	5
	15.0	8	36	98	12.5	6	27	75
	16.5	76	300	760	14.5	73	290	730
	17.8	520			15.0	610		
Mr = 39 Kg/cm ²	14.0	0.1	0.3	1	11.5		0.2	0.6
	15.0	1	6	18	12.5	0.8	4	13
	16.5	13	60	160	14.0	13	57	150
	17.8	110	400		15.0	130	480	
	19.0	620						

Fuente: SALAZAR RODRÍGUEZ, Aurelio. Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos. p. 149.

2.1.10. Diseño del drenaje transversal

El método utilizado, para encontrar los caudales de lluvia, es el método racional, éste se utilizó para determinar el caudal de lluvia destinado a drenar para el tramo carretero de este proyecto, se tomó como tramo desde la estación 0+000 (punto más alto) a la estación 0+930 (punto más bajo).

Figura 5. Perfil completo del tramo carretero



Fuente: elaboración propia.

Datos:

- Área a drenar: 6 Ha
- Longitud de cauce: 0,930 km
- Pendiente: 9% (promedio)
- Coeficiente de escorrentía: 0,85
- Elevación entre cauce: 91 m

- Factor de rugosidad: 0,013

Los datos físicos como longitud de cauce, elevación y área a drenar fueron medidos con el perfil obtenido por el levantamiento topográfico de altimetría así como con el plano del estudio de planimetría. El valor del coeficiente de escorrentía se tomó de la tabla de valores de escorrentía más utilizados en Guatemala, dado que el tramo carretero será pavimentado con concreto el coeficiente de escorrentía es de 0,85 según la siguiente tabla.

Tabla V. **Valores de coeficiente de escorrentía**

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

Fuente: GIL LAROJ, Joram Matías, Evaluación de Tragante Pluviales para la Ciudad de Guatemala. 1984.

Primero se procedió a encontrar el tiempo de concentración de la cuenca, el mismo se encuentra por medio de la siguiente fórmula:

$$t = \{(0,886 \cdot L^3)/H\}^{0,385} \rightarrow t = \{(0,886 \cdot 0,93^3)/91\}^{0,385} \rightarrow t = 9,27 \text{ min}$$

Luego se procedió a encontrar la intensidad de lluvia, para el área de San Juan Amatitlán se utilizó la siguiente ecuación de intensidad de lluvia, dicha ecuación es cercana al área de San Juan Amatitlán según el INSIVUMEH.

$$I = 6\,889/(t+40) \rightarrow I = 6\,889/(9,27+40) \rightarrow I = 139,81 \text{ mm/h}$$

Luego de encontrada la intensidad de lluvia se procedió a encontrar el caudal a drenar, dicho caudal es encontrado con la fórmula del método racional.

$$Q = CIA/360 \rightarrow Q = (0,85*139,81*6)/360 \rightarrow Q = 1,98 \text{ m}^3/\text{s}$$

Luego se encontró el diámetro hidráulico con el caudal anteriormente encontrado, la fórmula para el diámetro hidráulico es la siguiente:

$$D = \frac{(Q*n*4^{5/3})^{3/8}}{(\sqrt{S}) * \pi)^{3/8}} \downarrow$$

$$D = \frac{(1,98*0,013*4^{5/3})^{3/8}}{(\sqrt{9}) * \pi)^{3/8}} \rightarrow D = 0,26 \text{ m}$$

Posteriormente se encontró el área hidráulica que corresponde al diámetro hidráulico y caudal anteriormente encontrado

$$A = (\pi * D^2)/4 \rightarrow A = (\pi * 0,26^2)/4 \rightarrow A = 0,05 \text{ m}^2$$

Para poder cubrir esa área hidráulica de 0,05 metros cuadrados se requiere un tubo de 30 pulgadas de diámetro debido a que el área de sección de un tubo de 30 pulgadas es 0,46 metros cuadrados siendo mayor que el área necesaria a cubrir de 0,05 metros cuadrados.

Para este proyecto se construirán dos drenajes transversales con tubería de 30 pulgadas de diámetro, uno en la estación 0+460 y uno en la estación 0+930 siendo éste el punto más bajo, utilizando como mínimo estos dos drenajes se logrará drenar el agua de la estación 0+000 a la estación 0+930, además del agua proveniente de la estación 1+397,851 a la estación 0+930.

El esquema de ubicación de los drenajes se encuentra descrito en los planos de este proyecto, los cuales se encuentran en el apéndice.

2.1.11. Especificaciones técnicas del proyecto

A fin de poder lograr los objetivos de diseño y tener el pavimento necesario para soportar las cargas de tránsito del tramo carretero, es importante mencionar especificaciones técnicas a seguir a la hora de construir.

2.1.11.1. Subrasante

- El terreno deberá limpiarse, quitar la vegetación pequeña existente en toda la superficie de la sub-rasante a reacondicionar, según el libro Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos de la República de Guatemala.

- El suelo en toda el área a reacondicionarse debe humedecerse adecuadamente, antes de la compactación. El control de humedad puede efectuarse secando el material según AASHTO T 217.
- El terreno deberá ser compactado hasta alcanzar un 95% de compactación según la AASHTO T-180 (AASHTO Modificado).

2.1.11.2. Subbase

- El material utilizado para la sub base debe ser un suelo de preferencia granular con menos de 3% de hinchamiento de acuerdo con el ensayo AASHTO T 193 (CBR).

2.1.11.3. Concreto para losas

Los siguientes requisitos son tomados como referencia según el libro Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de caminos de la República de Guatemala.

- El concreto utilizado deberá tener como mínimo una resistencia a la compresión de 281 kilogramos sobre centímetro cuadrado a los 28 días, también deberá tener un módulo de ruptura de 42 kilogramos sobre centímetro cuadrado según el diseño descrito, la proporción del concreto para cumplir con estos parámetros será de 1:1.5:2.
- El cemento Pórtland utilizado para el concreto deberá tener una resistencia de 28 Mega Pascales (4 000 libra sobre pulgada cuadrada) o mayor, también deberá ser como mínimo clase 24,5 Mega Pascales (3 500 libra sobre pulgada cuadrada) con una resistencia a compresión AASHTO

T 22 (ASTM C 39) promedio mínima de 24,5 Mega Pascales (3 500 libra sobre pulgada cuadrada) y una resistencia a la flexión AASHTO T 97 (ASTM C 78), promedio mínima de 3,8 Mega Pascales (550 libra sobre pulgada cuadrada), determinadas sobre especímenes preparados según AASHTO T 126 (ASTM C 192) y T 23 (ASTM C 31), ensayados a los 28 días.

- El agregado fino debe consistir en arena natural o manufacturada, compuesta de partículas duras y durables, debe ser almacenado separadamente del agregado grueso, en pilas independientes para las diversas procedencias, debiéndose controlar sus características y condiciones por medio de ensayos de laboratorio, para hacer los ajustes en la dosificación, en el momento de la elaboración del concreto. El módulo de finura no debe ser menor de 2,3 ni mayor de 3,1, ni variar en más de 0,20 del valor asumido al seleccionar las proporciones del concreto.
- El agregado grueso debe consistir en grava o piedra triturada, trituradas parcialmente o sin triturar, procesadas adecuadamente para formar un agregado clasificado, incluyendo los requisitos de desgaste o abrasión y la limitación de partículas planas y alargadas. El porcentaje de desgaste no debe ser mayor de 40% en masa después de 500 revoluciones en el ensayo de abrasión, AASHTO T 96 ó ASTM C 131 y ASTM C 535.
- El agua para mezclado y curado del concreto o lavado de agregados debe ser preferentemente potable, limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, álcalis, azúcar, sales como cloruros o sulfatos, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto o al acero. El agua proveniente de abastecimientos o sistemas de distribución de

agua potable, puede usarse sin ensayos previos. Donde el lugar de abastecimiento sea poco profundo, la toma debe hacerse en forma que excluya sedimentos, toda hierba y otras materias perjudiciales.

- Después de la fundición de las losas de concreto, las mismas deberán ser curadas con agua o antisol por lo menos durante los siguientes 7 días después de la fundición.

2.1.11.4. Juntas

- Todas las juntas deben construirse con las caras perpendiculares a la superficie del pavimento y deben protegerse contra la penetración, de materiales extraños perjudiciales, hasta el momento en que sean selladas.
- Las juntas deben ser rellenas con material de los Tipos I (caucho esponjoso), II (corcho) o III (corcho autoexpansivo) de AASHTO M 153 (ASTM C 1752).
- Las juntas transversales serán colocadas a cada 3 metros, las juntas longitudinales serán colocadas a la mitad del ancho de la carretera.

2.1.12. Estudio de impacto ambiental

La importancia que tiene la realización de un estudio de impacto ambiental es que con éste se puede determinar si el proyecto presentará daños al medio ambiente y determinar si el proyecto es factible.

2.1.12.1. Matriz de Leopold

Para este proyecto se realizó un estudio de impacto ambiental por medio de matrices causa-efecto del método de Leopold, el cual es el más conocido, el método consiste en un cuadro de doble entrada que presenta como son afectados los factores ambientales por las acciones resultantes del proyecto así como el impacto que estas acciones presentan, los factores ambientales presentados son:

- Físico-químicos
- Condiciones biológicas
- Factores culturales
- Relaciones ecológicas

La siguiente tabla muestra los resultados de la matriz del estudio de impacto ambiental realizado para este proyecto de pavimentación.

Tabla VI. Matriz de Leopold, estudio de impacto ambiental

				ACCIONES CON POSIBLES EFECTOS							Impacto en ambiente	Importancia de impacto		
				Modificación del régimen			Transformación del territorio y construcción		Extracción de recursos					
				Alteración cubierta terrestre	Ruido y vibraciones	Contaminación de hum.	Superficie o pavimento	Drenaje pluvial	Desmontes y rellenos	Arbustos y plantas				
FACTORES AMBIENTALES	Fisico-químicas	Tierra	Suelos	-1	-2	-2	-2	3	-1	-1	5	180		
				5	3	3	8	6	7	3				
		Agua	Calidad	-1	-1	-2	-2	-1	-1	-1				
				5	1	3	8	5	2	2				
			Temperatura	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1				
				2	1	2	5	3	2	2				
		Atmósfera	Calidad	1	-8	-9	8	1	1	-2				
				9	3	2	9	3	2	4				
			Inundaciones	-1	-1	-1	8	8	2	1				
	8			1	2	9	10	4	2					
	Procesos	Compactación	2	-1	-1	9	2	5	1					
			8	3	2	8	3	8	2					
	Condiciones biológicas	Flora	Arboles	-1	-2	-5	-2	1	1	-2				
				6	3	2	9	3	3	2				
			Cosechas	-1	-1	-3	2	3	2	1				
				6	2	2	9	7	3	3				
		Fauna	Macro fauna	-1	-8	-6	-2	1	-1	-1				
				2	5	5	5	4	1	2				
	Factores culturales	Usos del territorio	Agricultura	2	-1	-7	9	4	2	3				
				6	2	4	10	5	3	2				
				3	-6	-8	9	8	5	2				
			Zona residencial	8	4	3	10	9	7	3				
				6	-5	-6	9	6	4	4				
		Nivel cultural	Culturas o formas de vida	7	6	2	10	7	3	6				
				4	-8	-10	9	6	7	3				
				10	4	2	10	7	9	4				
				3	-1	-1	8	1	3	1				
				8	2	2	9	3	4	2				
Servicio e infraestru.		Red de transporte	6	-4	-1	9	7	4	1					
			6	3	2	7	8	3	2					
			3	-5	-1	6	7	3	3					
			5	3	2	7	7	2	3					
								106	253					
								25	-55	-64	77	56	35	12
								101	46	40	133	90	63	44

Fuente: elaboración propia.

La tabla VI muestra el resultado del estudio de impacto ambiental para este proyecto, se procedió a dar valores en el rango de -10 a $+10$ al resultado de cada acción sobre cada factor ambiental, los valores muestran si el impacto fue positivo o negativo, luego a cada factor ambiental se le asignó un valor de importancia de 1 a 10, posteriormente se procedió a sumar los números asignados, las sumatorias de los valores de las filas muestran el impacto e importancia sobre los factores ambientales y las sumatorias de los valores de las columnas indican el impacto e importancia que da como resultado de las acciones producidas por el proyecto.

Cabe mencionar que para este método la asignación de valores es subjetiva y no existe una fórmula o método que indique los valores a asignarse.

Como puede observarse en la tabla VI, el impacto ambiental será positivo a la población y ambiente de la aldea Loma Larga y aldea Laguna Seca, salvo en el factor de flora y fauna los cuales presentan valores negativos como resultado de las acciones de ruido y vibraciones, causados por los trabajos de construcción, tránsito vehicular y contaminación de humo causados por los vehículos que lleguen a transitar por el tramo, siendo estos problemas mínimos comparados con los demás beneficios que se reflejan en la tabla VI.

Debido a que las acciones muestran un impacto positivo y de una magnitud de importancia grande, beneficiando a los pobladores en los aspectos de mayor seguridad y comodidad de transporte, mejor salud por la eliminación de polvo, aumento de las actividades económicas y agrícolas de la zona entre otras, mejor control sobre las aguas pluviales entre otras más.

2.1.13. Presupuesto del proyecto

En la integración del presupuesto para este proyecto se consideraron los siguientes aspectos:

- Precios de materiales manejados en la región de San Juan Amatitlán y los precios de mano de obra de la Cámara Guatemalteca de la Construcción.
- En el renglón de mano de obra se tomaron en cuenta salarios promedio utilizados en la actualidad.
- El costo indirecto, el cual es la suma de los gastos técnico-administrativos, fue calculado en un 37%.
- En el renglón de imprevistos fueron considerados variaciones de precios de materiales, salarios, así como gastos necesarios debido a emergencias o cambios constructivos.

Tabla VII. Presupuesto del pavimento rígido para la aldea Loma Larga y aldea Laguna Seca

PRESUPUESTO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

EPS INGENIERÍA CIVIL

EPELISTA: MAURICIO ESTUARDO MONROY ORANTES

MUNICIPALIDAD DE SAN JUAN AMATITLÁN, GUATEMALA

PROYECTO: PAVIMENTO RÍGIDO, PARA LA ALDEA LOMA LARGA Y ALDEA LAGUNA SECA

FECHA: JULIO 2010



No.	REGLÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL (Q.)	TOTAL (US\$)
1	Preliminares	ml	1,398.00	Q 184.66	Q 258,148.95	US\$ 32,390.08
2	Excavación y corte	m³	962.63	Q 210.63	Q 202,760.71	US\$ 25,440.49
3	Relleno	m³	197.68	Q 90.33	Q 17,856.37	US\$ 2,240.45
4	Retiro de material sobrante	m³	764.96	Q 22.48	Q 17,196.33	US\$ 2,157.63
5	Sub rasante	Global	1.00	Q 62,258.68	Q 62,258.68	US\$ 7,811.63
6	Base de 0.1 m de espesor	m³	726.96	Q 41.18	Q 29,936.16	US\$ 3,756.11
7	Bordillo	ml	2,796.00	Q 128.84	Q 360,232.45	US\$ 45,198.55
8	Losa de concreto de 0.15 m	m²	7,269.60	Q 271.05	Q 1,970,442.00	US\$ 247,232.37
9	Drenaje Transversal	Unidad	2.00	Q 486.98	Q 973.96	US\$ 122.20
10	Cuneta	ml	2,796.00	Q 46.86	Q 131,020.56	US\$ 16,439.22
TOTAL					Q 3,050,826.17	US\$ 382,788.73

Notas:

- 1. Costo del metro cuadrado de pavimento Q. 419.67
- 2. Cambio al 19-7-2010, 1 US\$= Q. 7.97
- 3. Costo indirecto 37.0%

Fuente: elaboración propia.

En letras: tres millones cincuenta mil ochocientos veintiseis quetzales y 17 centavos.

Equivalentes a: trescientos ochenta y dos mil setecientos ochenta y ocho dólares estadounidenses y setenta y tres centavos.

Tabla VIII. Cronograma de ejecución físico y financiero

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN FÍSICO Y FINANCIERO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

EPS INGENIERÍA CIVIL

EPESISTA: MAURICIO ESTUARDO MONROY ORANTES

MUNICIPALIDAD DE SAN JUAN AMATITLÁN, GUATEMALA

PROYECTO: PAVIMENTO RÍGIDO, PARA LAS ALDEAS LOMA LARGA Y LAGUNA SECA

FECHA: JULIO 2010



No.	RENGLÓN	MESES					%	COSTO (Q.)
		1	2	3	4	5		
1	Preliminares	■					8.46%	Q 258,148.95
2	Excavación y corte		■				6.65%	Q 202,760.71
3	Relleno			■			0.59%	Q 17,856.37
4	Retiro de material sobrante			■			0.56%	Q 17,196.33
5	Sub rasante			■			2.04%	Q 62,258.68
6	Drenaje transversal			■			0.03%	Q 973.96
7	Base de 0.1 m de espesor			■			0.98%	Q 29,936.16
8	Losa de concreto de 0.15 m			■	■		64.59%	Q 1,970,442.00
9	Bordillo				■	■	11.81%	Q 360,232.45
10	Cuneta					■	4.29%	Q 131,020.56
							100.00%	Q 3,050,826.17

COSTO DEL PROYECTO: Q 3,050,826.17

TIEMPO ESTIMADO DEL PROYECTO 5 MESES

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. San Juan Amatitlán es un municipio que a pesar de presentar un desarrollo constante, presenta muchas necesidades, falta de servicios básicos y problemas de infraestructura, siendo más en el área rural.
2. Los estudios de suelos realizados fueron: Granulometría, Límites de Atterberg, CBR y Proctor modificado, los resultados de dichos estudios mostraron que el suelo es apto y favorable para la construcción del pavimento rígido.
3. El método simplificado de la PCA (Portland Cement Association), es adecuado para el diseño de pavimentos rígidos, el mismo es confiable y a la vez simple para el diseño de pavimentos rígidos ya que consiste en tablas de diseño.
4. El diseño de un pavimento debe ser basado acorde a las Normas de la AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportación) y a las Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes, de la Dirección General de caminos de la República de Guatemala.

5. El costo total del proyecto asciende a tres millones seiscientos setenta y dos mil cuatrocientos cuarenta y dos quetzales con cero centavos (Q. 3 672 442,00). Para un costo del metro cuadrado de pavimento de seiscientos treinta y siete quetzales con sesenta centavos (Q. 637,60).
6. Los beneficiarios directos con la construcción del pavimento rígido serán todos los habitantes de la aldea Loma Larga y la aldea Laguna Seca, debido a que tendrán una mejor comunicación, un tránsito más seguro y cómodo a la hora de moverse entre ambas aldeas así como un mejor y cómodo acceso a las áreas de cultivo aledañas al tramo pavimentado.
7. El impacto ambiental negativo será durante los días de construcción del pavimento debido a las molestias que la construcción pueda generar siendo así el impacto ambiental positivo mayor, debido a las comodidades y seguridades que obtendrían los habitantes de la aldea Loma Larga y la aldea Laguna Seca tras la construcción del pavimento rígido en el tramo carretero que une dichas aldeas.

RECOMENDACIONES

1. Para poder reducir los costos y economizar los recursos es recomendable comprar materiales de construcción en la región de San Juan Amatitlán o bien en alguna región lo más cercana.
2. Es recomendable utilizar mano de obra local para la ejecución de este proyecto, ayudando así a la población de San Juan Amatitlán ya que esto sería una fuente de empleo para la región.
3. Compactar el terreno del tramo carretero al 95%, esto se puede lograr utilizando la cantidad de agua necesaria para obtener la densidad máxima del suelo descrita, dicha densidad será alcanzada al tener una humedad óptima de 23,2%, de esta manera se evitarán los hundimientos de las losas de concreto que posteriormente presentan fracturas en las losas.
4. Seguir las especificaciones técnicas del proyecto listadas en la sección 2.1.11. de este informe, ya que la resistencia del suelo, la duración y la resistencia del mismo pavimento dependen en gran medida de seguir los lineamientos descritos en las especificaciones técnicas.
5. Es de suma importancia garantizar una supervisión técnica-profesional al construir el pavimento, respetando las dimensiones y especificaciones técnicas descritas en este informe así como las descritas en los planos del proyecto.

6. Dar un curado con agua limpia a las losas de concreto luego de haber sido fundidas, dicho curado debe hacerse durante los siguientes 7 días después de la función, esto ayudará a que el concreto de las losas alcance la resistencia necesaria para resistir los esfuerzos a los cuales serán sometidas.

7. Tomar en cuenta que el presupuesto presentado en este informe puede variar debido a la fluctuación de precios en el mercado respecto del tiempo en el cual se lleve a cabo la construcción del pavimento.

BIBLIOGRAFÍA

1. CORONADO, Jorge. *Manual centroamericano para diseño de pavimentos. Centroamérica*. Guatemala: Secretaría de Integración Económica Centroamericana, 2002. 288 p.
2. CRESPO VILLALAZ, Carlos. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. 4a ed. México: Limusa, 1999. 650 p.
3. Dirección General de Caminos (Guatemala). *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: DGC, 2001. p. 301, 501- 551
4. HUN, Ligia. *Diseño del pavimento rígido y drenaje pluvial para un sector de la aldea Santa María Cauque, del municipio de Santiago Sacatepéquez, Sacatepéquez*. Trabajo de graduación Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2003. 96 p.
5. LONDOÑO, Cipriano A. *Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto*. Colombia: Piloto, 2004. 184 p.
6. Ministerio de Transportes y Comunicaciones [en línea]. Perú: Ministerio de transportes y comunicaciones del Perú, <http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manual/DG-2001/css/home.htm>, [Consulta: 25 de enero de 2010].

7. PALACIOS, Arlen del Socorro. *Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable para la aldea el Capulín, y, diseño de pavimento rígido para el primer sector de la colonia tierra verde, municipio de Siquinalá, departamento de Escuintla*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007. 139 p.
8. PAZ, Jorge. *Diseño de pavimento rígido para la aldea El Rosario y drenaje sanitario para el micro parcelamiento el naranjo, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007. 130 p.
9. SALAZAR, Aurelio. *Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos*. México: Instituto Mexicano del Cemento y Concreto, 1997. 210 p.
10. VEN, Te Chow; MAIDMENT, David. *Hidrología aplicada*. Colombia: McGraw-Hill, 1994. 584 p.

APÉNDICE

Apéndice 1: Resultado del ensayo: Análisis granulométrico



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



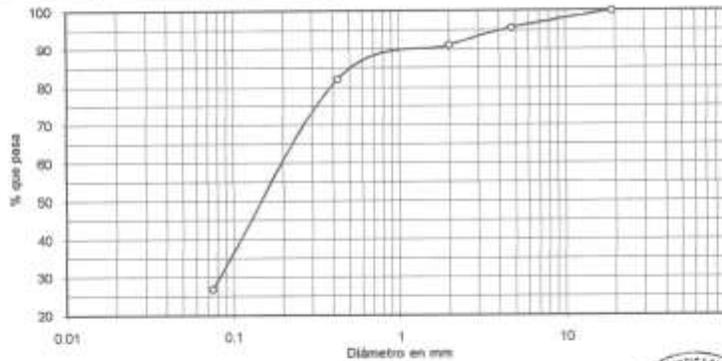
Nº 15010

INFORME No. 154 S.S. O.T. No. 26,891

Interesado: Mauricio Estuardo Morroy Orantes
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y con lavado previo.
 Normas: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11
 Proyecto: EPS-Diseño del pavimento rígido para el tramo carretero de la aldea Loma Larga a La Aldea Laguna Seca.
 Ubicación: Municipio de Amatlán, Departamento de Guatemala
 Fecha: 19 de abril de 2010

Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
1 1/2"	38.10	100.00
3/4"	19	100.00
4	4.75	95.52
10	2	91.04
40	0.425	62.09
200	0.075	26.87

% de Grava: 4.48
 % de Arena: 68.65
 % de finos: 26.87



Descripción del suelo: Arena limosa color café
 Clasificación: S.C.U.: SM P.R.A.: A-2-4
 Observaciones: Muestra tomada por el interesado.



Yo, Bo. 
 Inga. Telma Maricela Cano Morales
 DIRECTORA CII/USAC




 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos

Apéndice 2: Resultado del ensayo: Límites de Atterberg



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



Nº 15011

INFORME No. 155 S. S. O.T.: 26,891

Interesado: Mauricio Estuardo Monroy Orantes
Proyecto: EPS-Diseño del pavimento rígido para el tramo carretero de la aída Loma
Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG
Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: Municipio de Amatitlán, Departamento de Guatemala
FECHA: 19 de abril de 2010

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	CLASIFICACION *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	33.4	6.2	ML	Arena limosa color café

(*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,



Vo. Bo.

Inga. Telma Maribela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Apéndice 3: Resultado del ensayo: De compactación Proctor modificado



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



Nº 12828

INFORME No. 152 S.S.

O.T. No.: 26,891

Interesado: Mauricio Estuardo Monroy Orantes

Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN.

Proctor Estándar: () Norma:

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

Proyecto: EPS-Diseño del pavimento rígido para el tramo carretero de la aldea Loma Larga a La Aldea Laguna Seca.

Ubicación: Municipio de Amatitlán, Departamento de Guatemala.

Fecha: 19 de abril de 2010



Muestra No.: 1

Descripción del suelo: Arena limosa color café

Densidad seca máxima γ_d : 1,576 Kg/m³

98.4 lb/ft³

Humedad óptima Hop.: 23.2 %

Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,



Vo. Bo.:

Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CIUSAC



Omar Enrique Médrano Méndez
Ing. Omar Enrique Médrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Apéndice 5: Planos constructivos de

DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO PARA EL TRAMO CARRETERO DE LA ALDEA LOMA LARGA A LA ALDEA LAGUNA SECA, MUNICIPIO DE AMATITLÁN, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA

Nota: las escalas indicadas en cada plano son aplicadas para un formato A-1, por lo que las escalas indicadas no corresponde con los dibujos presentados en los planos presentes en este informe, los planos originales fueron reducidos para poder ser incorporados en el presente trabajo de graduación.