



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

**METODOLOGÍA PARA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS, EN TRAMOS CARRETEROS, A
TRAVÉS DE LA COMPOSICIÓN DE DISTINTOS TIPOS DE SUELOS, CUMPLIENDO CON
LAS ESPECIFICACIONES GENERALES DE CARRETERAS Y PUENTES, EDICIÓN 2001**

Rony Chojolán Duarte

Asesorado por el MSc. Ing. Marco Vinicio Romero Chojolán

Guatemala, noviembre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

METODOLOGÍA PARA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS, EN TRAMOS CARRETEROS, A TRAVÉS DE LA COMPOSICIÓN DE DISTINTOS TIPOS DE SUELOS, CUMPLIENDO CON LAS ESPECIFICACIONES GENERALES DE CARRETERAS Y PUENTES, EDICIÓN 2001

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

RONY CHOJOLÁN DUARTE
ASESORADO POR EL MSC. ING. MARCO VINICIO ROMERO CHOJOLÁN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2013

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	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel López Juárez
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:

METODOLOGÍA PARA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS, EN TRAMOS CARRETEROS, A TRAVÉS DE LA COMPOSICIÓN DE DISTINTOS TIPOS DE SUELOS, CUMPLIENDO CON LAS ESPECIFICACIONES GENERALES DE CARRETERAS Y PUENTES, EDICIÓN 2001

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha agosto de 2012.



Rony Chojolán Duarte

Guatemala, 13 de Septiembre de 2013.

Ingeniero
Guillermo Francisco Melini Salguero
Jefe del Departamento de Materiales de Construcción
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero:

Tengo el gusto de informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado:
"METODOLOGÍA PARA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS, EN TRAMOS CARRETEROS, A TRAVÉS DE LA COMPOSICIÓN DE DISTINTOS TIPOS DE SUELOS, CUMPLIENDO CON LAS ESPECIFICACIONES GENERALES DE CARRETERAS Y PUENTES, EDICION 2001. Desarrollado por el estudiante Rony Chojolán Duarte.

Considerando que su contenido llena los requisitos establecidos al tema, razón por la cual apruebo el trabajo realizado.

Sin otro particular, atentamente:



Marco Vinicio Romero Chojolan
M. Sc. Ingeniería Vial
Ingeniero Civil col. 6218

Ing. Marco Vinicio Romero Ch.
Msc. Ingeniería Vial
Asesor de Trabajo de Graduación
Colegiado No. 6218



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>



Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

Guatemala,
18 de octubre de 2013

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 METODOLOGÍA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS, EN TRAMOS CARRETEROS, A TRAVES DE LA COMPOSICIÓN DE DISTINTOS TIPOS DE SUELOS, CUMPLIENDO CON LAS ESPECIFICACIONES GENERALES DE CARRETERAS Y PUENTES EDICIÓN 2001, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Rony Chojolán Duarte, quien contó con la asesoría del Ing. Marco Vinicio Romero Chojolán.

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

Guillermo Melini Salazar
Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salazar
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERÍA
ÁREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

Más de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Marco Vinicio Romero Chojolán y del Coordinador del Área de Materiales, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Rony Chojolán Duarte, titulado **METODOLOGÍA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS, EN TRAMOS CARRETEROS, A TRAVES DE LA COMPOSICIÓN DE DISTINTOS TIPOS DE SUELOS, CUMPLIENDO CON LAS ESPECIFICACIONES GENERALES DE CARRETERAS Y PUENTES EDICIÓN 2001**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


 Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, noviembre de 2013.

134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 809.2013

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: **METODOLOGÍA PARA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS, EN TRAMOS CARRETEROS, A TRAVÉS DE LA COMPOSICIÓN DE DISTINTOS TIPOS DE SUELOS, CUMPLIENDO CON LAS ESPECIFICACIONES GENERALES DE CARRETERAS Y PUENTES, EDICIÓN 2001,** presentado por el estudiante universitario **Rony Chojolán Duarte,** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 12 de noviembre de 2013

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por su ayuda durante estos años de mi vida, el esfuerzo fue grande, pero tú siempre me diste las herramientas necesarias para continuar y lograr este objetivo en mi vida.
- Mis padres** Margarita del Carmen Duarte Martínez (q.e.p.d.), porque siempre confiaste y me apoyaste, te amo con todo mi corazón; este triunfo es para ti. Oscar Domingo Chojolán Recancoj, por tus consejos y confianza, gracias por brindarme todo tu apoyo.
- Mis hermanos** Sandra, Norma, Fredy, Brenda, Edwin, Arnoldo, David Chojolán Duarte, por el total apoyo durante todo este tiempo, gracias infinitas por sus consejos y ayuda en el trayecto de la carrera. Gracias especiales.
- Sobrinos** Porque son los grandes genios de la vida y me enseñan muchas cosas: su curiosidad, su sentido del humor y de la vida.
- Abuelos** Con gran cariño a mi abuela Natalia Martínez. Gracias por su confianza y sus oraciones.

Cuñados

Por el apoyo y consejos, son parte importante de mi familia.

Primos

por sus consejos y apoyo, son claro ejemplo de esfuerzo y perseverancia.

Amigos

De la Facultad de Ingeniería, que me acompañaron en el trayecto tan importante de mi vida, ayuda y apoyo mostrado y por todos esos buenos momentos pasados.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la vida y las herramientas necesarias para enfrentar la vida
Mis padres	Margarita del Carmen Duarte Martínez (q.e.p.d.), Oscar Domingo Chojolán Recancoj.
Mis hermanos	Sandra, Norma, Fredy, Brenda, Edwin, Arnoldo, David Chojolán Duarte.
Ing. Marco Romero	Por su paciencia y total apoyo en la realización de este trabajo.
Sección de Suelos de la Facultad de Ingeniería, USAC	Apoyo en el presente trabajo.
La Facultad de Ingeniería	Por ser la fuente enriquecedora de conocimientos.
Pueblo de Guatemala	Espero poder retribuir con trabajo y esfuerzo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. CONCEPTOS GENERALES SOBRE LOS SUELOS	1
1.1. Formación de los suelos.....	1
1.2. Factores que influyen en la formación de los suelos	2
1.2.1. Factores litológicos	2
1.2.2. Factores biológicos.....	2
1.2.3. Factores topográficos	3
1.2.4. Factores climáticos	3
1.3. Tipos de suelos	3
1.3.1. Suelos granulares.....	5
1.3.2. Gravas	6
1.3.3. Rocas	7
1.3.3.1. Rocas ígneas	7
1.3.3.2. Rocas sedimentarias	8
1.3.3.3. Rocas metamórficas	8
1.3.4. Arenas	9
1.3.5. Suelos cohesivos	10
1.3.6. Limos	11
1.3.6.1. Limo inorgánico	12

	1.3.6.2.	Limo orgánico	12
	1.3.6.3.	Tierra endurecida o tepetate	12
	1.3.7.	Arcilla	13
1.4.		Resistencia de los suelos mediante estabilizadores	14
	1.4.1.	Compactación	14
	1.4.2.	Precargas	15
	1.4.3.	Drenajes	15
	1.4.4.	Estabilización química con cal o cemento	17
	1.4.4.1.	Suelos estabilizados con cal	17
	1.4.4.2.	Suelos estabilizados con cemento	18
1.5.		Cargas eléctricas en los suelos	20
1.6.		Fases de los suelos	20
	1.6.1.	Fase sólida	20
	1.6.2.	Fase líquida	21
	1.6.3.	Fase gaseosa	21
1.7.		Clasificación de los suelos según normas AASHTO	21
1.8.		Descripción de los grupos de clasificación e interpretación según resultados	22
1.9.		Normas AASHTO y ASTM para ensayos de laboratorio.....	25
	1.9.1.	Análisis granulométrico AASHTO T-88 (ASTM D422)	26
	1.9.2.	Límite Líquido AASHTO T-89 (ASTM D-423)	27
	1.9.3.	Límite Plástico AASHTO T-90 (ASTM D-424).....	27
	1.9.4.	Índice de Plasticidad AASHTO T-90 (ASTM D-424)	27
	1.9.5.	Contenido de humedad (ASTM D-2216)	28
	1.9.6.	Determinación de la resistencia de los suelos, AASHTO T-193 (ASTM D1883)	28

2.	GENERALIDADES DEL LUGAR	31
2.1.	Localización geográfica del caso en estudio	32
2.2.	Descripción de las características físicas del entorno del emplazamiento del caso en estudio	33
2.2.1.	Clima	33
2.2.2.	Geología	36
2.2.3.	Topografía	39
2.2.4.	Cultivos	40
2.2.4.1.	Bosque húmedo subtropical	40
2.2.4.2.	Bosque húmedo montano bajo subtropical bh-mb	41
2.2.4.3.	Bosque muy húmedo montano bajo subtropical bmh-mb	41
2.2.4.4.	Vegetación natural	41
3.	BANCOS DE MATERIALES EXPLOTADOS Y TIPOS DE SUELOS, CASO EN ESTUDIO TRAMO CHIMALTENANGO - TECPÁN	43
3.1.	Especificaciones generales para la aprobación de un banco de materiales ya sea de cantera o de préstamo	43
3.2.	Tipos de bancos de materiales	44
3.2.1.	El banco de material de cantera	44
3.2.2.	El banco de material de préstamo	45
3.3.	Factores que intervienen en la aprobación de los bancos de materiales para su explotación	46
3.3.1.	Geológicos	47
3.3.2.	Litológicos	47
3.3.3.	Tectónicos	47
3.3.4.	Geomorfológicos	48
3.3.5.	Vulcanismo	48

3.3.6.	Antrópicos	48
3.3.7.	Hidrología y clima	49
3.3.8.	Hidrogeológicos	49
3.3.9.	Agua y estabilidad	50
3.4.	Usos de los bancos de materiales en tramos carreteros, en el caso en estudio	51
3.4.1.	Subrasante	51
3.4.2.	Subbase	52
3.4.3.	Base	54
3.5.	Selección de un banco de material	55
3.6.	Identificación y clasificación de los suelos encontrados en los bancos de materiales	57
3.7.	Bancos de materiales encontrados en el caso de estudio	57
3.8.	Estratos de los bancos de materiales	60
3.8.1.	Estrato sotobosque	60
3.8.2.	Estrato herbáceo o arbústico	60
3.8.3.	Capa orgánica	60
3.8.4.	Estrato D	61
3.8.5.	Estrato C	61
3.8.6.	Estrato B	61
3.8.7.	Estrato A	61
3.9.	Características físicas, propiedades mecánicas y químicas de los suelos	62
3.9.1.	Características físicas	63
3.9.2.	Propiedades mecánicas	67
3.9.3.	Propiedades químicas	68
3.10.	Diagrama para mejoramiento de los suelos	69

4.	ELABORACIÓN DE ESQUEMAS A SEGUIR PARA LOCALIZAR, UBICAR Y PROCEDIMIENTOS DE MEZCLAS DEL MATERIAL EN ESTUDIO	71
4.1.	Generalidades de la metodología y plan de trabajo	71
4.1.1.	Metodología para la estabilización de suelos	72
4.2.	Metodología de actividades	73
4.2.1.	Fotografía aérea	73
4.2.2.	Visita a campo	74
4.2.3.	Localización de los bancos de material	75
4.2.4.	Extracción de muestras	76
4.2.5.	Derecho de vía	76
4.2.6.	Transporte y traslado de material	77
4.3.	Propiedades de los suelos y su determinación	78
4.4.	Ensayos de laboratorio	78
4.5.	Ensayos para subbases y bases	79
4.5.1.	Ensayo CBR (California Bearing Ratio) AASHTO T-193	79
4.5.2.	Equivalente de arena AASHTO T-176	82
4.5.3.	Granulometría AASHTO T-11 y T-27	83
4.5.4.	Límites de Atterberg AASHTO T-89 y T-90	87
4.5.5.	Proctor o compactación AASHTO T-180 y T-191	91
4.5.6.	Resultado de ensayos banco Las Cabras.....	94
4.5.6.1.	Análisis de resultados banco Las Cabras	100
4.5.7.	Resultado de ensayos del banco de material Las Llanuras	101

4.5.7.1.	Análisis de resultados banco Las Llanuras	107
4.5.8.	Resultado de la composición de los bancos de materiales Las Cabras y Las Llanuras	108
4.5.8.1.	Análisis de resultados de la composición de los bancos de materiales Las Cabras (50 por ciento) y banco Las Llanuras (50 por ciento)	114
CONCLUSIONES		117
RECOMENDACIONES.....		119
BIBLIOGRAFÍA		121
APÉNDICE.....		123

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Localización geográfica.....	32
2.	Mapa de precipitación promedio anual en Chimaltenango	34
3.	Mapa de temperatura promedio anual en Chimaltenango	35
4.	Mapa de microzonificación sísmica de Guatemala	37
5.	Mapa de unidades geológicas de Chimaltenango.....	38
6.	Mapa de ubicación geográfica	39
7.	Extracción de roca, banco de material Las Cabras, km 80+500 CA -01, Chimaltenango – Tecpán	45
8.	Extracción de material rojizo, para subbase, banco Las Cabras km 80.....	46
9.	Desarrollo de los macroporos en el suelo	50
10.	Perfil de la carretera.....	55
11.	Banco Las Llanuras estacionamiento 89+300 material selecto, para subbase.....	58
12.	Material rojizo banco Las Cabras km 80 + 000	59
13.	Banco Las Llanuras estacionamiento 85+500.....	59
14.	Partes y estratos de un banco de material	62
15.	Límites de Atterberg banco Las Cabras	95
16.	Análisis granulométrico banco Las Cabras	96
17.	Equivalente de arena banco Las Cabras	97
18.	Ensayo de compactación banco Las Cabras	98
19.	Valor soporte o CBR banco Las Cabras	99
20.	Límites de Atterberg banco Las Llanuras	102

21.	Análisis granulométrico banco Las Llanuras	103
22.	Equivalente de arena banco Las Llanuras	104
23.	Ensayo de compactación banco Las Llanuras	105
24.	Valor soporte o CBR banco Las Llanuras	106
25.	Ensayo Límites de Atterberg banco Las Cabras y Llanuras	109
26.	Análisis granulométrico banco Las Cabras y Llanuras.....	110
27.	Equivalente de arena banco Las Cabras y Llanuras	111
28.	Ensayo de compactación banco Las Cabras y Llanuras	112
29.	Valor soporte o CBR banco Las Cabras y Llanuras	113

TABLAS

I.	Proceso para la identificación de tipo de suelo	4
II.	Rango requerido en estabilización de suelo cemento	19
III.	Clasificación de los suelos según índice de grupo	22
IV.	Signos convencionales para perfil de calicatas clasificación AASHTO	23
V.	Clasificación de suelos según AASHTO	24
VI.	Tipos de ensayos y normas AASHTO y ASTM	25
VII.	Clasificación de suelos según tamaño de partículas	26
VIII.	Clasificación de suelos según su IP	27
IX.	Categoría de subrasante	52
X.	Proceso de selección del tipo de estabilización	72
XI.	Valores de carga unitaria	80
XII.	Clasificación de los suelos según su CBR	81
XIII.	Cantidad de humedad creciente en suelos secos	88
XIV.	Valores de K para diferentes números de golpes	91

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Cc.	Coeficiente de curvatura
Cu.	Coeficiente de uniformidad
%W	Contenido de agua
γ_d	Densidad seca
IG	Índice de Grupo
IP	Índice de plasticidad
LL	Limite Líquido
LP	Limite Plástico
%C	Porcentaje de compactación
%Hopt	Porcentaje de humedad optima
CBR	Valor soporte california

GLOSARIO

AASHTO	Siglas en inglés de American Association of State Highway and Transportation Officials: (Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes).
ASTM	American Standard Testing Materials.
Banco de material	Lugar donde se encuentran los agregados tanto finos como gruesos, en bruto para ser tratados.
Banco de cantera	Banco en el que predomina la roca.
Base	Esta capa tiene por finalidad absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos.
Carretera	Vía de dominio y uso público, proyectada y construida fundamentalmente para la circulación de vehículos automóviles.
Catión	ión, átomo o molécula con carga eléctrica positiva.

CBR	Siglas en inglés de: California Bearing Ratio: (Valor Soporte California).
Confinamiento	Consiste en conseguir las condiciones necesarias para que se produzca la fusión entre partículas.
Cohesión	Acción y efecto de reunirse o adherirse las cosas entre sí.
Consolidación	Sobrepresiones intersticiales positivas, y en consecuente el suelo disminuye de volumen el proceso se denomina consolidación.
Contracción	Es el acomodamiento de las partículas del suelo, debido a la acción de compactación.
Derecho de vía	Área de terreno que el Estado suministra para ser usada en la construcción de la carretera.
Equivalente de arena	Este ensayo se efectúa con el fin de conocer el porcentaje relativo de finos-plásticos que contienen los suelos y los agregados pétreos.
Floculación	Proceso a través del cual las partículas de un coloide se aglomeran y forman partículas más gruesas.

Geomorfología	Ciencia que estudia las formas del relieve terrestre.
Intersticial	Que forma un espacio intermedio.
Permeabilidad	Capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna.
Plásticidad	El procedimiento determina la tenacidad del cordón resultante. La tenacidad es un indicio de plasticidad en un suelo.
Densificación	Proceso que aumente el peso volumétrico de un material granular.
Subbase	Capa de material generalmente constituida por agregados pétreos convenientemente graduados y compactados, seleccionados que se coloca encima de la subrasante.
Subrasante	Capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad tal que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Suelo cohesivo

Suelo, que no estando confinado, tiene considerable resistencia cuándo se ha secado al aire, y tiene una cohesión importante cuando está sumergido.

Suelo no cohesivo

Suelo que, cuándo está confinado, tiene poca o ninguna resistencia cuándo está secado al aire, y que tiene poca o ninguna cohesión cuando está sumergido.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo tratar aspectos generales de los bancos de materiales para la construcción de tramos carreteros, tomando en consideración la clasificación de los distintos tipos de bancos de materiales, características físicas y mecánicas de los diferentes tipos de suelos encontrados en cada banco de material, esto para su utilización en las diferentes capas de la estructura del pavimento, en esta investigación se toma como referencia el tramo carretero Chimaltenango – Tecpán.

Se trabajó sobre la estabilización de suelos en tramos carreteros (Chimaltenango – Tecpán), haciendo uso de la composición de los diferentes bancos de materiales, ya que uno a uno no cumplían con las especificaciones generales de carreteras y puentes, de la DGC edición 2001. Es entonces que se hace necesario el análisis sobre una metodología para la estabilización de suelos realizado ensayos a distintos bancos de materiales, cercanos al lugar del proyecto. Los cuales fueron utilizados para la construcción de dicha carretera y del cual se plantea la metodología a seguir a los bancos de materiales a los cuales se les realizaron ensayos de laboratorio para obtener una proporción ideal para que cumplieran con las especificaciones generales de carreteras y puentes, de la DGC para lo cual se estableció lo siguiente:

Se estableció una proporción de 50 por ciento material rojizo encontrado en el banco las cabras y 50 por ciento de material de préstamo, banco las Llanuras, dicha mezcla mejoro los resultados obtenidos en los ensayos a cada banco de material, su valor soporte, granulometría, I.P, porcentaje de humedad.

El resultado de la aplicación de dicha mezcla de materiales es un elemento sustancial para el desarrollo de la investigación, el cual se corrobora con ensayos de laboratorio que se documentan en el presente trabajo. Se consideran aspectos técnicos, los cuales deben ser tomados en consideración así como generalidades sobre el diseño y construcción de la estructura del pavimento, es de no olvidar también el aspecto económico los cuales deben complementarse con los técnicos, ya que no se pueden considerar como temas independientes, debido a que estos dos temas se consideran como un todo al momento de decidir y gestar la utilización de la estabilización de suelos con distintos tipos de suelos.

Los ensayos de suelos realizados en el presente trabajo fueron realizados en las instalaciones y el equipo del Centro de investigaciones de la Facultad de ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

OBJETIVOS

General

Crear una mezcla de diferentes tipos de suelos, esto para la estabilización de suelos y para su aplicación en las diferentes capas de la estructura del pavimento, cumpliendo con las especificaciones generales de carreteras y puentes, edición 2001.

Específicos

1. Caracterizar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de distintos tipos de suelos, basándonos en las normas AASHTO, para así poder utilizarlos en la estructura del pavimento.
2. Determinar las proporciones necesarias de cada tipo de suelo en función de las características físicas y mecánicas de cada tipo de suelo. Para su buen funcionamiento y así poder cumplir con lo especificado por la DGC.
3. Evaluar los distintos bancos de materiales que se pueden encontrar en los tramos carreteros, para su utilización en tramos carreteros y así reducir costos de la obra sin afectar la calidad de los tramos.

INTRODUCCIÓN

En la construcción de obras viales tal como es el proyecto (Chimaltenango - Tecpán), regularmente se enfrenta el problema de que los bancos de material se están escaseando y los que se encuentran no cumplen con los requerimientos necesarios de acuerdo a normas AASHTO y Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes, por lo que ha sido necesario la implementación de nuevas metodologías para el cumplimiento de las normas establecidas, en tal sentido se ha tenido que realizar mezclas de distintos bancos de material para cumplir con los requerimientos establecidos ya sea estos por las normas AASHTO o Especificaciones Generales para la construcción de carreteras y puentes.

Es importante entonces, definir un marco de referencia lógico que sirva a los estudiantes y/o profesionales que desarrollan actividades en el ámbito vial de la República de Guatemala; considerando que la base teórica para el análisis de los bancos de material ya está establecida en libros, manuales o cualquier otro tipo de referencia, el cual ya es conocido y practicado en la ingeniería vial.

En ese sentido, es imprescindible arribar a un consenso con la utilización del idioma para la identificación de bancos de material y su mejor utilización, para la enumeración y descripción de sus componentes; sobre los métodos de análisis y cuáles serían las mejores proporciones o mezclas a utilizar; y más importante aún, llegar a un consenso nacional sobre una metodología para la identificación, clasificación de los bancos de materiales.

En tal sentido es importante la localización de un buen banco de material para mejorar la vida útil de los tramos carreteros, la durabilidad de las carreteras depende del comportamiento de los materiales empleados en las diferentes capas estructurales del pavimento. Es importante mencionar que debido al constante uso de los suelos la calidad de los mismos se hace cada día más escasa, de ahí la necesidad e importancia de innovar mediante la composición de diferentes tipos de materiales, para cumplir con las normas AASHTO las cuales se hacen referencia en la DGC.

El tema de tesis requiere realizar un estudio del comportamiento mecánico de los suelos encontrados en los bancos de materiales, y con respecto a los ensayos realizados se observó que los mismos individualmente no cumplen con las especificaciones generales que rigen para nuestro país.

De allí que el presente trabajo se orienta a determinar las características generales de los suelos encontrados, encontrar una proporción estabilizante óptima y económica con apego a las normas que rigen al país.

1. CONCEPTOS GENERALES SOBRE LOS SUELOS

1.1. Formación de los suelos

El suelo es resultado de la interacción de cinco factores: el material inalterado, el relieve, el tiempo, el clima, y los seres vivos. Los tres primeros factores desempeñan un rol pasivo, mientras que el clima y los seres vivos participan activamente en la formación del suelo.

- El material inalterado o roca madre es el sustrato a partir del cual se desarrolla el suelo. De éste se deriva directamente la fracción mineral del suelo y ejerce una fuerte influencia sobre todo en la textura del suelo.
- El clima influye en la formación del suelo a través de la temperatura y la precipitación, los cuales determinan la velocidad de descomposición de los minerales y la redistribución de los elementos; así como a través de su influencia sobre la vida animal y vegetal.
- El relieve afecta a la cantidad de agua que penetra en el suelo y a la cantidad de material que es arrastrado, sea por el agua o el viento.
- El tiempo es necesario para un completo desarrollo del suelo. El tiempo de formación de un pequeño volumen de suelo es muy largo, pero su destrucción es muy rápida.

Los bancos de material son el claro ejemplo de la formación de los suelos, ya que en estos se observa la influencia de cada factor anteriormente descrito.

El tipo de suelo formado en los bancos de materiales, dependerá del lugar, clima y otros factores que a continuación se describen.

1.2. Factores que influyen en la formación de los suelos

Un factor importante sobre la formación de los suelos es el tiempo, y con este van los factores litográficos, biológicos, topográficos y climáticos y con respecto a estos factores se determina el tipo de suelo.

1.2.1. Factores litológicos

Se aplica al ciclo geológico que incluye el proceso de formación, destrucción y transformación de una roca en otra, este factor hace referencia a la naturaleza física y química de la roca madre, la cual puede ser de cualquier tipo.

1.2.2. Factores biológicos

Son aquellos que están representados por los seres vivos (plantas, animales, microorganismos), los cuales juegan un papel importante en el desarrollo de los suelos.

1.2.3. Factores topográficos

Son aquellos que se derivan de las características particulares y del relieve de los suelos con respecto a la ubicación geográfica, en la que se encuentre.

1.2.4. Factores climáticos

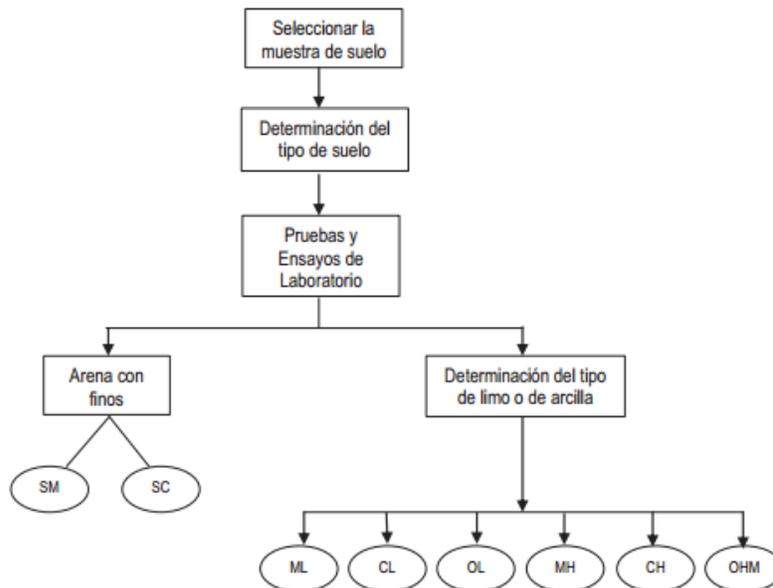
Son los más importantes en la formación de los suelos, ya que el clima establece las condiciones de temperatura y humedad y define las en parte las características y propiedades de los suelos.

- El aumento de la temperatura influye de manera decisiva en muchas de las reacciones químicas que se desarrollan en los suelos, con lo cual se hace más intenso el proceso de desintegración de las rocas.
- El aumento de la humedad o de las precipitaciones es favorable para el aumento de los compuestos orgánicos y la disminución de las sales en los suelos.
- El exceso de precipitaciones ocasiona un intenso lavado del suelo y por consiguiente lo deja estéril.

1.3. Tipos de suelos

Se clasifican con respecto a sus características físicas y propiedades, tanto mecánicas como químicas. Con respecto a sus características las normas AASHTO y el sistema unificado lo clasifican:

Tabla I. **Proceso para la identificación del tipo de suelo**



Fuente: Federal Highway Administration (FHWA).

Pueden diferenciarse en diversos tipos de suelos en función de la naturaleza de la roca madre, del tamaño de las partículas que lo componen y del lugar donde se localice.

El tamaño de las partículas en un depósito de suelo tiene una influencia fundamental en las propiedades y en su comportamiento, por tanto, las partículas de un suelo se describen en función de su tamaño, utilizando términos tales como la arcilla, arena, grava, limo.

La arena, la grava y las partículas de mayor tamaño en general son producidas por la meteorización física y a menudo tienen la misma composición mineralógica que la roca madre.

De acuerdo con el origen de sus elementos, se puede clasificar los suelos en: granulares, gravas, roca, arenas, suelos cohesivos, limos y arcillas.

1.3.1. Suelos granulares

Están formados por partículas agregadas y sin cohesión entre ellas dado el gran tamaño de las mismas. Su origen obedece fundamentalmente a procesos de meteorización física.

Las características principales de este tipo de suelos son su buena capacidad portante y su elevada permeabilidad, lo que permite una rápida evacuación del agua en presencia de cargas externas. Esta capacidad de drenaje es proporcional al tamaño de las partículas, o dicho de otro modo, al volumen de vacíos o porosidad del suelo.

Dentro de esta clase de suelos se distinguen dos grandes grupos: el de las gravas y el de las arenas. El límite entre ambos grupos viene dado por su granulometría, ya que se considera arena la fracción de suelo de tamaño comprendida entre 2 y 0,05 milímetros, según las normas AASTHO.

Dentro de esta clasificación pueden establecerse otras subdivisiones.

Las características mecánicas y resistentes de los suelos granulares vienen en un alto porcentaje determinadas por el ángulo de fricción interna.

1.3.2. Gravas

Se consideran como gravas los fragmentos de roca con un diámetro de 10 a 25 milímetros inferior a 15 centímetros. Agregado grueso resultante de la desintegración natural y abrasión de rocas o transformación de un conglomerado débilmente cementado. Tienen aplicación en mampostería, confección de concreto armado y para pavimentación de líneas de ferrocarriles y carreteras. Además de las rocas que se encuentran ya troceadas en la naturaleza, se pueden obtener gravas a partir de rocas machacadas en las canteras. Como las arenas o áridos finos, las gravas son pequeños fragmentos de rocas, pero de mayor tamaño. Por lo general, se consideran gravas los áridos que quedan retenidos en un tamiz de mallas de 5 milímetros de diámetro.

También pueden ser el producto de la disgregación natural de las rocas o de la trituración o machaqueo de las mismas. Todas las condiciones que se señala que las arenas deban reunir para los morteros, son aplicables a las gravas.

En cuanto a la forma, se prefiere los áridos rodados, esto es, los procedentes de ríos y playas. Los áridos naturales, de forma más o menos redondeada, y al momento de mezclar con otros tipos de suelos, como arenas con arcillas y gravas o algún material selecto da como resultado un suelo mejorado en cuanto a sus características mecánicas.

Los fragmentos con diámetros mayores de 8 pulgadas (20,32 centímetros) se conocen como cantos. En Guatemala la grava gruesa y los cantos rodados se conocen como piedra bola.

1.3.3. Rocas

Material mineral sólida, que se encuentra en estado natural en grandes masas o fragmentos. O también es cualquier material duro y solido procedente de la tierra.

La roca original o roca madre, ha sufrido continuamente grandes transformaciones hasta llegar a formar el suelo actual. Las características físicas y químicas de los suelos son cambiadas constantemente por diversos factores que reciben el nombre de factores de formación.

La roca madre puede tener origen ígneo, sedimentario o metamórfico, este punto de partida de la roca original, establece la siguiente clasificación general comúnmente aceptada:

- Roca ígnea
- Rocas sedimentarias
- Rocas metamórficas

1.3.3.1. Rocas ígneas

Son rocas que han sido solidificadas previamente por pasos consecutivos de fusión (paso del estado sólido a estado líquido por efecto del calor).

Debido a la intemperización, las rocas se reducen a un material suelto que puede ser trasladado por la acción del viento, agua, hielo o los organismos vivos a otros lugares donde es depositado, pudiendo llegar a formar el siguiente tipo de roca.

1.3.3.2. Rocas sedimentarias

Están formadas por los fragmentos de las rocas desintegradas por la intemperización; movilizadas y depositadas en otros lugares y consolidadas nuevamente.

Durante la intemperización y movilización, algunas porciones de roca son transportadas en solución, pudiendo dar más tarde origen a precipitados que forman sedimentos, vetas de cementaciones de materiales fragmentados o permanecer en solución como las sales de mar.

1.3.3.3. Rocas metamórficas

Son las rocas que al sedimentarse sufren transformaciones, cuando actúan sobre ellas el calor, la presión o el efecto de ambos. Diciéndose que la roca ígnea o sedimentaria ha sido transformada.

Material firme y coherente, compuesto, comúnmente, de varias clases de minerales y que se halla en grandes masas en la naturaleza.

Las gravas son el producto de la trituración o fragmentos de las rocas.

- Características:
 - De 0,10 a 0,25 milímetros de diámetro
 - Partículas de forma irregular
 - Cero adhesividades y plasticidad
 - Cero capacidades de retención de agua

1.3.4. Arenas

El origen y la existencia de las arenas es semejante a la de las gravas: las dos suelen encontrarse juntas en el mismo depósito. La arena de río contiene muy a menudo proporciones relativamente grandes de grava y arcillas. Las arenas estando limpias no se contraen al secarse, no son plásticas, son menos compresibles que la arcilla y si se aplica una carga en su superficie, se comprimen casi de manera instantánea.

La arena es el nombre que se le da a los materiales de granos finos procedentes de la erosión de las rocas o de su trituración artificial, y cuyas partículas varían entre 2 y 0,05 milímetros para las normas AASHTO.

La arena de río contiene muy a menudo proporciones relativamente grandes de grava y arcillas. Las arenas estando limpias no se contraen al secarse, no son plásticas, son menos compresibles que la arcilla y si se aplica una carga en su superficie, se comprimen casi de manera instantánea.

- Arena fina: es la que sus granos pasan por un tamiz de mallas de 1 milímetro de diámetro y son retenidos por otro de 0,25 milímetros.
- Arena media: es aquella cuyos granos pasan por un tamiz de 2,5 milímetros de diámetro y son retenidos por otro de 1 milímetros.
- Arena gruesa: es la que sus granos pasan por un tamiz de 5 milímetros de diámetro y son retenidos por otro de 2,5 milímetros.

Las arenas de granos gruesos dan, por lo general, morteros más resistentes que las finas, si bien tienen el inconveniente de necesitar mucha pasta de conglomerante para rellenar sus huecos y ser adherentes.

- Características
 - De 0,2 a 0,02 milímetros de diámetro
 - Partículas de forma irregular
 - Baja adhesividad y plasticidad
 - Poca capacidad de retención de agua
 - Inactividad química

1.3.5. Suelos cohesivos

A diferencia de los suelos granulares, esta categoría de suelos se caracteriza por un tamaño más fino de sus partículas, lo que les confiere unas propiedades de superficie importantes. Esto se debe a que la superficie específica (relación entre la superficie y el volumen de un cuerpo) de dichas partículas es más que considerable.

La cohesión es la principal propiedad desde el punto de vista mecánico de este tipo de suelos; se define como la fuerza inter-particular producida por el agua de constitución del suelo, siempre y cuando no esté saturado.

Los suelos cohesivos se caracterizan por su baja permeabilidad, al dificultar el paso del agua por el reducido tamaño de sus poros, por la atracción de las partículas de arcilla en presencia de humedad y su alta compresibilidad; tan es así que los suelos arcillosos, limosos e incluso algunos arenosos con presencia de limos y arcillas pueden colapsar (comprimirse de forma brusca); simplemente aumentan su grado de humedad hasta un valor crítico (entre el 85 por ciento para arcillas y el 40 por ciento - 60 por ciento para arenas y limos), al romperse los débiles enlaces que unen unas partículas con otras. Esta importante propiedad se emplea de forma directa en la compactación de suelos.

1.3.6. Limos

Son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pueden ser limo inorgánico como el producido en canteras, o limo orgánico como el que suele encontrarse en los ríos, este último tiene características plásticas. El diámetro de las partículas de los limos está comprendido entre 0,05 y 0,002 milímetros de acuerdo con las normas AASHTO. Los limos sueltos y saturados son completamente inadecuados para soportar cargas por medio de zapatas.

Su color varía desde gris claro a muy oscuro. La permeabilidad de los limos orgánicos es muy baja y su compresibilidad muy alta. Los limos, de no encontrarse en estado denso, a menudo son considerados como suelos pobres para cimentar.

1.3.6.1. Limo inorgánico

Es un suelo de grano fino con poca o ninguna plasticidad. Las variedades menos plásticas consisten en granos de cuarzo más o menos equidimensionales y a veces se denomina harina o polvo de roca, mientras que los tipos más plásticos contienen un apreciable porcentaje de partículas de forma laminar y se le considera como limos plásticos.

Debido a su textura lisa, el limo inorgánico se confunde con la arcilla, pero puede ser distinguido de la arcilla mediante ensayo de sacudidas, y porque el limo se pulveriza fácilmente en seco: el limo es relativamente impermeable, pero si se encuentra en estado suelto, puede surgir en un hoyo como fluido espeso y viscoso.

1.3.6.2. Limo orgánico

Este es más fino o menos plástico, con una mezcla de partículas de materia orgánica finamente divididas. También puede presentarse fragmentos visibles de material vegetal parcialmente descompuesto. La permeabilidad del limo orgánico es muy baja, su compresibilidad es muy alta, por lo que es un material indeseable para cimientos de la carretera.

1.3.6.3. Tierra endurecida o tepetate

Este es un suelo que abunda en el valle de Guatemala y que presenta extraordinaria resistencia a la penetración de las herramientas de perforación. La mayor parte de estos tepetates son agregados de partículas minerales (limo inorgánico), extremadamente densos, bien graduados y a veces cohesivos.

- Características
 - De 0,02 a 0,002 milímetros de diámetro
 - Partículas de forma irregular
 - Plasticidad y adhesividad bajas
 - Capacidad media de retención de agua
 - Poca actividad química
 - Escasa capacidad de retención de iones

1.3.7. Arcilla

Es un agregado de partículas microscópicas, derivadas de la descomposición de las rocas. Es plástica desde un grado moderado hasta un gran contenido de agua, es decir su IP, es alto. La permeabilidad de la arcilla es extremadamente baja, es decir que es bastante impermeable, al saturarse baja mucho su CBR, por lo que al usarse como cimiento (subrasante) de la carretera, deberá colocarse encima de un pavimento de gruesas capas.

Se da el nombre de arcilla a las partículas sólidas con diámetro menor de 0.002 milímetros según las Normas AASHTO y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua. Químicamente es un silicato de alúmina hidratado, aunque en ocasiones contiene también silicatos de hierro o de magnesio hidratados.

- Características
 - Menor a 0,002 milímetros (2 umas) de diámetro
 - Fracción coloidal, incluye arcillas amorfas y cristalinas
 - Alta plasticidad y adhesividad

- Capacidad de expansión y contracción
- Alta capacidad de retención de agua
- Alta capacidad de retención de iones

1.4. Resistencia de los suelos mediante estabilizadores

La falta de resistencia ocurre con mayor frecuencia en los suelos orgánicos. La influencia de la materia orgánica suele tratarse en forma equivocada, pues se recurre a la compactación como una forma de estabilización mecánica para incrementar la resistencia del suelo en algunos casos. Sin embargo, puede obtenerse el resultado requerido mediante la compactación, sólo por un corto período, ya que el efecto de degradación de la materia orgánica provocará nuevamente la pérdida de resistencia del suelo en cuestión.

El empleo de mayores intensidades de compactación tampoco favorecerá para obtener valores de resistencia mayores y duraderos. Algunos de los procedimientos más utilizados para elevar la resistencia del suelo son:

1.4.1. Compactación

La compactación es el procedimiento de aplicar energía al suelo suelto para eliminar espacios vacíos, aumentando así su densidad y en consecuencia, su capacidad de soporte y estabilidad entre otras propiedades.

1.4.2. Precargas

Precargar los suelos finos tiene como fin, acelerar el desarrollo de la consolidación del suelo. Entonces es posible cimentar sobre el mismo sin peligro de asentamientos totales o diferenciales importantes a mediano o largo plazo.

1.4.3. Drenajes

La influencia del agua son problemas cotidianos, en especial porque ellos se presentan con mucha mayor frecuencia en épocas lluviosas. Son muchos los mecanismos a través de los cuales el agua actúa sobre la estabilidad de una masa de suelo.

- Al saturarse un suelo que antes estaba parcialmente saturado, se pierde la tensión superficial existente en el interior de la masa, la cual le proporcionaba una cohesión aparente.
- El peso de la masa del suelo aumenta al crecer su humedad.
- El flujo de agua puede disolver algunos cementantes que pudieran existir dentro del suelo. Esta por ejemplo, es la causa de la poca durabilidad de una estabilización con sal.
- El flujo de agua en la masa del suelo produce elevación del nivel piezómetro, lo que trae como resultado aumento de las presiones neutras y la consecuente disminución de la resistencia al corte.

Conocidos los efectos del agua en el comportamiento del suelo, le quedan al ingeniero dos alternativas: la primera, que consiste en tratar de mantener el agua alejada, criterio que no parece el mejor en vías terrestres, por cuanto las obras por construir serían muy costosas y el agua obstaculizada puede desarrollar presiones inconvenientes; y la segunda, que es la más lógica, consiste en diseñar las estructuras adecuadas de subdrenaje que permitan encauzar el agua por gravedad y eliminarla a las presiones más bajas posibles.

La estabilización mecánica con diferentes tipos de suelo, es el mejoramiento del suelo por el cambio de graduación. Consiste generalmente en mezclar dos o más suelos naturales para tener un material compuesto que sea superior a cualquiera de sus componentes; pero también incluye la adición de roca triturada o escoria o la tamización del suelo para remover partículas de cierto tamaño.

Cuando se diseñan mezclas de suelos para lograr con ellas unas determinadas propiedades deseables, la granulometría suele ser el requisito más relevante en la fracción gruesa, en tanto que la plasticidad lo es, naturalmente, en la fina.

El tamaño máximo de las partículas de la mezcla tiene importancia, puesto que tamaños demasiado grandes son difíciles de trabajar y producen superficies muy rugosas; una proporción demasiado grande de tamaños gruesos conducen a mezclas muy segregables.

La presencia de contenidos importantes de materiales finos, menores que la malla 40, hace difícil lograr buenas características de resistencia y de deformabilidad, además de que puede conducir a superficies demasiado lisas y fangosas, cuando están húmedas y pulverulentas cuando están secas.

1.4.4. Estabilización química con cal o cemento

Son procesos constructivos, en los cuales el cemento y la cal actúan como enzimas para dar mejores propiedades a los suelos, este proceso es efectivo pero muy costoso.

1.4.4.1. Suelos estabilizados con cal

El suelo cal se obtiene por mezcla íntima de suelo, cal y agua. La cal que se utiliza es óxido cálcico (cal anhidra o cal viva), obtenido por calcinación de materiales calizos, o hidróxido cálcico (cal hidratada o cal apagada). Estas calces se llaman también aéreas por la propiedad que tienen de endurecerse en el aire, una vez mezcladas con agua, por acción del anhídrido carbónico.

La experiencia demuestra que los productos de la hidratación del cemento pueden ser reproducidos combinando dos o más componentes primarios de este producto como: CaO , SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 en las proporciones adecuadas y en presencia de agua.

Como la mayoría de los suelos contienen sílice y aluminio silicatos, la incorporación de cal anhidra (CaO) o de cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) y agua en cantidad apropiada se puede obtener la composición deseada.

Al mezclar el suelo con la cal, se produce una reacción rápida de floculación e intercambio iónico, seguida de otra muy lenta de tipo puzolánico, con formación de nuevos productos químicos.

La sílice y alúmina de las partículas del suelo se combinan con la cal en presencia de agua para formar silicatos y aluminatos cálcicos insolubles.

Uno de los efectos más importantes de la cal en el suelo, es el de cambiar apreciablemente su plasticidad. (Por ejemplo suelos de plasticidad $IP < 15$, aumentan tanto el LL como el LP, y también muy ligeramente su IP; en cambio, en los suelos de plasticidad con $IP > 15$) disminuye el IP.

También aumenta la humedad óptima de compactación, lo que permite la densificación de suelos de elevada humedad natural, que de otro modo no permitirían la construcción de la capa de rodadura sobre ellos.

Los suelos más apropiados para estabilizar con cal son los de granulometría fina de cierta plasticidad.

En cortes e incluso en terraplenes, donde se evidencien suelos arcillosos, resulta conveniente mejorar el suelo con un pequeño porcentaje de cal para proteger la explanación y formar una plataforma para la construcción de la capa de rodadura.

1.4.4.2. Suelos estabilizados con cemento

El material llamado suelo cemento se obtiene por la mezcla íntima de un suelo suficientemente disgregado con cemento, agua y otras eventuales adiciones, seguida de una compactación y un curado adecuados. De esta forma, el material suelto se convierte en otro endurecido, mucho más resistente.

A diferencia del concreto, sin embargo, los granos de los suelos no están envueltos en pasta de cemento endurecido, sino que están puntualmente unidos entre sí. Por ello, el suelo cemento tiene una resistencia inferior y un módulo de elasticidad más bajo que el concreto.

El contenido óptimo de humedad se determina por el ensayo proctor como en la compactación de suelos.

Las propiedades del suelo cemento dependen de:

- Tipo y cantidad de suelo, cemento y agua
- Ejecución
- Edad de la mezcla compactada y tipo de curado

Los suelos más adecuados para estabilizar con cemento son los granulares tipos A-1, A-2 y A-3, con finos de plasticidad baja o media ($LL < 40$, $IP < 18$).

La resistencia del suelo cemento aumenta con el contenido de cemento y la edad de la mezcla. Al añadir cemento a un suelo y antes de iniciarse el fraguado, su IP disminuye, su LL varía ligeramente y su densidad máxima y humedad óptima aumenta o disminuyen ligeramente, según el tipo de suelo.

La dosificación de cemento para suelo cemento puede fijarse aproximadamente en función del tipo de suelo, según lo siguiente:

Tabla II. **Rango requerido en estabilización de suelo cemento**

Clasificación de suelos AASHTO	Rango usual de cemento requerido Porcentaje del peso de los suelos
A-1-a	3-5
A-1-b	5-8
A-2	5-9
A-3	7-11
A-4	7-12
A-5	8-13
A-6	9-15
A-7	10-16

Fuente: Federal Highway Administration (FHWA).

1.5. Cargas eléctricas en los suelos

Cuando las partículas se encuentran rodeadas por cargas del mismo signo se repelen; pero si alguna de las partículas o parte de ellas tiene carga opuesta entonces se desarrollan fuerzas de atracción. Se ha observado que si el medio que rodea a estas partículas es con un bajo potencial de hidrógeno, entonces los bordes de las partículas tienden a cargarse en forma positiva.

En cuanto a las caras, estas permanecen con carga negativa, por lo que resulta una floculación de las caras de unas partículas con los bordes de las otras. En tanto que si tienen un alto potencial de hidrógeno, tanto los bordes como las caras tienden a quedar con cargas negativas y la estructura puede quedar en forma dispersa.

En las partículas arcillosas el tipo de intercambio importante es el tipo catiónico es decir, intercambio de iones positivos, debido a que las superficies de las partículas están cargadas negativamente.

1.6. Fases de los suelos

El suelo puede ser definido como un sistema de 3 fases y 4 componentes; aire, agua, materia orgánica y materia mineral y con respecto a estos componentes se puede dividir en:

1.6.1. Fase sólida

Comprende, principalmente, los minerales formados por compuestos relacionados con la litosfera, como sílice o arena, arcilla y cal. También incluye el humus.

1.6.2. Fase líquida

Comprende el agua de la hidrósfera que se filtra por entre las partículas del suelo. Y según la cantidad de agua dentro de la partícula de suelo así podrá ser clasificado también.

1.6.3. Fase gaseosa

Tiene una composición similar a la del aire que respiramos, aunque con mayor proporción de dióxido de carbono (CO₂). Además, presenta un contenido muy alto de vapor de agua. Cuando el suelo es muy húmedo, los espacios de aire disminuyen, al llenarse de agua.

1.7. Clasificación de los suelos según normas AASHTO

Es muy útil dividir el suelo en grupos y subgrupos para identificar sus propiedades que a su vez indican un comportamiento, esta agrupación se denomina clasificación de suelos.

Muchos de los sistemas de clasificación de suelos fueron diseñados por ingenieros para sus usos y son basados en propiedades como la distribución del tamaño de grano y la plasticidad; sin embargo se debe ser precavido al usarlas, la solución de problemas de suelos a partir únicamente de la clasificación puede conducir a resultados desastrosos, por eso se deben considerar como una metodología para predecir un comportamiento y no excluye la realización de determinados ensayos de laboratorio.

La clasificación de los suelos se realiza de acuerdo a tablas y parámetros establecidos en el Sistema AASHTO (American Association of State Highway Officials).

Los suelos están clasificados en ocho grupos designados por los símbolos del A-1 al A-8. En este sistema de clasificación los suelos inorgánicos se clasifican en 7 grupos que van del A-1 al A-7. Estos a su vez se dividen en una total de 12 subgrupos. Los suelos con elevada proporción de materia orgánica se clasifican como A-8.

Tabla III. **Clasificación de los suelos según índice de grupo**

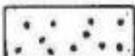
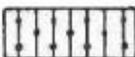
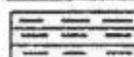
Índice de Grupo	Suelo de Subrasante
IG > 9	Muy Pobre
IG está entre 4 a 9	Pobre
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 – 2	Bueno
IG está entre 0 – 1	Muy Bueno

Fuente: Federal Highway Administration (FHWA).

1.8. Descripción de los grupos de clasificación e interpretación según resultados

Hay 2 normas para la clasificación de los suelos, el sistema unificado y por las normas AASHTO, las cuales estas últimas se utilizarán para la clasificación de los suelos.

Tabla IV. **Signos convencionales para perfil de calicatas clasificación AASHTO**

Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A-1-a		A-5
	A-1-b		A-6
	A-3		A-7-5
	A-2-4		A-7-6
	A-2-5		MATERIA ORGANICA
	A-2-6		ROCA SANA
	A-2-7		ROCA DESINTEGRADA
	A-4		

Fuente: simbología AASHTO.

1.9. Normas AASHTO y ASTM para ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio son necesarios para la clasificación de los suelos, y los instrumentos utilizados en el laboratorio se deben regir a ciertas normas, las cuales son las ASTM. Y ya los resultados obtenidos se clasifica el suelo según las normas AASHTO.

Tabla VI. Tipos de ensayos y normas AASHTO y ASTM

Tipo de Ensayo	Designación	
	AASHTO	ASTM
Análisis granulométrico de los suelos	T-27 y T-11	D-422
Límite Líquido de los suelos	T-89	D-423
Límite Plástico e Índice de Plasticidad de los suelos	T-90	D-424
Equivalente arena	T-176	D-3282
Compactación	T-180	D-2216
CBR (California Bearing Ratio)	T-193	D-1883

Fuente: especificaciones generales de carreteras y puentes edición 2001.

Los ensayos de laboratorio son utilizados para caracterizar a los suelos encontrados en las áreas o sitios de estudio, por lo que con el objeto de determinar las propiedades físicas de cada suelo muestreado, es necesario efectuar varias pruebas, las que se detallan a continuación con su norma correspondiente de la AASHTO y/o ASTM.

1.9.1. Análisis granulométrico AASHTO T-88 (ASTM D422)

El análisis granulométrico es una prueba para determinar cuantitativamente la distribución de los diferentes tamaños de partículas del suelo.

Tabla VII. Clasificación de suelos según tamaño de partículas

Tipo de Material		Tamaño de las partículas
Grava		75 mm – 4.75 mm
Arena		Arena gruesa: 4.75 mm – 2.00 mm
		Arena media: 2.00mm – 0.425mm
		Arena fina: 0.425 mm – 0.075 mm
Material Fino	Limo	0.075 mm – 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Fuente: Federal Highway Administration (FHWA).

1.9.2. Límite Líquido AASHTO T-89 (ASTM D-423)

El límite líquido es el mayor contenido de humedad que puede tener un suelo sin pasar del estado plástico al líquido. El Límite Líquido, de un suelo plástico, indica el contenido de agua para el suelo tiene una cierta consistencia, con una resistencia al corte de 2,5 gramos por centímetro cuadrado.

1.9.3. Límite Plástico AASHTO T-90 (ASTM D-424)

El límite plástico es la mínima cantidad de humedad con la cual el suelo se vuelve a la condición de plasticidad. Para contenidos de humedad mayores que el Límite Plástico se presenta una caída muy pronunciada en la estabilidad del suelo.

1.9.4. Índice de Plasticidad AASHTO T-90 (ASTM D-424)

El índice de plasticidad es la diferencia entre el Límite Líquido y el Límite Plástico o índice el grado de contenido de humedad en el cual el suelo permanece en estado plástico antes de cambiar el estado líquido.

Tabla VIII. **Clasificación de los suelos según IP**

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	suelos muy arcillosos
IP ≤ 20 IP > 7	Media	suelos arcillosos
IP < 7	Baja	suelos poco arcillosos plasticidad
IP = 0	No Plástico (NP)	suelos exentos de arcilla

Fuente: Federal Highway Administration (FHWA).

1.9.5. Contenido de humedad (ASTM D-2216)

El contenido de humedad es la relación del peso del agua y el peso seco, de un suelo. El conocimiento de la humedad natural de un suelo, permite estimar su posible comportamiento, como subrasante ya que si dicho contenido de humedad esta próximo al Limite Líquido es casi seguro que se está tratando con un suelo muy sensitivo que perderá buena parte de su resistencia original al ser alterado por el equipo de movimiento de tierras; por el contrario si el contenido de humedad es cercano al Límite Plástico en la época más humedad del año, puede anticiparse que el suelo presentará un buen comportamiento.

1.9.6. Determinación de la resistencia de los suelos, AASHTO T-193 (ASTM D-1883)

El ensayo de resistencia más utilizado en el medio es el CBR (Relación California de Soporte), para caracterizar el valor soporte de los suelos como material de fundación de carreteras o para ser utilizados como material de subbase o base.

El CBR es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones de densidad y humedad cuidadosamente controladas y se expresa en porcentaje como la razón de la carga unitaria que se requiere para introducir un pistón dentro del suelo, a la carga unitaria requerida para introducir el mismo pistón a la misma profundidad en una muestra patrón (piedra partida).

En muchos proyectos de suelos, no se disponen de expresiones matemáticas para analizar la solución numéricamente, por esta razón es muy útil dividir el suelo en grupos y subgrupos con similares propiedades que a su vez indican un comportamiento semejante, esta agrupación se denomina clasificación de suelos.

Los sistemas de clasificación facilitan un lenguaje común para expresar características del suelo, que son infinitamente variables, sin presentar una descripción detallada.

2. GENERALIDADES DEL LUGAR

El municipio de Chimaltenango se encuentra a 54 kilómetros de distancia de la ciudad capital, en la ruta CA 01 occidente, tramo Chimaltenango - Tecpán, se han presentado el problema con los bancos de materiales los cuales uno a uno, no cumplen con los ensayos de laboratorio y con las especificaciones generales de carreteras y puentes, por lo que se hace necesario recurrir a varios tipos de bancos de materiales para encontrar una metodología y una proporción justa para que esos suelos cumplan con las especificaciones de carreteras y puentes, normas AASHTO.

En el tramo en estudio definido por 28 kilómetros de carretera, se han contabilizado muy pocos bancos de materiales, para este tramo de carretera tan largo, y que están muy retirados del tramo carretero, para ser que se tomen en cuenta como banco de materiales de acarreo libre, por lo tanto esto hace que el precios de construcción de la carretera sean más elevados.

Por lo que resulta necesario implementar una metodología de ensayos con diferentes tipos de suelos para que puedan ser utilizados en los tramos carreteros y que también cumplan con las especificaciones generales de carreteras y puentes.

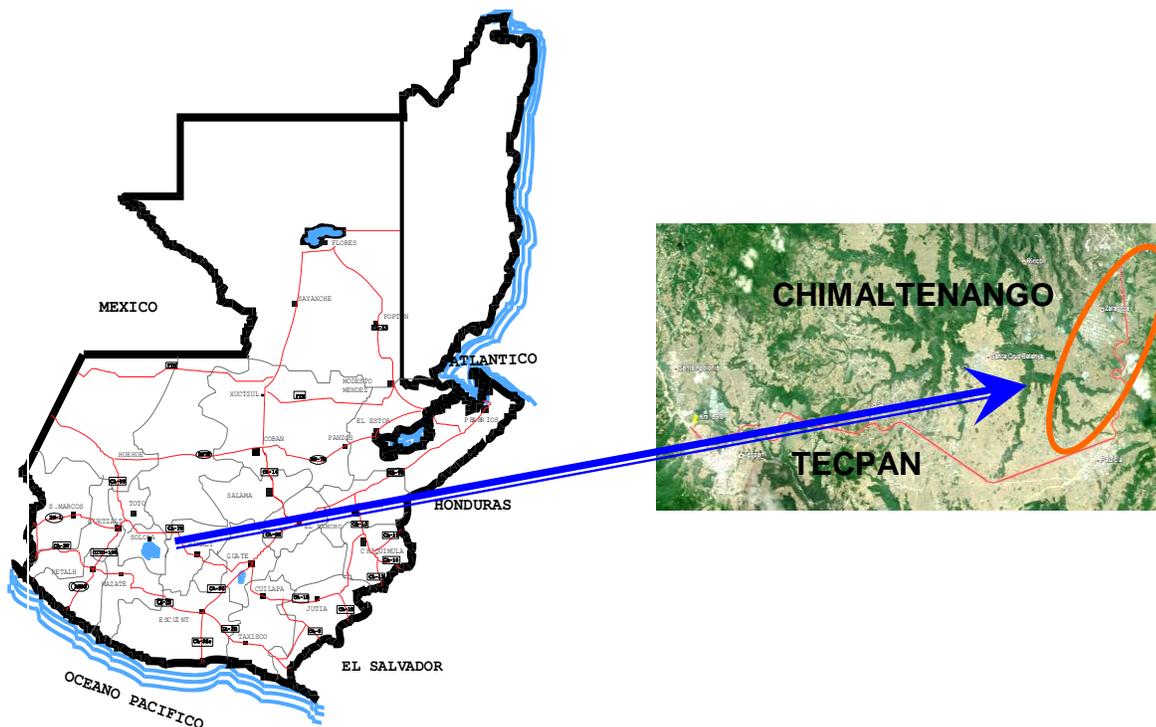
Durante el análisis realizado, se emplea el Manual Centroamericano de Normas Ambientales para el Diseño, Construcción y Mantenimiento de Carreteras, en lo que corresponde a protección de la flora y fauna del lugar, pero, por no contar con una normativa específica del Ministerio de Ambiente o de la Dirección General de Caminos.

A continuación se muestra un esquema representativo de los diversos estratos que se presentan en el área del proyecto.

2.1. Localización geográfica del caso en estudio

El proyecto que define el caso en estudio, se ubica entre las latitudes 14°40'07" norte y la longitud 90°49'00" oeste de Chimaltenango; y finaliza en Tecpán 14°46'01" norte y la longitud 90°59'39" oeste, del departamento de Chimaltenango.

Figura 1. Localización geográfica



Fuente: "Google Maps" Autor: Google Inc. fecha 18 de junio de 2013.

2.2. Descripción de las características físicas del entorno del emplazamiento del caso en estudio

El tramo carretero pasa por la jurisdicción del departamento de Chimaltenango.

Los 28 kilómetros de vía se encuentra emplazada en la parte boscosa con pendientes no muy fuertes del área geográfica descrita; es la ruta donde llega el tránsito local para desplazarse hacia la ciudad capital y hacia el occidente del país; la ruta tiene característica de ruta centroamericana, que dentro de la clasificación nacional es de importancia de nivel primario.

2.2.1. Clima

El clima del área de influencia del proyecto se puede determinar que los parámetros más importantes desde el punto de vista e interés técnico de ingeniería son los siguientes:

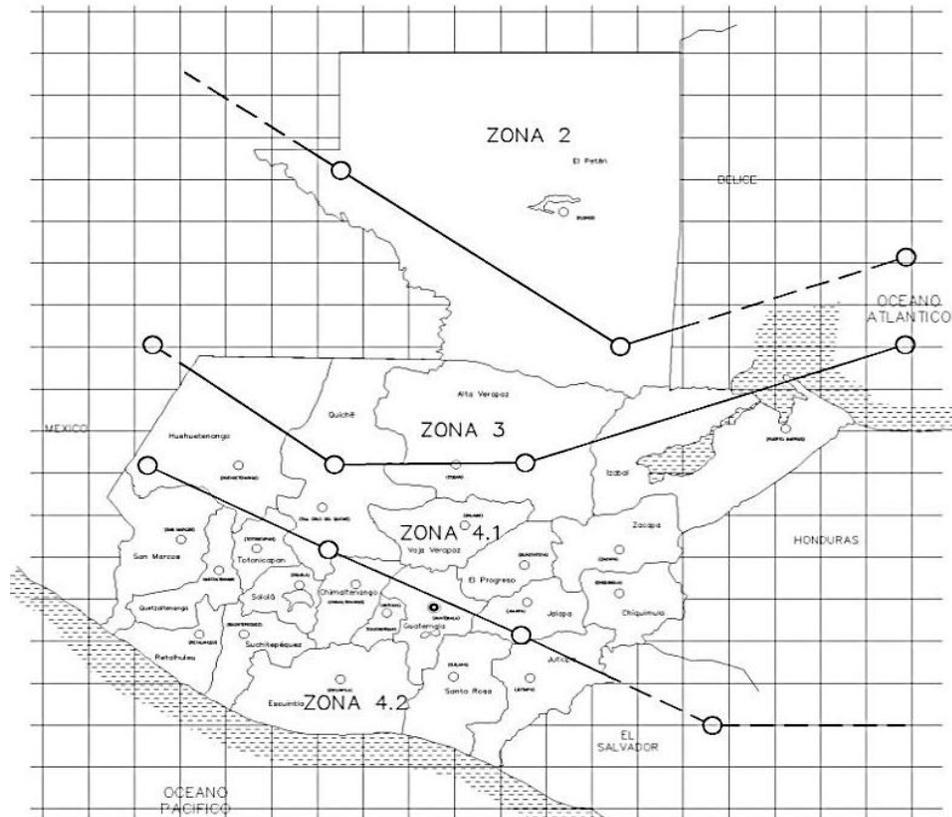
- Precipitación media anual
- Días de lluvia promedio anual
- Temperatura mínima anual
- Temperatura máxima anual
- Temperatura mínima absoluta anual
- Temperatura máxima absoluta anual
- Velocidad del viento
- Evaporación media anual
- Brillo solar medio anual

2.2.2. Geología

El área de influencia del proyecto en su lugar de emplazamiento (disposición física) en lo que respecta a geología de acuerdo al mapa regional, se encuentra situado en la falla del Motagua, con suelos jurásico – cretáceo, sedimentos mesozoicos, perioditas no serpentinizadas y sedimentos jurásico – terciario.

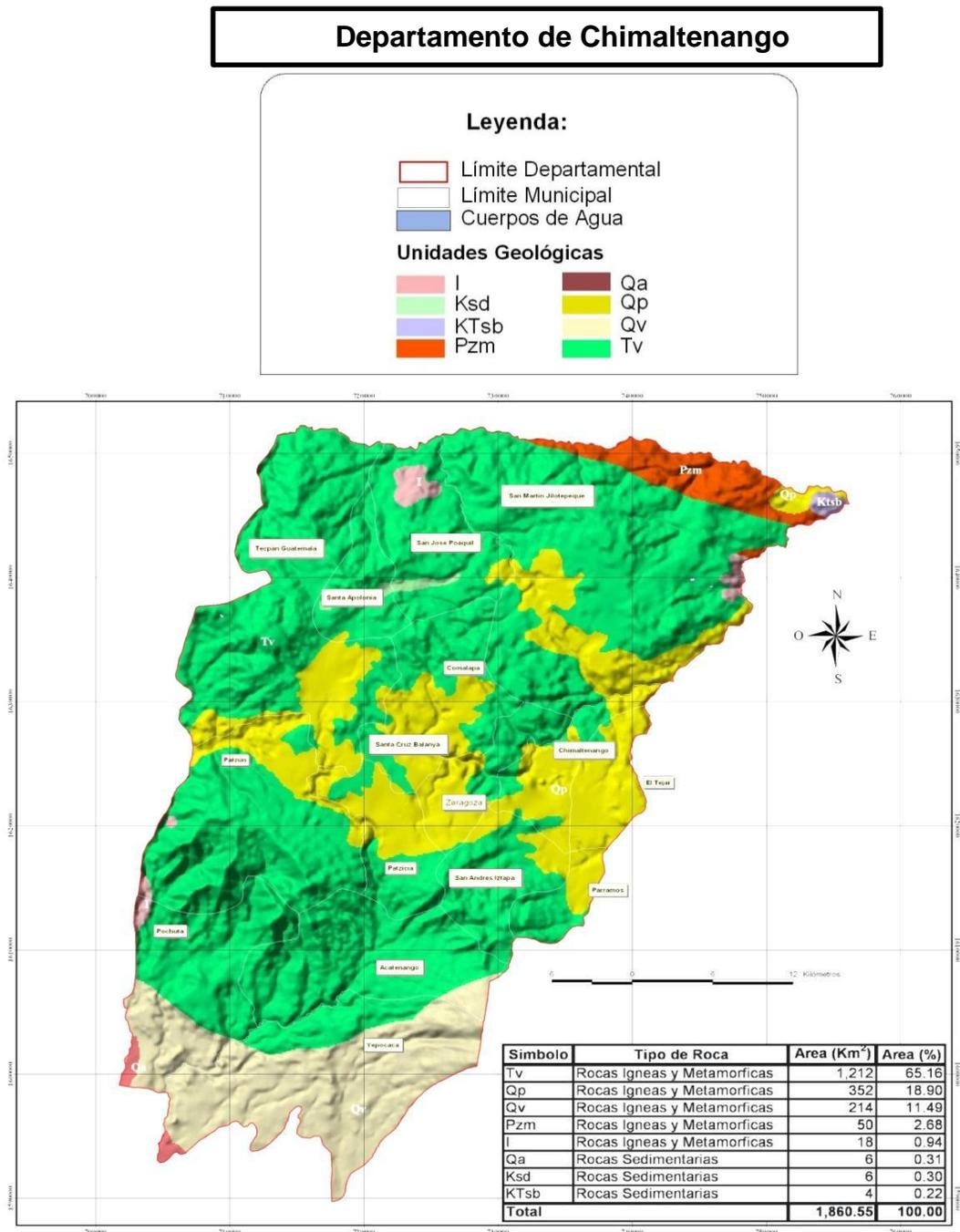
En cuanto a los suelos que se encuentran en el lugar respecto a la geología del lugar, se puede mencionar que, la composición del suelo es de limo arcilloso color café y de arena limosa color café. Desde el punto de vista técnico, la zona se encuentra dentro de la clasificación 4,2 de las regiones sísmicas de la república de Guatemala, cada zona tiene definidas sus aceleraciones sísmicas que se deben tomar en cuenta para el diseño sismo resistente de las estructuras de ingeniería que son vulnerables a los sismos.

Figura 4. Mapa de microzonificación sísmica de Guatemala



Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

Figura 5. Mapa de unidades geológicas de Chimaltenango

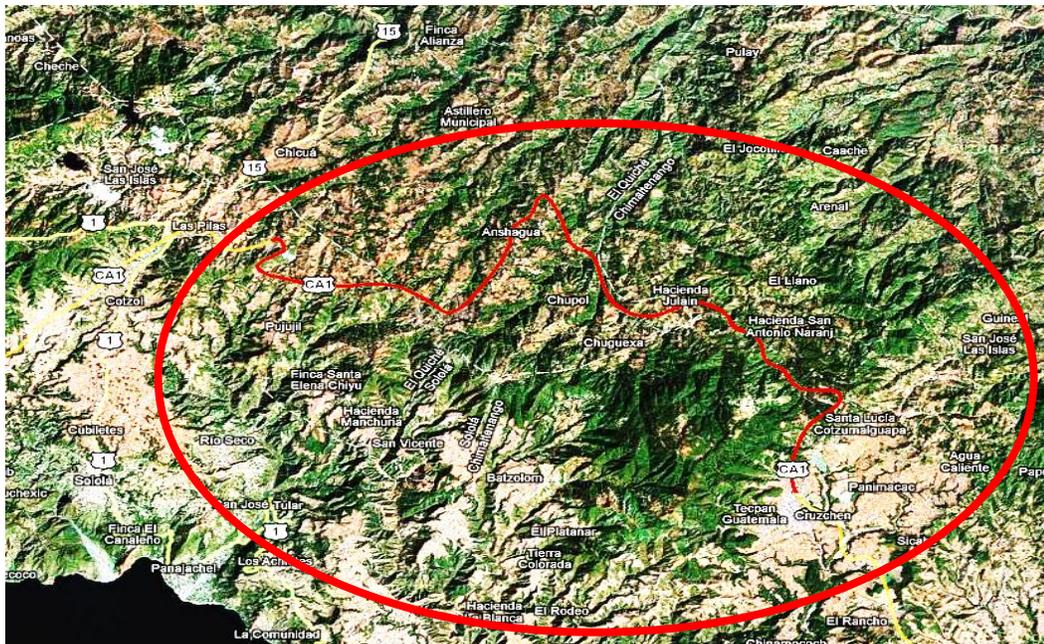


Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

2.2.3. Topografía

La topografía del área de influencia del proyecto está constituida por dos tipos, al inicio en el municipio de Chimaltenango cuenta con una topografía accidentada con una altura de 1 800 metros sobre el nivel del mar mientras que Tecpán es un municipio con áreas planas con alturas medianas, la altura es de 2 310 metros sobre el nivel del mar.

Figura 6. Mapa de ubicación geográfica



Fuente: Google Earth 5.0. 18 de junio de 2013.

2.2.4. Cultivos

Debido a que su área de influencia está constituida únicamente por el departamento de Chimaltenango y los municipios de influencia son dos, Chimaltenango y Tecpán, cada municipio con una región cercana al trazo de la ruta, se puede definir en forma muy general que los cultivos que generan la economía de las poblaciones más cercanas son los siguientes: maíz, café, frijol, trigo, hortalizas, cereales, papa, habas arvejas y árboles frutales.

Además se cultiva pasto de diversas clases para alimentación de ganado caballar, caprino, lanar y vacuno.

En lo referente a su vegetación, en forma general, el área de influencia del proyecto cuenta con los siguientes estratos:

- En el departamento de Chimaltenango
 - bh-S(t) bosque húmedo subtropical
 - bh-MB bosque húmedo montano bajo subtropical
 - bmh-MB bosque muy húmedo montano bajo subtropical

2.2.4.1. Bosque húmedo subtropical

Se representa por el símbolo bh-S(T). La vegetación natural que es típica de la parte central del altiplano, que se representa por árboles de pino, pino ocote, pino candelillo, encino, ciprés, madron y eucalipto los cuales eran bosques primarios y por consiguiente existía más fauna.

En cuanto al uso del suelo, se puede observar ahora la combinación de esfuerzos para satisfacer las necesidades de cultivo y manejar cuidadosamente el bosque, ya que por la presión que los pobladores ejercen sobre éste, la densidad ha ido disminuyendo, dando pasó a la erosión en pendientes muy fuertes.

2.2.4.2. Bosque húmedo montano bajo subtropical bh – mb

El departamento de Chimaltenango cuenta con el 87,75 por ciento del total del territorio de Chimaltenango de bosque húmedo montano bajo-subtropical, siendo este una cantidad de 4 307,57 hectáreas.

2.2.4.3. Bosque muy húmedo montano bajo subtropical bmh – mb

Que cuenta con el 12,27 por ciento del total del territorio de Chimaltenango siendo este una cantidad de 602,27 hectáreas. Sus áreas boscosas son aproximadamente el 70 por ciento de tipo coníferas con un 10 por ciento de eucalipto 10 por ciento roble 5 por ciento de ciprés y el 5 por ciento mixto pero existen pocos bosques primarios porque ahora existen más bosques secundarios.

2.2.4.4. Vegetación natural

La vegetación del Chimaltenango, contiene una gran variedad de flora entre sus recursos naturales que cuenta con extensiones de bosques de pino, ciprés, bosque mixtos.

Sus áreas boscosas son aproximadamente el 70 por ciento de tipo coníferas con un 10 por ciento de eucalipto, 10 por ciento roble 5 por ciento de ciprés y el 5 por ciento mixto, pero existen pocos bosques primarios porque ahora existen más bosques secundarios.

Las especies predominantes florísticas dentro del municipio son:

- Nombre común
 - Pino triste
 - Pino ochote
 - Pino blanco
 - Encino
 - Aliso
 - Ciprés común
 - Ciprés romano
 - Durazno
 - Madron
 - Palo pito
 - Aguacate
 - Eucalipto
 - Míspero

La mayoría de estas especies son utilizadas para leña y madera.

3. BANCOS DE MATERIALES EXPLOTADOS Y TIPOS DE SUELOS CASO EN ESTUDIO TRAMO CHIMALTENANGO-TECPÁN

3.1. Especificaciones generales para la aprobación de un banco de materiales ya sea de cantera o de préstamo

Cuando las fuentes de abastecimiento para materiales previamente aprobadas no suministren productos uniformes y satisfactorios, o si el producto de cualquier fuente resulta ser inaceptable en cualquier momento, el contratista deberá proveer material de otras fuentes.

Las fuentes de materiales locales pueden ser mostradas en planos y descritas en las disposiciones especiales. La calidad del material en dichos depósitos será generalmente aceptable previa confirmación de la supervisora, pero el contratista será el responsable de la determinación de la cantidad y el tipo de equipo y trabajo requerido para producir un material que cumpla con las especificaciones dadas.

El contratista deberá adquirir los derechos necesarios para tomar materiales de fuente y serán a su cargo todos los costos relacionados; el derecho de explotación, licencias y tasas municipales, exploración, control de erosión y restauración.

Las fuentes seleccionadas por el contratista deberán estar en acuerdo con los siguientes requerimientos que apliquen:

Cuando el contratista elige utilizar material de fuentes fuera de las marcadas por el estado en los planos y descritas en las disposiciones especiales, el contratista será responsable de determinar si los materiales de las fuentes seleccionadas están de acuerdo con los requerimientos de calidad del contrato.

La aprobación para el uso de material proveniente de fuentes seleccionadas por el contratista dependerá de que este provea al delegado residente evidencia satisfactoria tal como informes de pruebas de laboratorio y datos históricos sobre su comportamiento, si hay disponibles, que indiquen que la calidad del material es aceptable y será producida de la fuente.

Sin embargo, el delegado residente podrá, durante la producción, obtener muestras para analizar y verificar la calidad del material y asegurar su conformidad con las especificaciones aplicables.

3.2. Tipos de bancos de materiales

Estos se clasifican según el tipo de suelo encontrado ya sea material de cantera o de préstamo, y estos serán aprovechados según las normas ASSHTO y las especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes 2001.

3.2.1. El banco de material de cantera

Es banco en el que predomina la roca, y esta puede ser triturada según la necesidad que se requiera, ya sea esta para una base triturada, una subbase granular o para cualquier tipo de pavimento según sea la necesidad del proyecto.

Figura 7. **Extracción de roca, banco de material Las Cabras, km 80+500 CA -01, Chimaltenango – Tecpán**



Fuente: banco Las Cabras, estacionamiento 80+500 CA-01

3.2.2. El banco de material de préstamo

Se entiende como banco de préstamo a los yacimientos de sustancias minerales y rocas no metálicos compuesto por material consolidado y no consolidado, cuyo uso está designado para las obras de infraestructura, que no requieran más operaciones que las de arranque, fragmentación y clasificación.

En este banco de material predomina el suelo arcilloso, limo, arena, roca o cualquier material que se usa como agregado fino.

Uno de los costos más importantes en la construcción y mantenimiento de la infraestructura vial corresponde a los materiales, rocas, grava, arena y otros suelos, por lo que su localización y selección se convierte en uno de los problemas básicos al momento de construir un proyecto de esta rama.

Figura 8. **Extracción de material rojizo, para subbase, banco Las Cabras km 80**



Fuente: banco Las Cabras, estacionamiento 80+000 CA-01.

3.3. Factores que intervienen en la aprobación de los bancos de materiales para su explotación

Según las especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes, se debe contemplar que no existan hospitales, centros de salud, escuelas a una distancia mínima de 500 metros, para la flora y fauna se debe de conservar o crear unos lugares aptos para su conservación, Si se encuentran ruinas se toma como patrimonio nacional y no debe de tocarse.

Con respecto a la calidad de los bancos de materiales se debe tomar en cuenta los siguientes factores

3.3.1. Geológicos

La geología aporta un grupo de parámetros importantes para comprender la ocurrencia de los diferentes tipos de bancos de materiales, y los tipos de suelos que en el predominan:

3.3.2. Litológicos

Los tipos de rocas y la calidad de los suelos determinan en muchos casos la facilidad con que la superficie se degrada por la acción de los factores externos entre los cuales se tienen la meteorización y el intemperismo.

Las características químicas, físicas, mineralógicas y genéticas de los diferentes materiales que conforman la corteza, determinan en gran parte la forma como estos evolucionan y se comportan en el ambiente (clima) en que se encuentran.

3.3.3. Tectónicos

Son los factores asociados al tipo, magnitud, e intensidad de la deformación que presentan los materiales rocosos, que genera en ellos elementos, tales como foliaciones, plegamientos, fallas, diaclasas, que afectan su estructura y que condicionan su estabilidad.

3.3.4. Geomorfológicos

Son las características morfológicas del relieve de la superficie terrestre, la expresión del nivel de desarrollo alcanzado en el proceso evolutivo. Elementos como la pendiente, agudeza, amplitud, profundidad, de dicho relieve se da una idea del grado de equilibrio o desequilibrio de los materiales que constituyen el relieve, y del modo o mecanismos de los procesos que se desarrollan en él.

3.3.5. Vulcanismo

Es un elemento disparador de fenómenos de inestabilidad, tanto por la propia actividad volcánica (sismos volcánicos y deformación del aparato volcánico), como por la acumulación progresiva de materiales fragmentales (cenizas, bloques), que por sus características físicas favorecen la inestabilidad de los terrenos en áreas aledañas al aparato volcánico.

3.3.6. Antrópicos

Se refieren a todas las actividades realizadas por el ser humano mediante las cuales el hombre transforma el suelo o el medio natural, esto va desde el pastoreo hasta las obras civiles.

- Obras civiles
- Deforestación
- Minería
- Actividades agrícolas
- Sobrepastoreo

El comportamiento esfuerzo-deformación de un suelo cohesivo depende de la cantidad de agua que alberga en sus poros. El Índice de Líquidez (IL) de un suelo permite saber si su comportamiento es similar al de un sólido frágil, plástico o líquido.

3.3.7. Hidrología y clima

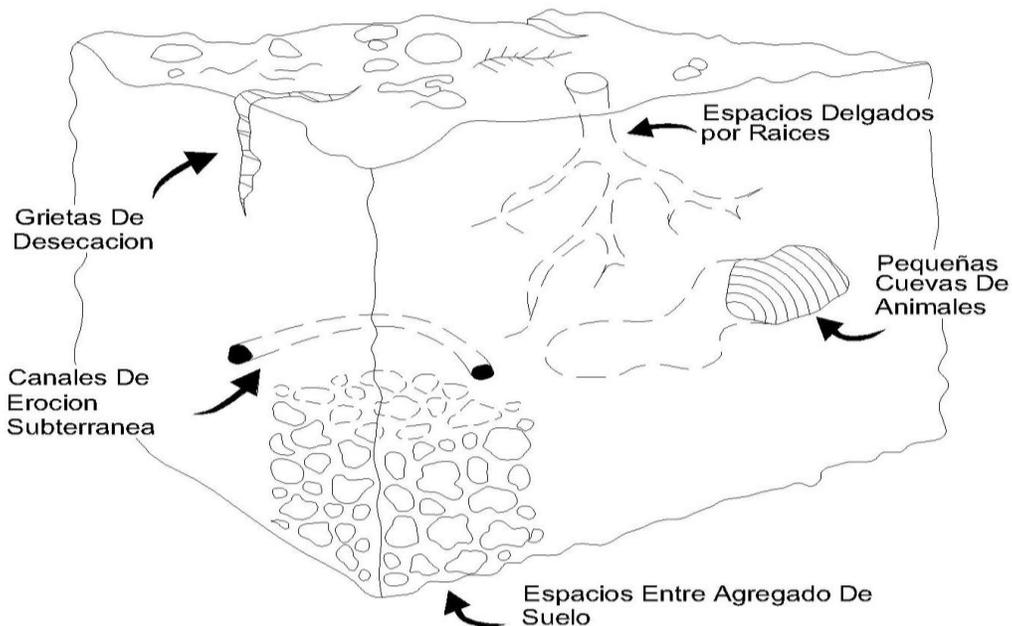
Las variables físicas que constituyen el clima (temperatura, humedad, radiación solar), de una región determinan las condiciones de meteorización (tipo, intensidad, velocidad), a las que están expuestos los materiales.

3.3.8. Hidrogeológicos

El movimiento del agua a través de los suelos y rocas, y el comportamiento de la presión hidrostática en estos hace de suma importancia el estudio hidrogeológico.

La hidrogeología de una zona está determinada por la litología, las estructuras y el clima de una zona, esto convierte a la geología en la base de la interpretación de los datos hidrológicos.

Figura 9. **Desarrollo de los macroporos en el suelo**



K2

Fuente: Romero, Marco Vinicio. 2009. Metodología de Estudio Efectuado.

Análisis de Taludes, proyecto Tecpán (km. 89) – Los Encuentros (km. 124).

3.3.9. **Agua y estabilidad**

Acelera los procesos de meteorización y erosión en los materiales, tanto a nivel externo como interno.

Cuando las presiones neutras del suelo igualan las presiones totales se genera el fenómeno de licuefacción.

Ante temperaturas extremas, la congelación del agua puede generar ampliación de discontinuidades.

3.4. Usos de los bancos de materiales en tramos carreteros, en el caso en estudio

Los distintos bancos de materiales encontrados en el tramo carretero, han sido utilizados tanto para la estructura del pavimento, carpeta de rodadura y rellenos estructurales.

3.4.1. Subrasante

Es la capa de terreno de la carretera, que soportara la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad tal que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Definida también como la operación que consiste en escarificar o pulverizar, incorporar materiales estabilizadores, homogenizar, mezclar, uniformizar, conformar y compactar la mezcla de la subrasante con materiales estabilizadores para así mejorar sus características mecánicas y su función como cimiento de la estructura del pavimento, adecuando su superficie a la sección típica y elevaciones de subrasante establecidas u ordenadas.

Se define así al terreno de fundación de los pavimentos, pudiendo estar constituida por el suelo natural del corte o de la parte superior de un relleno debidamente compactado.

El material inadecuado para subrasante son los suelos granulares con menos de 3 por ciento de hinchamiento de acuerdo con el ensayo AASTHO T193 (CBR) que no tengan características inferiores a los suelos que se encuentren en el tramo o sección que se esté construyendo.

Tabla IX. **Categoría de subrasante**

Categorías de Subrasante	CBR
S ₀ : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S ₂ : Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S ₃ : Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S ₄ : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S ₅ : Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: Federal Highway Administration (FHWA).

3.4.2. **Subbase**

Es la capa de material generalmente constituida por agregados pétreos convenientemente graduados y compactados, seleccionados que se coloca encima de la subrasante, tiene por objeto: servir de capa de drenaje al pavimento; controlar o eliminar los cambios de volumen, elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material del terreno de fundación.

Esta capa controla la ascensión capilar del agua proveniente de las napas freáticas cercanas, o de otras fuentes, protegiendo el pavimento contra los hinchamientos que se producen en época de helada, siendo este tramo que en algunos lugares sufre de heladas (las heladas tienen una acción muy limitada en los países latinoamericanos).

Este hinchamiento es debido al congelamiento del agua capilar, fenómeno que se observa especialmente en suelos limosos, donde la ascensión capilar del agua es grande.

El material de subbase debe ser seleccionado y tener mayor capacidad soporte que el terreno de fundación compactado. El material de la subbase puede ser: arena, grava o residuos de material de cantera.

En algunos casos se puede emplear para subbase el material del terreno de fundación, mezclado de arena y grava, cemento.

El material de la subbase debe tener las características de un suelo A-1 o A-2, aproximadamente. Su límite líquido debe ser inferior a 35 por ciento y su índice plástico no mayor de 6, el CBR no debe bajar de 15 por ciento.

Si la función principal de la subbase es prevenir contracciones e hinchamientos excesivos de los suelos caracterizados por altos cambios volumétricos, colaborar en el control de levantamientos diferenciales o excesivos por acción de heladas y prevenir el fenómeno denominado bombeo de los suelos finos.

El material a emplearse debe ser granular, la cantidad de material fino (limo y arcilla) que pase el tamiz número 200 no debe ser mayor del 8 por ciento.

3.4.3. Base

Esta capa tiene por finalidad absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos, repartiéndolos a la subbase y al terreno de fundación.

Las bases pueden ser granulares o bien estar formadas por mezclas bituminosas o mezclas con cemento u otro material ligante. El material que se emplee en la base deberá llenar los siguientes requisitos:

- Ser resistente a los cambios de humedad y temperatura
- No presentar cambios de volumen que sean perjudiciales
- El porcentaje de desgaste, según el ensayo de abrasión con la máquina de los ángeles, debe ser inferior a 50
- La fracción del material que pase el tamiz 40, debe tener un límite líquido menor de 25 por ciento y un índice de plasticidad inferior a 6
- La fracción que pasa por el tamiz 200, no debe exceder de $\frac{1}{2}$, y en ningún caso de los $\frac{2}{3}$ de la fracción que pase el tamiz 40
- La graduación del material de la base debe hallarse dentro de los límites indicados en la DGC
- El CBR debe ser superior a 50 por ciento
- Por lo general, para la capa de base se emplea piedra triturada, grava o mezcla estabilizadas de suelo cemento, suelo bituminoso
- Cuando se empleen bases de suelo cemento, el agua y el cemento Portland deberán estar conformes con las especificaciones vigentes y el suelo que se utilice deberá tener la siguiente graduación
- 50 por ciento o más debe pasar el tamiz 4
- 15 – 100 por ciento debe pasar el tamiz 40
- Menos del 50 por ciento debe pasar el tamiz 200

- El límite líquido no debe ser mayor del 40 por ciento, y el índice plástico no mayor de 18
- El porcentaje de cemento que se emplea en las mezclas de suelo cemento varía, generalmente, entre 6 y 15, por volumen de mezcla compactada

Figura 10. Perfil de la carretera



Fuente: elaboración propia para ilustrar las capas de la estructura del pavimento, utilizando el programa civil 3D.

3.5. Selección de un banco de material

La localización del banco de material se recomienda, que el aprovechamiento u operaciones, no puedan ser observados desde la carretera o el camino principal, siendo indicado su aprovechamiento desde la parte no visible, aunque no siempre es así. Tal es el caso del banco de material Las Cabras el cual se encuentra a un costado del tramo carretero en construcción.

Se recomienda que en la actividad de extracción de los bancos de materiales deban estar localizados a una distancia no menor de 100 metros del derecho de vía de las carreteras y caminos permanentes.

Los bancos de materiales deben estar ubicados a una distancia mínima de 300 metros de hospitales, centros de salud, escuelas, iglesias, centros recreativos, cuando no se usare explosivos, y en una posición contraria a la dirección del viento.

Los bancos de materiales que requieran el uso de explosivos deben estar ubicados a 500 metros de hospitales, centros de salud, escuelas, iglesias, centros recreativos, y además en una posición contraria a la dirección del viento.

Los sitios que este sujeto a inundaciones periódicas por efecto del drenaje, no deben ser utilizados para extraer material de préstamo.

Los bancos de materiales ubicados en aéreas donde existan acuíferos destinados al abastecimiento público, deben tener una profundidad máxima de aprovechamiento de tal forma que la distancia entre el nivel más inferior de corte de materiales y el nivel máximo superior estacional del agua subterránea, sea como mínimo de 5 metros.

La distancia mínima que debe tener un banco de material es con relación a los cuerpos de agua superficial es de 200 metros a partir del punto de su crecida máxima, y a un kilómetro de forma radial a las obras de captación de agua superficial o subterránea, destinadas al consumo de los habitantes.

3.6. Identificación y clasificación de los suelos encontrados en los bancos de materiales

La inspección visual en este aspecto de identificación y clasificación es importantísimo, ya que el laboratorista experimentado (o un geólogo), con solo la visita a campo puede identificar un buen banco de materiales y a esto agregándole los ensayos de suelos necesarios para la identificación y características de los diferentes estratos del banco de material, hace que la identificación sea puntual para así tomar la decisión si es un banco de material que contenga agregados tanto finos como gruesos adecuados para cumplir con las especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes, de la DGC.

Es importante no obviar los ensayos de suelos, ya que muchas veces los bancos de materiales tienen cavernas, y betas de diferentes tipos suelos y a lo largo influyen en los ensayos, estos a la hora de enviar las muestras a laboratorio pueden cumplir, pero en el momento de la aplicación en el tramo carretero no cumpla con las especificaciones debido a que no pueden ser tomadas esas betas que al final varían los resultados en campo.

3.7 Bancos de materiales encontrados en el caso en estudio

Para el estudio, se ha recopilado información de diferentes bancos de materiales a lo largo del tramo carretero, que servirá para determinar las causas, efectos y soluciones para la metodología para la estabilización de suelos en tramos carreteros a través de la composición de distintos tipos de suelos.

Los bancos de materiales analizados, se encuentran ubicados en los estacionamientos 80+300 (izquierdo), 85+500 (derecho) y 117+000 (izquierdo) referidos desde el inicio del proyecto en la población Chimaltenango – Tecpán; situados en ambos lados de la línea de tránsito.

Figura 11. **Banco Las Llanuras estacionamiento 89+300 material selecto, para subbase**



Fuente: banco Las Llanuras estacionamiento 89+300.

Figura 12. **Material rojizo banco Las Cabras km 80+000**



Fuente: tendido de base, estacionamiento 80+000.

Figura 13. **Banco Las Llanuras estacionamiento 89+500**



Fuente: trituración de roca, banco Las Llanuras, estacionamiento 89+500.

3.8. Estratos de los bancos de materiales

En los estratos se puede encontrar las partes de las que consta un banco de material, desde la superficie hasta la parte más profunda, se puede decir que es como el perfil estratigráfico de las partes del banco de material.

3.8.1. Estrato sotobosque

Comprendido por la mayoría de árboles de la localidad. Está formado por árboles jóvenes, arbustos y hierbas de mediana altura, con mucha o poca densidad y en este caso cercanas a la orilla del talud, provocando tensiones externas al talud que provocan su caída.

3.8.2. Estrato herbáceo o arbústico

Presente en la mayoría de taludes y está comprendida por cultivos, gramínea y/o maleza, la cual se propaga fácilmente en temporada de invierno, lo cual favorece a la saturación del suelo. En algunos casos son cultivos que tienen un sistema de riego permanente lo que provoca una mayor saturación del suelo aun en época de verano.

3.8.3. Capa orgánica

Material permeable, el cual permite que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna, que se constituye como nutriente y que tiene características que permiten su explotación y uso agrícola.

3.8.4. Estrato D

Arcillas de plasticidad alta; son suelos finos donde más del 35 por ciento de las partículas del material son menores al 0,06 milímetros, y un 65 al 100 por ciento son finos, el límite líquido se encuentra entre el 50 al 90 por ciento.

3.8.5. Estrato C

Acuífero subterráneo; formados por la filtración de fluido (pluvial, por lo general) el cual ha sido absorbido desde la superficie hasta llegar a los espacios entre piedras, arena o grava donde se mantiene depositada hasta alcanzar una capa levemente impermeable (acuífero limitado).

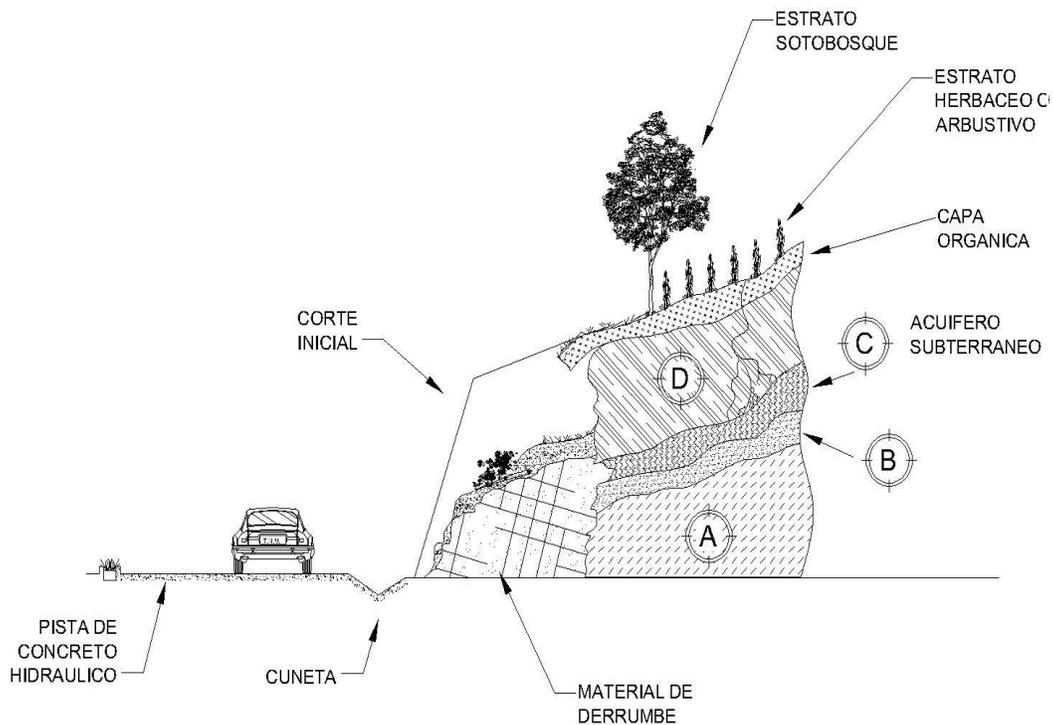
3.8.6. Estrato B

Acuíferos limitados; formados por la filtración de fluido depositado en acuíferos subterráneos, estos se encuentran sobre una capa (por lo general impermeable) que no permitirá el paso del agua, esto provoca a que el agua se deposite y se encuentre bajo presión, hasta encontrar salidas.

3.8.7. Estrato A

Arcillas de plasticidad extremadamente alta; son suelos finos donde más del 35 por ciento de las partículas del material son menores a 0,06 milímetros y un 65 al 100 por ciento son finos y su límite líquido sobrepasa el 90 por ciento.

Figura 14. Partes y estratos de un banco de material



Fuente: Romero, Marco Vinicio. 2009. Metodología de Estudio Efectuado. tabla IV Análisis de Taludes, proyecto Tecpán (km. 89) – Los Encuentros (km. 124).

3.9. Características físicas, propiedades mecánicas y químicas de los suelos

El objetivo principal del ingeniero proyectista, es diseñar estructuras seguras, económicas y eficientes es por ello que se analizan las características físicas, propiedades mecánicas y químicas de los agregados, ya que estos factores influyen en la trabajabilidad, consistencia, durabilidad y resistencia.

Después de obtener las muestras representativas de los agregados de banco de préstamo y de la cantera, se procede a determinar sus propiedades físico mecánicas, las cuales fueron: peso específico (masa, en el estado físico y aparente), la granulometría, el porcentaje de absorción, el contenido de humedad, el peso unitario seco y compactado, el contenido de finos y el módulo de finura (del agregado fino y grueso), resistencia a la abrasión, características que brindan una valiosa información de la capacidad de servicio de la estructura a largo plazo.

Por su origen, su composición, forma de agruparse los suelos presentan diversas características las cuales los definen, a saber: textura, estructura, consistencia, color, compactación, cementación y composición química.

3.9.1. Características físicas

Nunca debe llegarse a una decisión a base de un solo ensayo o fiándose de la experiencia visual del operador. Debe aplicarse todos los ensayos necesarios y luego identificar el suelo.

En general los suelos, para obtener resultados de identificación y clasificación para uso de la Ingeniería Civil, se pueden reducir a las siguientes formas básicas: grava, arena, limo arcilla y materia orgánica. Pero existen métodos o ensayos de campo, que sin equipo de laboratorio sirven con relativa exactitud para determinar la naturaleza o tipo de suelo; estos ensayos se enumeran de la siguiente manera:

- Textura
- Estructura (en muestras inalteradas)
- Forma de los granos (en suelos de grano grueso)

- Tamaño de los granos y granulometría visual
 - Ensayo de sacudimiento
 - Ensayo de desmenuzamiento
 - Plasticidad
 - Ensayo de ácido
 - Ensayo del brillo
 - Identificación de la arena
 - Del barro arenoso
 - Del barro
 - Del barro arcilloso
 - Del limo
 - Color
-
- Textura: grueso o finura de los granos de un suelo, por medio del tacto y secundada por la apariencia, se obtienen los factores que sirven para la identificación de un suelo en el campo, y con esto se ayuda a la clasificación; la forma de proceder para el ensayo de textura es el siguiente: se forma una moldeadora de suelo seco o húmedo con una mano, comprimiendo una pequeña bola de suelo húmedo con los dedos índice y pulgar, se palpan los granos del suelo, determinando por el tacto si son gruesos o finos.
-
- Estructura: esta es el ordenamiento físico-natural de las partículas de un suelo en estado inalterado, la clasificación por medio de la estructura, indicara la disposición, la forma general y el tamaño del agregado.

- Forma de los granos: por inspección visual en suelos de grano grueso, se observan y clasifican las partículas de la grava y arena, según su contorno físico: redondo o angular, habiendo diferentes grados: semiangular, muy redondeados.
- Tamaño de los granos y granulometrías: el ensayo de granulometría (visual) para granos gruesos, es simple, se extiende una muestra, que sea representativa, sobre una superficie plana y se observa la distribución o uniformidad de los tamaños de las partículas.
- Ensayo de sacudimiento: por medio de este se obtiene la identificación de los suelos de grano fino; la forma de llevarlo a cabo es la siguiente: se preparan varias pastillas del mismo suelo con diferente contenido de humedad, se sacuden horizontalmente una por una en la palma de la mano. Una reacción rápida indica carencia de plasticidad.
- Ensayo de desmenuzamiento: es una medida de cohesión de un suelo; por medio del ensayo de fractura se determina la resistencia seca de un suelo.
- Plasticidad: el procedimiento determina la tenacidad del cordón resultante. La tenacidad es un indicio de plasticidad en un suelo.
- Color: entre los ensayos que más ayudan a identificar un suelo, está el color; si se examina un área determinada y si en su observación hay variaciones en el contenido del color, este nos indica que hay diferentes tipos de suelos.

El color también puede indicar contenido de materia orgánica, la composición química (el rojo indica compuesto de hierro), y cuando se asocia con otras características, puede indicar la naturaleza erosiva del suelo. El color gris claro de un suelo significa que el suelo puede ser parte de depósitos fluviales de barro limoso, en loess y en suelos con alto contenido de carbonato de cálcico; entre las características de estos tipos de suelos, esta su falta de cohesión, tienen muy poca, y erosionan fácilmente.

Si el color del suelo fuera negro, se indicara como un suelo con contenido orgánico y se puede decidir que existe alguna elasticidad, generalmente se asocia con un mal olor característico.

Si el suelo presenta un aspecto moteado, puede indicar condiciones de mal drenaje; el concepto de moteada encierra manchas, rayas o borrones de uno o más colores en una masa de suelo que posee un color predominante.

- Color y humedad: la cantidad de agua que posee un suelo, hace variar de un color, de ahí que corrientemente se observa el color de un suelo en su estado húmedo natural, pero al secarse o mojarse más, su color cambia, a veces radicalmente, se debe tomar nota de estas variaciones registrando el color característico según humedad.

En diagramas o dibujos el color será usado también para distinguir suelos diferentes y determinar los límites que abarcan los varios tipos de suelos, en áreas de estudio para un proyecto de carreteras.

3.9.2. Propiedades mecánicas

El suelo tiene un diverso conjunto de propiedades mecánicas. El estudio empírico y teórico de la mecánica de los suelos ha progresado hasta el punto donde hay que analizar el suelo y considerar sus cambios en general, ahora se tiene que considerar una amplia variedad de propiedades mecánicas cuando el diseño de estructuras involucran grandes cantidades de tierra.

- Resistencia al corte: la resistencia al corte se refiere al nivel de fuerzas cortantes que un material puede resistir sin fracturarse. Las fuerzas cortantes son fuerzas que se aplican tangencialmente a lo largo de una cara del suelo.
- Presión lateral del suelo: la presión que ejerce la tierra horizontalmente. Si tienes una masa cúbica de tierra en un recipiente cúbico, entonces la presión lateral del suelo es la presión ejercida sobre las paredes del recipiente.
- Consolidación: la consolidación es el proceso mediante el cual el volumen del suelo disminuye bajo la aplicación de una carga. La consolidación es causada por las cargas que se aplican al suelo y los granos de suelo que son empacados juntos más estrechamente como resultado.
- Capacidad de carga: la capacidad de carga es la capacidad de la tierra en torno a una estructura para soportar las cargas aplicadas.

- Permeabilidad y filtración: la permeabilidad se refiere a la facilidad con la cual el fluido puede fluir a través de los poros en el suelo. La filtración se refiere a la tasa a la cual el fluido se mueve a través de una masa de tierra.

3.9.3. Propiedades químicas

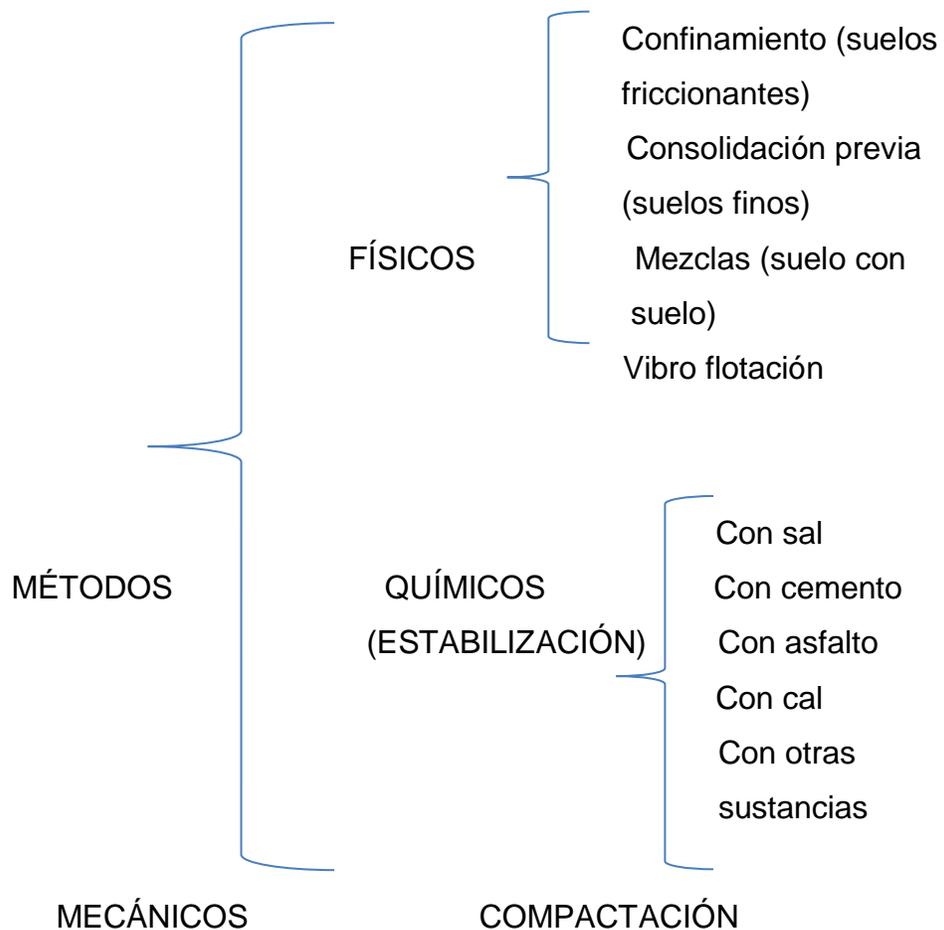
Los espacios que quedan entre las partículas de un suelo, se denominan vacíos, huecos, poros, o intersticios, estos suelen estar ocupados por aire o por agua (con o sin materiales disueltos), así pues el suelo es un sistema formado por una fase mineral, denominada esqueleto mineral, más una fase fluida o fluido intersticial.

Dicho fluido influye al deslizamiento entre dos partículas, según la naturaleza química de los minerales que formen las partículas del suelo.

En partículas muy pequeñas al aplicar una carga se juntan las partículas por la disminución de la fase intersticial, encontrando una nueva causa que influye en la deformación total y a esta interacción entre fases, se le denomina interacción química.

3.10. Diagrama para mejoramiento de los suelos

El mejoramiento de suelos, es una solución eficiente para soportar estructuras y controlar deformaciones. Para ello se requiere un seguimiento integral del proyecto geotécnico. Iniciando por una correcta caracterización de las propiedades del suelo, una selección adecuada de la técnica y un seguimiento durante la ejecución.



Fuente: elaboración propia

4. ELABORACIÓN DE ESQUEMAS A SEGUIR PARA LOCALIZAR, UBICAR Y PROCEDIMIENTOS DE MEZCLA DEL MATERIAL EN ESTUDIO

4.1. Generalidades de la metodología y plan de trabajo

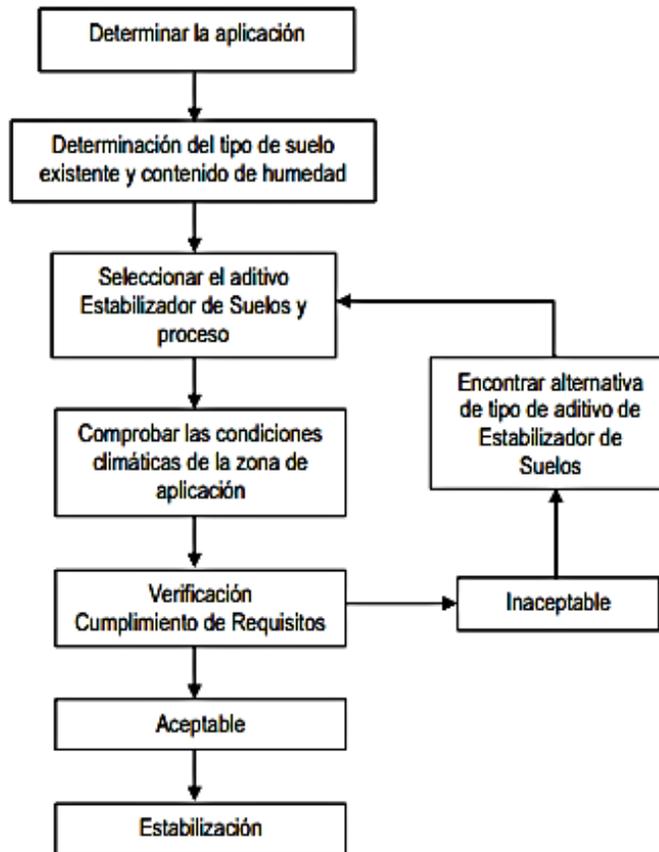
El método general consistió en la participación activa en aquellas tareas de extracción y obtención de muestras, realización de ensayos sobre las mismas e interpretación de los valores y resultados obtenidos, encuadrado en un marco teórico. Se dio especial atención a los resultados obtenidos de la extracción de muestras de bancos explotados y que de acuerdo a los resultados obtenidos motivo la propuesta de metodología para estabilización de suelos, en tramos carreteros a través de la composición de distintos tipos de suelos, cumpliendo con las especificaciones generales de carreteras y puentes 2001.

El método de trabajo establecido para la recopilación, clasificación, interpretación y análisis de los bancos de materiales encontrados en el tramo Chimaltenango- Tecpán CA-01 del kilómetro 75+000 al 85+000, para luego pasar a las prácticas de Laboratorio correspondientes, realizándose diferentes tipos de ensayo conforme a la normativa de Normas AASTHO y ASTM correspondientes, fue de acuerdo a tareas de gabinete y de campo.

4.1.1. Metodología para la estabilización de suelos

Consiste en obtener 3 muestras de suelo, 2 muestras de distintos tipos, realizar ensayos a cada muestra, luego otra muestra con los 2 diferentes tipos de suelos mezclados y realizar ensayos de suelos necesarios para verificar si sus propiedades mejoran.

Tabla X. Proceso de selección del tipo de estabilización



Fuente: Federal Highway Administration (FHWA).

4.2. Metodología de actividades

Es una serie de pasos a seguir, entre los cuales se debe realizar sin omitir ni un paso, ya que esta metodología hará que el proyecto de selección del banco de material sea el óptimo.

- Observación de fotografías aéreas
- Visita a campo
- Extracción de muestras
- Localización de los bancos de material
- Derecho de vía
- Transporte y traslado de material

4.2.1. Fotografía aérea

La fotografía aérea actualmente utilizada entre los ingenieros y topógrafos dedicados a proyectos. La información ofrecida por las imágenes aéreas, combinada con los sistemas GIS (Sistema de Información Geográfica) entre otros, se emplea en funciones de análisis, planificación estratégica y de evaluación en los procesos urbanísticos y de ingeniería.

La fotografía aérea se utilizó en el proyecto en mención, lo cual permite realizar los siguientes trabajos:

- Levantar mapas con fines de ubicación y localización de bancos más próximos, lo cual permitió obtener información para llevar a cabo el proyecto.

- Calcular los costos de construcción, planificación estratégica e impacto ambiental que pudieran ser ocasionados por la explotación de bancos, o el transporte de estos, lo cual permite localizar rutas alternas en casos de cualquier emergencia o cambio de planes.
- Clasificar el uso del suelo para tener un mejor control de los tipos de suelos en los bancos de materiales y las distancias a las cuales se encuentra del tramo, esto servirá para saber el costo de acarreo.

Identificar los grupos de población aledaños y que están en riesgo, esto para actuar con prontitud y eficacia limitando y evitando los peligros inherentes a las fases del desarrollo del tramo en construcción.

4.2.2. Visita a campo

Esta se llevó a cabo con el fin de observar la situación actual del lugar, para así recolectar material y realizar los ensayos visual al banco de material, recolección del banco de material de préstamo y de cantera, y ya con estos datos y localización de los bancos de materiales poder obtener los costos más específicos y evitar cualquier inconveniente que no se haya tomado en cuenta a la hora de hacer el levantamiento de los mapas de ubicación y localización con la fotografía aérea.

Los bancos utilizados para el tramo en estudio fueron: banco de Las Cabras ubicado en el estacionamiento 80+300 situado a lado (izquierdo) de la línea de tránsito, banco de material selecto o de préstamo ubicado en el estacionamiento 85+500 situado a lado (derecho) de la línea de tránsito.

El banco de cantera Las Llanuras ubicado en el estacionamiento 85+000 carretera principal más 2 kilómetros sobre camino vecinal hacia Godínez, el campamento se encuentra ubicado en el kilómetro 89, a una distancia de 8 kilómetros 700 metros.

El banco de préstamo estaba ubicado a un costado de la carretera lado izquierdo, y el de cantera a una distancia de 30 kilómetros. Estos datos son un factor importante en el estudio ya que esto también determina el valor de la obra.

4.2.3. Localización de los bancos de material

Localizar un banco es más que descubrir un lugar en donde exista un volumen alcanzable y explotable de suelos o rocas que pueden emplearse en la construcción de una determinada parte de una vía terrestre, satisfaciendo las especificaciones de calidad establecidas en Guatemala.

Cuando se seleccionan bancos de material para la construcción de una estructura de pavimento, es necesario conocer la clase o clases de suelo existentes en dichos bancos, así como también si el material puede ser excavable, removible y utilizable.

Para el análisis de un banco de materiales se tiene que contemplar distintas características del material y distancia en la que se encuentra con respecto al proyecto listado de bancos que presentaban características de tener material de buena calidad, así como también los posibles proyectos de infraestructura vial en los cuales es necesario la ubicación de bancos para determinar el costo de acarreo y desde luego si el material es de alta calidad cumpliendo con las normas técnicas establecidas.

4.2.4. Extracción de muestras

La extracción de muestras para los ensayos debe realizarse bajo la supervisión de un laboratorista especializado en suelos (o un geólogo) que se encuentre familiarizado con los temas necesarios para la toma de muestra de agregados para la estructura del pavimento, cumpliendo con las especificaciones generales de carreteras y puentes edición 2001.

La localización exacta de donde fue tomada la muestra, la geología del sitio y debe recolectarse otros datos pertinentes con la muestra. La cantidad del material recolectado para sus diferentes ensayos, se encuentra en función de la naturaleza del examen y la calidad del material a evaluar en la muestra.

4.2.5. Derecho de vía

Es el área de terreno que el estado suministra para ser usada en la construcción de la carretera, sus estructuras, trabajos complementarios y futuras ampliaciones.

En este tramo carretero ampliación de la carretera a 4 carriles Chimaltenango – Tecpán se compraron los derechos de vía ya que se realizó una ampliación y en el pasado no se tenía contemplada la ampliación, entonces fue necesaria la compra de los terrenos, el derecho de vía en el tramo es de 25 metros.

El costo del derecho de vía debe ser tomado en cuenta en el proyecto de una carretera; el costo estará determinado por la clase de terreno que atraviesa la carretera; es un asunto de orden legal y se rige por las leyes de cada país. En la determinación del ancho del derecho de vía; este estará determinado por las exigencias de cada caso en particular. Se deberá prever las condiciones futuras de aumento y tránsito, y aumento de la sección típica, así como las construcciones de zonas de estacionamiento, construcción de banquetas, áreas verdes.

El derecho de vía no tiene que ser constante a todo lo largo de la carretera. Este ancho variará cuando los cortes y rellenos sean muy altos, necesitándose terreno adicional para que los taludes queden dentro del derecho de vía.

4.2.6. Transporte y traslado de material

Este se determina con respecto a la distancia que se encuentren los bancos de materiales del tramo carretero y del campamento de trituración. Los bancos de materiales son y se encuentran en:

- Banco las Cabras: kilómetro 85+500 es un banco de préstamo, de material selecto está a la orilla de la carretera.
- Banco las Llanuras: kilómetro 89+000 este es banco de cantera, y se encuentra ubicado a 28 kilómetros del campamento, donde se tritura, se lava y se le hacen los ensayos necesarios al agregado grueso.

El campamento se encuentra en el kilómetro 117+000.

La distancia entre el banco las trampas al campamento que sería el único costo adicional en el tramo carretero y es una distancia de 28 kilómetros de acarreo.

4.3. Propiedades de los suelos y su determinación

Los ensayos que definen las principales propiedades de los suelos en carreteras son: análisis granulométrico, límites de Atterberg, equivalente de arena, proctor estándar, proctor modificado y determinación de la capacidad portante mediante el índice de CBR.

4.4. Ensayos de laboratorio

Es primordial conocer las características físicas, mecánicas y químicas de los materiales que se utiliza en el tramo carretero, tanto agregado fino como las del agregado grueso, y para conocer dichas características se realizaran visitas a campo y los ensayos de laboratorio pertinentes regidos por las Normas AASHTO.

Ya con estos datos se puede realizar un diseño de mezcla óptimo, para la estructura del pavimento y que este diseño cumpla con las Especificaciones Generales de Carreteras y Puentes 2001, de la DGC.

En tanto es necesario realizar una metodología o plan de trabajo para realizar este trabajo de investigación por lo que se acordó realizar ensayos de laboratorio necesarios.

4.5. Ensayos para subbases y bases

Según las especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes 2001, se deben realizar los siguientes ensayos para bases y subbases, cumpliendo con ciertos parámetros cada ensayo.

- Límites de Atterberg
- Granulometría
- Equivalente de arena
- Proctor
- Valor soporte del suelo o CBR

4.5.1. Ensayo CBR (California Bearing Ratio) AASHTO T-193

La finalidad de este ensayo, es determinar la capacidad de soporte (CBR) de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. Es un método desarrollado por la división de carreteras del Estado de California (EE.UU.) y adoptado en Guatemala por la Dirección General de Caminos y sirve para evaluar la calidad relativa del suelo para subrasante, subbase y base de pavimentos.

El ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un porcentaje de la relación de soporte.

El porcentaje CBR (o simplemente CBR), está definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre a una profundidad determinada, una muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad, una probeta con una muestra estándar de material triturado. La expresión que define al CBR es la siguiente:

$$\text{CBR} = \frac{\text{CARGA UNITARIA DEL ENSAYO}}{\text{CARGA UNITARIA PATRON}} * 100 (\%)$$

Los valores de carga unitaria que se utilizan en la ecuación son:

Tabla XI. **Valores de carga unitaria**

Penetración		Carga unitaria patrón		Carga estándar
mm	plg	MPa	lb/plg ²	lb
2.5	0.10	6.9	1,000	3,000
5.0	0.20	10.3	1,500	4,500
7.5	0.30	13.0	1,900	5,700
10.0	0.40	16.0	2,300	6,100
12.7	0.50	18.0	2,600	7,800

Fuente: Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil, p. 15

En general se confeccionan 3 probetas como mínimo, las que poseen distintas energías de compactación (lo usual es con 56, 25 y 10 golpes). El suelo al cual se aplica el ensayo, debe contener una pequeña cantidad de material que pase por el tamiz de 50 milímetros y quede retenido en el tamiz de 20 milímetros. Se recomienda que esta fracción no exceda del 20 por ciento.

Tabla XII. **Clasificación de los suelos según su CBR**

No. <i>CBR</i>	Clasificación General	Usos	Sistema de Clasificación	
			Unificado	<i>AASHTO</i>
0-3	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3-7	Pobre a Regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7-20	Regular	Sub-base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20-50	Bueno	Base, sub-base	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6
>50	Excelente	Base	GW, GM	A1a, A2-4, A3

Fuente: Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil. p. 26

El número CBR es un índice del valor o capacidad soporte de un suelo. Un CBR de dos o tres por ciento indicará que el material tiene una capacidad soporte muy baja; otro CBR de 60 o 70 por ciento mostrará un material de buena resistencia, apto para capa de base de pavimentos.

En resumen, el CBR significa la relación entre la resistencia a la penetración de un suelo y su capacidad soporte como base de sustentación para pavimentos flexibles.

4.5.2. Equivalente de arena AASHTO T- 176

Este ensayo se efectúa con el fin de conocer el porcentaje relativo de finos-plásticos que contienen los suelos y los agregados pétreos; es un método rápido que se puede hacer tanto en el campo como en el laboratorio. Se lleva a cabo, principalmente, cuando se trata de materiales que se usarán para base, subbase, o sea en bancos de préstamo.

Los porcentajes aceptables de equivalente de arena, según el Instituto del Asfalto son: para bases de 30 por ciento como mínimo y para subbases de 25 por ciento como mínimo. Si el equivalente de arena resulta un valor inferior al especificado, efectúense dos pruebas adicionales y tómesese el promedio de los tres como el equivalente de arena del material. De preferencia deberá usarse un agitador mecánico, especialmente para disminuir el factor humano en la prueba.

El mejor resultado de contenido de humedad, es aquel que se obtiene al secar la totalidad del suelo excavado del agujero en el terreno. La excavación debe hacerse tan rápido como sea posible para mantener el contenido de humedad natural del suelo que está guardándose en la tara con cierre hermético. La tara debe sellarse tan pronto como se termine de hacer la excavación.

Cuando se utilice este método es importante evitar cualquier vibración en el área circundante o en el recipiente donde se encuentra la arena, ya que esto puede introducir exceso de arena en el agujero y por consiguiente incrementar el volumen del agujero. El éxito de la compactación en construcción de carreteras, dependerá de la buena ejecución de las siguientes operaciones:

- Compactación adecuada del material, por capas delgadas, mediante equipo apropiado.
- Determinación correcta de la densidad máxima y humedad óptima del material (Proctor).
- Control de cada capa, obteniendo la densidad alcanzada en el terreno por medio de repetidas pruebas de laboratorio *in situ*, a fin de comprobar si el material fue debidamente compactado.

Con el fin de conocer con exactitud el peso unitario de la arena, se efectúa con regularidad la llamada calibración de la arena, pues si no se realiza pueden obtener resultados erróneos.

4.5.3. Granulometría AASHTO T-11 y T-27

La variedad en el tamaño de las partículas del suelo, casi es ilimitada; por definición, los granos de mayor tamaño son los que se pueden mover con gran facilidad, mientras que los más finos son tan pequeños que no se puede apreciar con un microscopio corriente. Las partículas producidas por la meteorización mecánica rara vez son de diámetro inferior a 0,001 milímetros y generalmente, son mucho mayores.

Para clasificar por tamaño de partículas gruesas, el procedimiento más expedito es el del tamizado. Sin embargo, al aumentar la finura de las partículas, el tamizado se hace cada vez más difícil teniéndose entonces que recurrir al procedimiento de sedimentación.

La información obtenida del análisis granulométrico puede en ocasiones utilizarse para predecir movimientos del agua a través del suelo, aun cuando los ensayos de permeabilidad se utilizan más comúnmente.

El análisis granulométrico es un intento de determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en una masa de suelo dada.

Obviamente para obtener un resultado satisfactorio la muestra debe ser estadísticamente representativa de la masa de suelo.

Para lograr esto se obtiene la cantidad de material que pasa a través de un tamiz con una malla dada pero que es retenido en un siguiente tamiz, cuya malla tiene diámetros ligeramente menores a la del anterior. Es evidente que el material retenido de esta forma en cualquier tamiz consiste en partículas de muchos tamaños, los cuáles son menores al tamaño de la malla anterior a la que pasó.

Los bastidores de los tamices son de bronce centrifugado o de acero inoxidable con bordes laminados, fondos extendidos para que se adapten a todos los armazones, recipientes o fondos separadores del mismo diámetro.

Esto permite que se puedan apilar. Los tamices de bronce son más económicos; los tamices de acero inoxidable son de más larga duración, con una malla resistente al pandeo.

El número del tamiz, los micrones, la apertura nominal en milímetros y pulgadas están escritos en una placa de metal permanente pegada en cada tamiz. Todos los tamices cumplen con la Norma ASTM E11; AASHTO M92.

A partir de la curva de distribución granulométrica, se pueden obtener diámetros característicos como el D10, D85, D60. La letra D se refiere al tamaño del grano o diámetro aparente, de la partícula de suelo y el subíndice (10, 85, 60) denota el porcentaje de material más fino.

Por ejemplo, D10 = 0,15 milímetros, significa que el 10 % de los granos de la muestra son menores en diámetro que 0,15 milímetros; el diámetro D10 es llamado tamaño efectivo de un suelo. Una indicación de la variación o rango del tamaño de los granos presentes en la muestra se obtiene mediante el Coeficiente de uniformidad Cu, definido como:

$$\frac{D60}{D10} = Cu$$

Un valor grande de este parámetro, indica que los diámetros D60 y D10, difieren en tamaño apreciablemente.

No asegura sin embargo, que no exista un vacío de gradación, como el que se presenta cuando faltan por completo o solamente existe una muy pequeña cantidad de diámetros de un determinado tamaño.

El Coeficiente de curvatura Cc, es una medida de la forma de la curva entre el D60 y el D10, y se define de la siguiente forma:

$$Cc = \frac{(D30)^2}{D60 * D10}$$

Valores de Cc muy diferentes de uno indican que falta una serie de diámetros entre los tamaños correspondientes al D60 y el D10.

Los diámetros correspondientes al D15 y al D85 pueden utilizarse para determinar la capacidad del suelo para ser utilizado en diseño de filtros para una presa o para recubrir los agujeros de tubería perforada como sistema de sub-drenaje dentro de un suelo.

Un material bien gradado debe cumplir la condición de que el Coeficiente de uniformidad (C_u) sea mayor de cuatro para gravas y mayor de seis para arenas y que el Coeficiente de curvatura (C_c) esté comprendido entre uno y tres.

Cuando el Coeficiente de uniformidad C_u es menor que los intervalos indicados, ello significa que el material no es gradado sino prácticamente uniforme en el diámetro de sus partículas.

Únicamente en los suelos gruesos cuya composición granulométrica puede ser determinada por medio de mallas, puede la distribución de tamaños indicar relativamente las propiedades físicas del material; así por ejemplo, los suelos bien gradados tienen mejor comportamiento ingenieril que aquellos de granulometría uniforme.

Sin embargo, en los suelos finos sus propiedades tanto mecánicas como hidráulicas dependen de su estructura, plasticidad e historia geológica. Esto hace que la determinación de la granulometría de dichos suelos no conduzca a obtener, por sí sola, datos muy útiles sobre ellos.

Los límites granulométricos expresados mediante el porcentaje que pasa cada malla, tienen la desventaja de que si se permiten tolerancias amplias en dichos porcentajes es muy posible que falten totalmente algunas de las fracciones.

Por lo anterior, es conveniente especificar, además del porcentaje que pasa cada malla, el mínimo que debe quedar retenido entre cada par de mallas sucesivas.

4.5.4. Límites de Atterberg AASHTO T-89 y T-90

La plasticidad de los suelos como una propiedad geomecánica por la cual este tiene capacidad para resistir deformaciones rápidas sin recuperación del estado original y sin presentar agrietamientos visibles.

Se puede definir cuatro estados de plasticidad en función de la disminución del contenido de humedad presente en una masa de suelo: viscoso, plástico, semisólido y sólido. En el primero, el suelo se comporta como un líquido espeso, en el segundo la masa de suelo se deforma plásticamente sin agrietarse, cuando la masa se encuentra semisólida presenta resistencia al cambio de forma con poca presencia de agua y finalmente el sólido, en el cual el suelo no sufre retracción aunque continúe el secado.

Los límites, denominados de Atterberg, son aquellos que definen los límites: líquido, plástico y de retracción, diferenciados entre ellos por su contenido de humedad.

- Límite Líquido LL: frontera entre el estado viscoso y el plástico. Es el contenido de humedad que se obtiene en una muestra cuando al incorporarle energía cinética a través de 25 golpes, junta en una cierta longitud, los bordes de un surco que se ha practicado en la masa.

- Límite Plástico LP: frontera entre el estado plástico y semisólido. Es el contenido de humedad que se obtiene de una muestra cuando al conformar por rolado cilindro de pequeño diámetro (3 milímetros) se fragmenta pequeños trozos o desmorona.
- Límite de Retracción LR: frontera entre el estado semisólido y sólido. Es el contenido de humedad cuando una muestra detiene el proceso de retracción aunque continúe el secado, es decir se ha alcanzado al volumen mínimo de vacíos.

La determinación de estos límites permite evaluar el rango de humedades donde el suelo tiene un comportamiento plástico e identificarlo. Los límites más usados en ingeniería corresponden al límite líquido LL y el límite plástico LP de los cuales se puede obtener el índice de plasticidad IP:

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP: índice de plasticidad

LL: límite líquido

LP: límite plástico

Tabla XIII. **Cantidad de humedad creciente en suelos secos**

Sólido	Semisólido	Plástico	Semilíquido	Líquido
LC	LP	LL		

Fuente: Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil. p. 1

- Determinación del límite líquido (LL) AASHTO T-89

El límite líquido está definido, como el contenido de humedad en el cual una masa de suelo se encuentra entre el estado plástico para pasar al estado líquido o semilíquido, en donde el suelo toma las propiedades y apariencias de una suspensión.

Puesto que no existe una separación muy clara entre los estados de consistencia semilíquido, plástico y semisólido, se ha ideado el procedimiento estándar para la determinación de éste límite; el cual se denomina método mecánico el que ideó Casagrande y también denominado copa de Casagrande.

Con este fenómeno establecido, se vuelve relativamente sencillo establecer el contenido de humedad en el límite líquido de una forma indirecta.

Como el gráfico semilogarítmico de contenido de humedad contra logaritmo del número de golpes es una línea recta, la ecuación de esta línea se puede representar en la forma general:

$$W = -F_i \log(N) \pm C$$

Hacer el desarrollo de la ecuación conlleva tiempo y un gran número de ensayos de límite líquido, el límite líquido puede establecerse a partir de un sólo ensayo utilizando la siguiente ecuación:

$$W_L = W_N \left(\frac{N}{25} \right)^{\tan \beta}$$

Donde:

WN: contenido de humedad al número de golpes N obtenido en el ensayo.

B: pendiente de la recta en el gráfico semilogarítmico W versus Log N.

Tanβ: 0,121 resultó ser una buena aproximación, de donde se puede expresar la ecuación como:

$$W_L = W_N \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

El valor de 0,121 no es para todos los suelos; sin embargo se puede generalmente, obtener buenos resultados a partir de la expresión anterior, si el contenido de humedad WN utilizado en la fórmula se determina para un número N de golpes entre 20 y 30. En la práctica resulta complicado realizar el cálculo para obtener el valor del límite líquido con la ecuación anterior; por lo que se ha denotado a la constante K como:

$$K = \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

Tabla XIV. **Valores de K para diferentes números de golpes**

N	K	N	K
15	0.9401	26	1.0048
16	0.9474	27	1.0094
17	0.9544	28	1.0138
18	0.9610	29	1.0181
19	0.9673	30	1.0223
20	0.9734	31	1.0264
21	0.9791	32	1.0303
22	0.9847	33	1.0342
23	0.9900	34	1.0379
24	0.9951	35	1.0416
25	1.0000	36	1.0451

Fuente: Manual de laboratorio de ingeniería civil. p. 3

4.5.5. Proctor o compactación AASHTO T-180 y T-191

Se entiende por compactación todo proceso que aumente el peso volumétrico de un material granular. En general, es conveniente compactar un suelo para:

- Aumentar la resistencia al corte y por consiguiente, mejorar la estabilidad y la capacidad de carga de cimentaciones y pavimentos.
- Disminuir la compresibilidad y así reducir los asentamientos.
- Disminuir la relación de vacíos y por consiguiente, reducir la permeabilidad.
- Reducir el potencial de expansión, contracción o expansión por congelamiento.

El acomodo de las partículas, en un suelo que se ha tratado de mejorar, no sólo depende de las características del dispositivo que se usó para compactar, sino fundamentalmente de la humedad que tenía en ese momento el material.

Si las partículas están secas, la fricción inter-granular opone una resistencia mayor al desplazamiento relativo de ellas, que si se encuentra lubricadas por una película de agua; por el contrario, si la masa tiene una humedad elevada, el agua llena los vacíos que podrían ser ocupados por partículas en un arreglo más denso.

Esto es cierto en suelos que tiene alto porcentaje de finos y no en las arenas gruesas y gravas. Por lo tanto, existe un contenido de agua con el que se obtiene el máximo peso volumétrico.

Para medir el grado de compactación de un material o un relleno se debe establecer la densidad seca del material.

En la obtención de la densidad seca se debe tener en cuenta los parámetros de la energía utilizada durante la compactación y también depende del contenido de humedad durante el mismo.

Para obtener una buena compactación será necesario controlar debidamente la cantidad de agua, debido a que si ésta es muy poca, no existirá lubricación y no se podrá disminuir la fricción existente entre las partículas; en caso de que el agua sea en exceso, las partículas podrán ser separadas por el agua.

La situación anterior, demuestra que es necesario determinar la cantidad de agua en la cual se obtenga una excelente lubricación que permita la mayor densidad posible llamada densidad máxima o peso unitario seco máximo; y a la cantidad de agua necesaria para obtener dicha densidad recibe el nombre de humedad óptima.

Se puede decir que la densidad seca de un suelo, producida por la compactación, depende del porcentaje de humedad que contenga y de la intensidad de la fuerza compactiva que se le aplique.

La compactación de un suelo se mide y se verifica por la densidad seca del suelo, esto es, el peso de las partículas sólidas por unidad de volumen, las unidades de la densidad son: kilogramos por metro cúbico o libras por pie cúbico.

La comparación de la densidad seca actual, con la densidad seca máxima resulta el porcentaje de compactación. La máxima densidad seca para una masa de suelo se puede alcanzar, mediante los ensayos de laboratorio o en obra por medio de la compactación, depende, sobre todo, del tipo de suelo y varía desde un valor de 65 libra por pie cúbico en una arena pómez a unas 95 libra por pie cubico para una arcilla pesada. La humedad óptima varía desde un cuatro por ciento para suelos de grano grueso, hasta un 35 porciento para las arcillas pesadas.

Compactando un suelo a diferentes contenidos de humedad, se pueden llevar los valores obtenidos a un gráfico, en el cual las ordenadas representan los diferentes valores de las densidades secas expresadas en kilogramos por metro cúbico o libras por pie cúbico y en las abscisas los porcentajes de humedad.

La curva resultante se denomina curva de compactación y tiene una rama ascendente, llega a un punto máximo para después decrecer, la parte alta es el punto para el cual corresponde la densidad seca máxima o peso unitario seco máximo y el porcentaje de humedad respectiva será porcentaje de humedad óptima. La curva se asemeja generalmente, a una parábola y también es llamada curva Proctor. En la vida real, la compactación se realiza sobre materiales que serán utilizados para relleno en la construcción de terraplenes, pero también en proyectos destinados al mejoramiento de las propiedades mecánicas del terreno.

4.5.6. Resultados de ensayos banco Las Cabras

El banco Las Cabras se ubica en el estacionamiento 80+000 carretera interamericana CA-01W, en dicho banco predomina la arena, limo y se encuentra gran cantidad de grava.

Figura 15. Límites de Atterberg banco Las Cabras



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



INFORME No. 756 S.S.

O.T.: 32,150

Interesado: Rony Chojolán Duarte

Proyecto: Tesis "Metodología para la estabilización de suelos, en tramos carreteros, a través de la composición de distintos tipos de suelos, cumpliendo con las especificaciones generales de puentes, edición 2001"

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: 5a. Av. "B" 5-70, Zona 21

FECHA: viernes, 11 de octubre de 2013

RESULTADOS:

Banco	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	CLASIFICACION *	DESCRIPCION DEL SUELO
Las Cabras	1	36,0	7,1	ML	Arena Limosa Color Beige Con Presencia de Grava

(*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CI/USAC

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos



FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115. Planta: 2418-8000 Fxits: 86209 v 86221 Fax: 2418-9121

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. USAC.

Figura 16. Análisis granulométrico banco Las Cabras



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



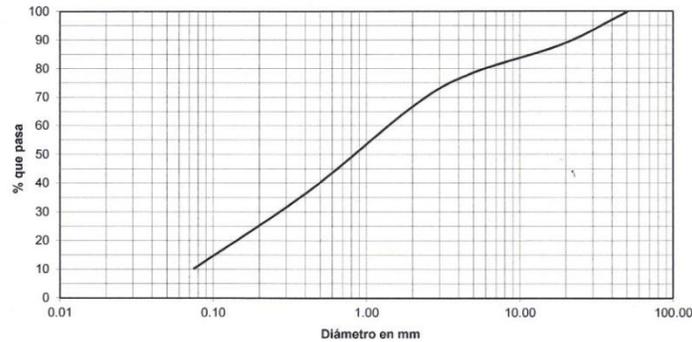
INFORME No. 757 S.S. O.T. No. 32,150

Interesado: Rony Chojolan Duarte
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y con lavado previo.
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11
 Proyecto: Trabajo de Tesis "Metodología para estabilización de suelos, tramos carreteros a través de la composición de distintos tipos de suelos, cumpliendo con las especificaciones generales de puentes, edición 2001"
 Ubicación: 5a. Av. "B" 5-70 Zona 21
 Fecha: viernes, 11 de octubre de 2013

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.80	100.00
3/4"	19	88.60
4	4.75	78.20
10	2	66.70
40	0.425	37.40
200	0.075	10.30

% de Grava: 21.80
 % de Arena: 67.90
 % de finos: 10.30

Banco: Las Cabras



Descripción del suelo: Arena Limosa Color Beige Con Presencia de Grava
 Clasificación: S.C.U.: SP-SM P.R.A.: A-2-4

Atentamente,
 Vo. Bo. Inga. Telma Maricela Cano Morales Directora CI/USAC
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez Jefe Sección Mecánica de Suelos

FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. USAC.

Figura 17. **Equivalente de arena banco Las Cabras**



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



INFORME No.: 758 S.S.

O.T. No.: 32,150

EQUIVALENTE DE ARENA

Interesado: Rony Chojolán Duarte

PROYECTO: Tesis "Metodología para la estabilización de suelos, en tramos carreteros, a través de la composición de distintos tipos de suelos, cumpliendo con las especificaciones generales de puentes, edición 2001"

UBICACIÓN: 5a. Av. "B" 5-70, Zona 21

FECHA: viernes, 11 de octubre de 2013

DESCRIPCION: Arena Limosa Color Beige Con Presencia de Grava

MUEST. TOMADA: Banco Las Cabras

NORMA: AASHTO T-176

Lectura Arena	Lectura Arcilla	Lectura Arena	Lectura Arcilla
2.7	6.4	2.7	6.5
42.2		41.5	
E.A.			
42			

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Mariela Cano Morales
 DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
 JEFE SECCION MECANICA DE SUELOS



FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. USAC.

Figura 18. **Ensayo de compactación banco Las Cabras**



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



INFORME No. 759 S.S. O.T. No.: 32,150

Interesado: Rony Chojolán Duarte Proctor Estándar: () Norma:
 Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN. Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-180
 Proyecto: Tesis "Metodología para la estabilización de suelos, en tramos carreteros, a través de la
 composición de distintos tipos de suelos, cumpliendo con las especificaciones
 generales de puentes, edición 2001"
 Ubicación: 5a. Av. "B" 5-70 Zona 21
 Fecha: viernes, 11 de octubre de 2013



Descripción del suelo: Arena Limosa Color Beige Con Presencia de Grava
 Densidad seca máxima γ_d : 1,505.88 Kg/m³ 94.00 lb/pe³
 Humedad óptima Hop.: 23.50 %
 Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado. Procedencia Banco Las Cabras.

Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Telma Maricela Cano Morales
 DIRECTORA CII/USAC

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos



FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 2418-9446- Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. USAC.

Figura 19. Valor soporte o CBR banco Las Cabras



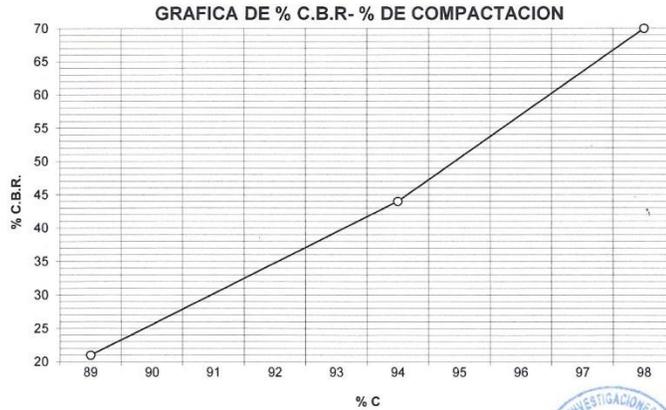
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No.: 760 S.S. O.T. No.: 32,150

Interesado: Rony Chojolán Duarte
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O.T-193
 Proyecto: Tesis "Metodología para la estabilización de suelos, en tramos carreteros, a través de la composición de distintos tipos de suelos, cumpliendo con las especificaciones generales de puentes, edición 2001"
 Ubicación: 5a. Av. "B" 5-70 Zona 21
 Descripción del suelo: Arena Limosa Color Beige Con Presencia de Grava
 Fecha: viernes, 11 de octubre de 2013

PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	γ_d (Lb/pie ³)			
1	10	22.98	83.8	89.10	1.09	21.0
2	30	22.98	88.8	94.50	0.55	44.0
3	65	22.98	92.1	98.00	0.39	70.0



Observaciones: Procedencia Banco Las Cabras.

Atentamente,

Vo. Bo.:
 Inga. Telma Maricela Cano Morales
 DIRECTORA CII/USAC

Ing. Omar Enrique Medrano Mendez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
 Edificio I-4, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. USAC.

4.5.6.1. Análisis de resultados banco Las Cabras

El análisis de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas al material en su estado natural del banco Las Cabras.

En los límites de Atterberg se observa que no cumple, ya que el índice de plasticidad no debe ser mayor que 6 y en los resultados se obtiene que es 7,65, esto indica que el suelo plástico y tenga una expansión considerable y este afectara en un determinado tiempo la estructura del pavimento. Es debido a esto que se debe analizar el material y hacer un diseño de mezcla para que así todos los ensayos cumplan con las especificaciones de la DGC para lo cual se le agregara un material de préstamo de otro banco de materiales en este caso será el banco Las Llanuras.

El ensayo de granulometría indica que es una arena limosa color beige con presencia de grava, y según se observan los resultados con respecto a la tabla V, se observa que según Normas AASHTO es un suelo A-2-4 y este suelo se clasifica para la estructura del pavimento observando la tabla XII, como un suelo que es excelente para base.

Según ensayo de equivalente de arena tiene que ser menor de 30 según Norma AASHTO T - 176 y en el ensayo realizado se tiene un equivalente de arena = 42, con lo cual refiere que su contenido de arena, arcilla y grava está dentro de lo permisible para una buena base y subbase.

El proctor o porcentaje de humedad es de 23,5 por ciento para una muestra de 1 500 kilogramos metro cúbico el cual si cumple con las especificaciones para subbases.

El CBR norma AASHTO T-193 muestra que en un 98 por ciento de compactación tiene un 70 por ciento de CBR y según con lo establecido en las especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes 2001, el cual indica que para una subbase común tiene que tener un CBR mínimo de 30 por ciento para subbases granulares, efectuado sobre una muestra saturada a 98 por ciento de compactación Norma AASHTO T-180, y en el ensayo indica que el suelo si cumple con las especificaciones.

4.5.7. Resultados de ensayos del banco de material Las Llanuras

El banco de materiales Las Llanuras, se utiliza como banco de préstamo, es arena limosa color café rojizo con presencia de grava este está ubicado en el estacionamiento 85+500.

Figura 20. Límites de Atterberg banco Las Llanuras



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



INFORME No. 761 S.S.

O.T.: 32,150

Interesado: Rony Chojolán Duarte

Proyecto: Tesis "Metodología para la estabilización de suelos, en tramos carreteros, a través de la composición de distintos tipos de suelos, cumpliendo con las especificaciones generales de puentes, edición 2001"

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: 5a. Av. "B" 5-70, Zona 21

FECHA: viernes, 11 de octubre de 2013

RESULTADOS:

Banco	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	CLASIFICACION *	DESCRIPCION DEL SUELO
Las Llanuras	2	N.P.	N.P.	ML	Arena Limosa Color Café Rojizo Con Grava

(*) CLASIFICACION SEGUN CARTA DE PLASTICIDAD

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Teima Maripela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. USAC.

Figura 21. **Análisis granulométrico banco Las Llanuras**



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

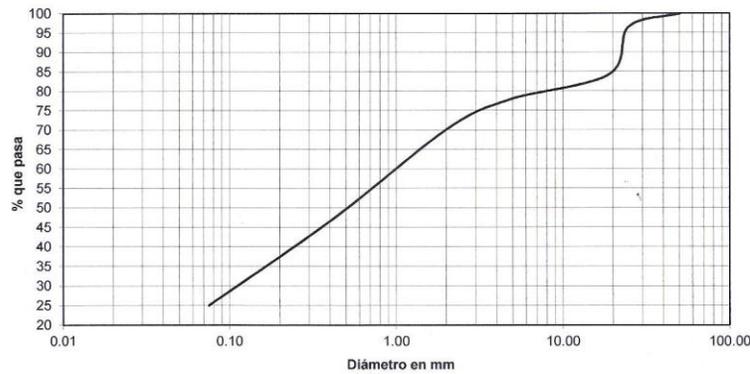


INFORME No. 762 S.S. O.T. No. 32,150
 Interesado: Rony Chojolan Duarte
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y con lavado previo.
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11
 Proyecto: Tesis "Metodología para estabilización de suelos, tramos carreteros a través de la composición de distintos tipos de suelos, cumpliendo con las especificaciones generales de puentes, edición 2001"
 Ubicación: 5a. Av. "B" 5-70 Zona 21
 Fecha: viernes, 11 de octubre de 2013

Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.80	100.00
1"	25.00	96.60
3/4"	19	84.30
4	4.75	77.80
10	2	70.10
40	0.425	47.40
200	0.075	25.00

% de Grava: 22.20
 % de Arena: 52.80
 % de finos: 25.00

Banco: Las Llanuras

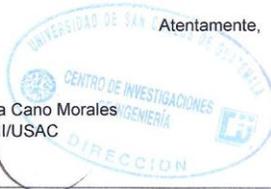


Descripción del suelo: Arena Limosa Color Café Rojizo Con Grava
 Clasificación: S.C.U.: SM P.R.A.: A-1-b

Atentamente,

Vo. Bo.
 Inga. Telma Maricela Cano Morales
 Directora CII/USAC

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos



FACULTAD DE INGENIERIA—USAC—
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. USAC.

Figura 22. **Equivalente de arena banco Las Llanuras**



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



INFORME No.: 763 S.S.

O.T. No.: 32,150

EQUIVALENTE DE ARENA

Interesado: Rony Chojolán Duarte

PROYECTO: Tesis "Metodología para la estabilización de suelos, en tramos carreteros, a través de la composición de distintos tipos de suelos, cumpliendo con las especificaciones generales de puentes, edición 2001"

UBICACIÓN: 5a. Av. "B" 5-70, Zona 21

FECHA: viernes, 11 de octubre de 2013

DESCRIPCION: Arena Limosa Color Café Rojizo Con Grava

MUEST. TOMADA: Banco Las Llanuras

NORMA: AASHTO T-176

Lectura Arena	Lectura Arcilla	Lectura Arena	Lectura Arcilla
3.1	4.8	3.0	4.3
64.6		69.8	
E.A.			
67			

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC

Ing. Omar Enrique Medrano Mendez
JEFE SECCION MECANICA DE SUELOS



FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. USAC.

Figura 23. **Ensayo de compactación banco Las Llanuras**

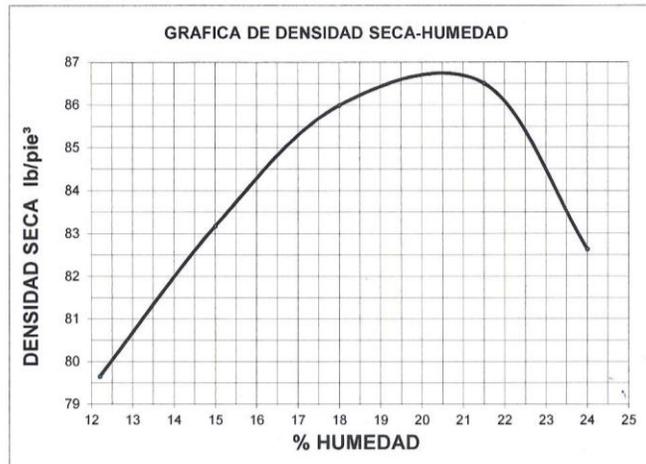


CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. 764 S.S. O.T. No.: 32,150

Interesado: Rony Chojolán Duarte Proctor Estándar: () Norma:
Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN. Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-180
Proyecto: Tesis "Metodología para la estabilización de suelos, en tramos carreteros, a través de la composición de distintos tipos de suelos, cumpliendo con las especificaciones generales de puentes, edición 2001"
Ubicación: 5a. Av. "B" 5-70 Zona 21
Fecha: viernes, 11 de octubre de 2013



Descripción del suelo: Arena Limosa Color Café Rojizo Grava
Densidad seca máxima γ_d : 1,388.93 Kg/m³ 86.70 lb/ft³
Humedad óptima Hop.: 20.50 %
Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado. Procedencia Banco Las Llanuras.

Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Mendez
Jefe Sección Mecánica de Suelos



FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. USAC.

Figura 24. Valor soporte o CBR banco Las Llanuras



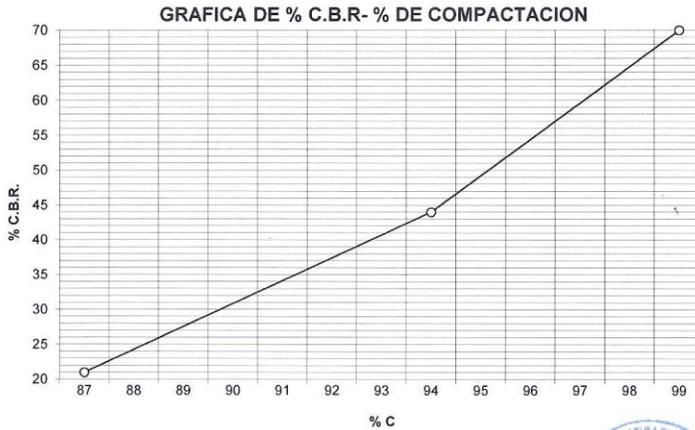
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No.: 765 S.S. O.T. No.: 32,150

Interesado: Rony Chojolán Duarte
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O.T-193
 Proyecto: Tesis "Metodología para la estabilización de suelos, en tramos carreteros, a través de la composición de distintos tipos de suelos, cumpliendo con las especificaciones generales de puentes, edición 2001"
 Ubicación: 5a. Av. "B" 5-70 Zona 21
 Descripción del suelo: Arena Limosa Color Café Rojizo Grava
 Fecha: viernes, 11 de octubre de 2013

PROBETA	GOLPES	A LA COMPACTACION		C	EXPANSION	C.B.R.
No.	No.	H (%)	γ_d (Lb/pie ³)	(%)	(%)	(%)
1	10	19.85	76.0	87.70	-0.13	21.0
2	30	19.85	81.5	94.00	-0.07	44.0
3	65	19.85	86.1	99.30	0.02	70.0



Observaciones: Procedencia Banco Las Llanuras.

Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Telma Maticela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos



FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

5. Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. USAC.

4.5.7.1. Análisis de resultados banco Las Llanuras

Este banco presenta un suelo arena limosa color rojizo con presencia de grava, el cual no presenta límites. El material predominante es una grava bien graduada y según la clasificación AASHTO corresponde al grupo A-1-b.

El ensayo de granulometría del banco las Llanuras según resultados se clasifica como un suelo A-1-b, arena limosa color café rojizo con presencia de grava, y según se observa en la tabla XII, este es un suelo excelente para bases y subbases en tramos carreteros.

El equivalente de arena es alto lo cual indica que es un buen material para subbase y base según Norma AASHTO T – 176 la cual hace referencia a que debe ser ≤ 25 .

El ensayo de compactación indica que para que el suelo llegue a su densidad seca máxima de 86,70 libra por pie cúbico, se necesita un 20,5 por ciento de humedad.

El valor soporte del banco Las Llanuras muestra un valor soporte dentro de los parámetros exigidos por la DGC su mayor porcentaje de CBR es de 70 a un 99 por ciento de compactación, esto indica que el suelo posee un valor soporte considerablemente bueno y por consiguiente se considera de buena calidad.

Debido a que este banco de materiales Las Llanuras no tiene el volumen necesario para abastecer todo el tramo, se hace necesaria la mezcla con otro banco de materiales, el cual se analiza la mezcla del banco de materiales Las Cabras.

4.5.8. Resultados de la composición de los bancos de materiales Las Cabras y Las Llanuras

La composición de 2 distintos tipos de suelos, surge debido a que el banco Las Cabras no cumple con los parámetros especificados en las normas AASHTO ni en las especificaciones generales de carreteras y puentes de la DGC, y el banco las Llanuras si cumple con las especificaciones, pero este, su volumen no es suficiente para cubrir los 28 kilómetros del tramo carretero, es por ello que se espera que la mezcla, de un suelo con mejores características y propiedades.

Figura 25. Ensayo Límites de Atterberg banco Las Cabras y Llanuras



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



INFORME No. 766 S.S.

O.T.: 32,150

Interesado: Rony Chojolán Duarte

Proyecto: Tesis "Metodología para la estabilización de suelos, en tramos carreteros, a través de la composición de distintos tipos de suelos, cumpliendo con las especificaciones generales de puentes, edición 2001"

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: 5a. Av. "B" 5-70, Zona 21

FECHA: viernes, 11 de octubre de 2013

RESULTADOS:

Banco	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	CLASIFICACION *	DESCRIPCION DEL SUELO
Mezcla Banco 1 y 2	3	N.P.	N.P.	ML	Arena Limosa Color Café Rojizo Con Grava

(*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Va. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. USAC.

Figura 26. Análisis granulométrico banco Las Cabras y Llanuras



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



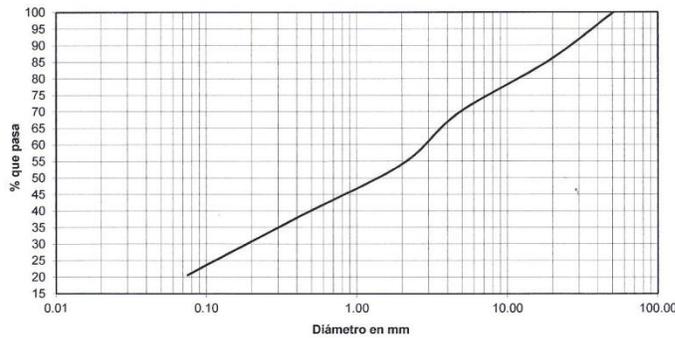
INFORME No. 767 S.S. O.T. No. 32,150

Interesado: Rony Chojolan Duarte
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y con lavado previo.
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11
 Proyecto: Trabajo de Tesis "Metodología para estabilización de suelos, tramos carreteros a través de la composición de distintos tipos de suelos, cumpliendo con las especificaciones generales de puentes, edición 2001"
 Ubicación: 5a. Av. "B" 5-70 Zona 21
 Fecha: viernes, 11 de octubre de 2013

Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.80	100.00
3/4"	19	85.50
4	4.75	69.70
10	2	54.20
40	0.425	38.60
200	0.075	20.60

% de Grava: 30.30
 % de Arena: 49.10
 % de finos: 20.60

Banco: Mezcla Banco 1 y 2



Descripción del suelo: Arena Limosa Color Café Rojizo Con Grava
 Clasificación: S.C.U.: SM P.R.A.: A-1-b

Atentamente,

Vo. Bo.
 Inga. Telma Mancela Cano Morales
 Directora CII/USAC

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos



FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. USAC.

Figura 27. **Equivalente de arena banco Las Cabras y Llanuras**



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



INFORME No.: 768 S.S.

O.T. No.: 32,150

EQUIVALENTE DE ARENA

Interesado: Rony Chojolán Duarte

PROYECTO: Tesis "Metodología para la estabilización de suelos, en tramos carreteros, a través de la composición de distintos tipos de suelos, cumpliendo con las especificaciones generales de puentes, edición 2001"

UBICACIÓN: 5a. Av. "B" 5-70, Zona 21

FECHA: viernes, 11 de octubre de 2013

DESCRIPCION: Arena Limosa Color Café Rojizo Con Grava

MUEST. TOMADA: Mezcla Banco 1 y 2

NORMA: AASHTO T-176

Lectura Arena	Lectura Arcilla	Lectura Arena	Lectura Arcilla
2.7	6.7	2.8	6.7
40.3		41.8	
E.A.			
41			

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC

Ing. Omar Enrique Medrano Mendez
JEFE SECCION MECANICA DE SUELOS



FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. USAC.

Figura 28. **Ensayo de Compactación banco Las Cabras y Llanuras**

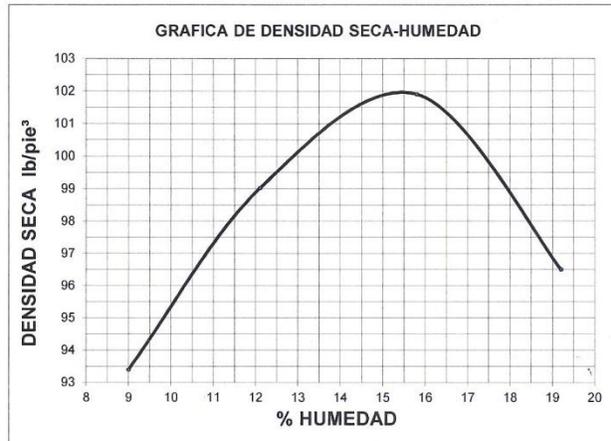


CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. 769 S.S. O.T. No.: 32,150

Interesado: Rony Chojolán Duarte Proctor Estándar: () Norma:
Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN. Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.T.H.O. T-180
Proyecto: Tesis "Metodología para la estabilización de suelos, en tramos carreteros, a través de la composición de distintos tipos de suelos, cumpliendo con las especificaciones generales de puentes, edición 2001"
Ubicación: 5a. Av. "B" 5-70 Zona 21
Fecha: viernes, 11 de octubre de 2013



Descripción del suelo: Arena Limosa Color Café Rojizo con Grava
Densidad seca máxima γ_d : 1,629.23 Kg/m³ 101.70 lb/pie³
Humedad óptima Hop.: 15.50 %
Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado. Procedencia Mezcla Banco 1 y 2

Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos



FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. USAC.

Figura 29. Valor soporte o CBR banco Las Cabras y Llanuras



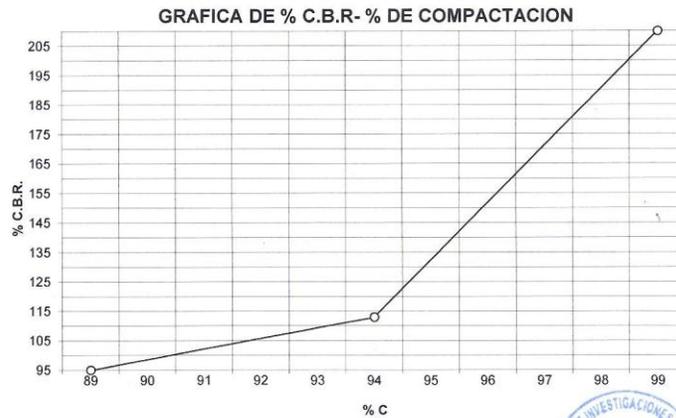
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No.: 770 S.S. O.T. No.: 32,150

Interesado: Rony Chojolán Duarte
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O.T-193
 Proyecto: Tesis "Metodología para la estabilización de suelos, en tramos carreteros, a través de la composición de distintos tipos de suelos, cumpliendo con las especificaciones generales de puentes, edición 2001"
 Ubicación: 5a. Av. "B" 5-70 Zona 21
 Descripción del suelo: Arena Limosa Color Café Rojizo con Grava
 Fecha: viernes, 11 de octubre de 2013

PROBETA	GOLPES	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	γ_d (Lb/pie ³)			
1	10	15.74	90.5	89.00	-0.04	95.0
2	30	15.74	96.1	94.50	0.02	113.0
3	65	15.74	101.3	99.60	0.11	210.0



Observaciones: Procedencia Mezcla Banco 1 y 2.

Atentamente,

Vo. Bo.:

Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos



FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12

Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. USAC.

4.5.8.1. Análisis de resultados de la composición de los bancos de materiales Las Cabras (50 por ciento) y banco Las Llanuras (50 por ciento)

Al realizar la mezcla de los bancos Las Cabras y Llanuras, en el ensayo de límites se observa en los resultados que no presenta límites el cual es un material no plástico y es clasificado como un suelo A-1-b considerado un suelo bueno para bases y subbases en tramos carreteros. Según tabla XII.

El análisis granulométrico indica que la mezcla de los dos distintos tipos de suelos da como resultado un suelo tipo A-1-b, material bueno para bases y subbases, esta mezcla da como resultado una arena limosa color café rojizo con grava.

Se tiene un equivalente de arena de 41 se observa que se mantiene estable los parámetros con respecto a los anteriores, por lo que no se observa una expansión permisible en los porcentajes permitidos por las normas establecidas tanto por la DGC como por las Normas AASHTO.

El porcentaje de humedad óptimo es de 15,50 por ciento para un peso unitario seco de 101,70 libras por pie cúbico, lo cual refiere que para que el material alcance su densidad seca compactación se necesita una menor cantidad de humedad respecto a los dos bancos anteriormente analizados, por lo que se concluye que si es factible utilizar esta proporción de 50 por ciento material rojizo del banco Las Cabras y un 50 por ciento material de préstamo del banco Las Llanuras.

Se observa que el valor soporte del suelo aumento considerablemente, presenta un CBR de 210 por ciento en un 99 por ciento de compactación con una expansión de 0,11 por ciento por lo que se confirma que la mezcla tiene un efecto positivo en las características físicas y propiedades mecánicas del suelo.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los resultados obtenidos a la composición de 2 distintos tipos de suelos procedentes de 2 bancos de materiales diferentes, se pudieron obtener resultados en los cuales se mejora las características físicas y propiedades mecánicas del suelo.
2. La mezcla unificada de los 2 tipos de suelo, se obtiene suelos con mayor densidad respecto a una menor cantidad de humedad.
3. Se observa en los ensayos que se obtiene un suelo con mayor valor soporte y una menor expansión.
4. El material obtenido contiene arena, limo y grava y esto hace que se obtenga un menor desgaste de finos; esto en relación con los limos. Asimismo, también provoca una mejor adherencia entre la arena, limo y grava. Esto hace un suelo con características de menos vacíos y mayor compacidad.
5. Respecto al resultado obtenido en relación con el banco Las Cabras se llega a la conclusión que el mismo no cumple con lo especificado por las Normas AASHTO ni por la DGC.
6. El banco Las Llanuras si cumple, pero su volumen no es suficiente en relación al requerido para cubrir el tramo de 28 kilómetros, es por ello el presente estudio.

7. Como los resultados finales en la composición de distintos tipos de materiales fueron los esperados, los bancos de materiales se utilizaron, logrando optimizar los recursos del proyecto y reduciendo los costos de acarreo.

8. Los proyectos viales conllevan gran beneficio social y desarrollo a las poblaciones, estos se deben ejecutar con la mejor calidad y técnicas, sin elevar los costos del proyecto.

RECOMENDACIONES

1. Importante realizar una estratigrafía de los distintos bancos cercanos al proyecto, esto con la finalidad de observar y analizar sus características individuales y realizar mejoras recurriendo a la composición con otros materiales.
2. Realizar muestreos constantes para que los suelos estén libres de contaminantes y así evitar resultados erróneos tanto en campo como en gabinete.
3. Las mezclas desarrolladas con distintos bancos de materiales se debe realizar cuando los bancos no sean lo suficientemente grandes para abastecer los tramos o cuando no cumplan sus materiales con lo especificado en las Normas AASHTO y DGC.
4. Contemplar que los bancos de materiales estén a las distancias indicadas de pueblos, hospitales y escuelas, según las especificaciones generales de carreteras y puentes de la DGC.

BIBLIOGRAFÍA

1. BRAJA M., Das. *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. 3a ed. México: Thompson, 2001. 608 p.
2. _____. *Principios de ingeniería de cimentaciones*. 4a ed. México: Thompson, 2006. 743 p.
3. CRESPO VILLALAZ, Carlos. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. 5a ed. México: Limusa, 2004. 650 p.
4. DÍAZ RODRÍGUEZ, A. *Dinámica de suelos*. 2a ed. México: Limusa, 2005. 310 p.
5. JUÁREZ, Badillo; RODRÍGUEZ, Rico. *Mecánica de los suelos*. 3a ed. México: Limusa, 2010. 629 p.
6. MINISTERIO DE COMUNICACIONES, INFRAESTRUCTURA Y VIVIENDA. *Especificaciones Generales para construcción de carreteras y puentes*. Edición 2001. Guatemala. 199 p.
7. PÉREZ, Augusto René. *Metodología de actividades para el diseño geométrico de carreteras*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 1989. 155 p.

8. TORRENTE, Baleato, SAGUES, Luis. *Estabilización de suelos: suelo cemento*. México. Técnicos Asociados. 1974. 152 p.

APÉNDICE

APÉNDICE

El clima del área de influencia del proyecto se puede determinar, que los parámetros más importantes desde el punto de vista e interés técnico de ingeniería son los siguientes:

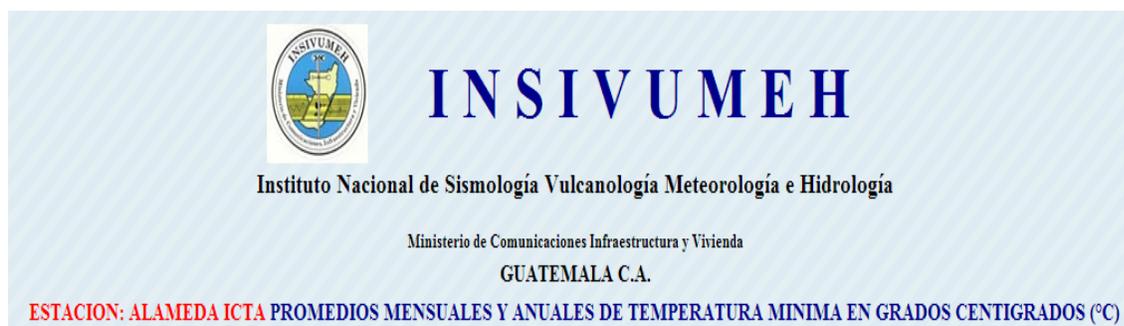
Tabla XV. **Promedio mensual y anuales de temperatura máxima en grados Celsius, en Chimaltenango**



Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2006	16,7	16,8	18,2	20,3	20,7	20,4	20,4	19,2	18	17,7	16,1	16,9	18,5
2007	16,7	18,5	19,3	18,9	19	18,3	18,3	18,6	19,4	18,1	16,4	17,1	18,2
2008	16,3	17,9	18,8	19,7	20	-	-	-	-	-	-	-	18,5
2009	-	23,1	24,1	26,3	25,3	24,3	24,3	24,3	24,9	24,7	23,2	23,1	14
2010	22,1	25,2	26,9	26,6	24,3	23,9	23,9						24,7

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

Tabla XVI. **Promedio mensual y anuales de temperatura mínima en grados Celsius, en Chimaltenango**



Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2006	10,4	8,8	10,3	13,5	15,7	16,6	15,5	14,9	14,8	13,9	11,9	12,6	13,2
2007	16,1	8,4	10,7	11,4	11,5	12,6	12,5	12,1	14,1	13,0	11,8	10,4	12,1
2008	10,2	10,7	12,1	12,5	13,0	-	-	-	-	-	-	-	11,7
2009	-	9,0	7,5	10,3	13,6	13,6	13,8	13,2	13,5	12,7	11,1	9,1	11,6
2010	8,4	10,7	10,3	12,3	14,6	14,0	13,3						11,9

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

Tabla XVII. **Lluvia en milímetros en el departamento de Chimaltenango**



Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1998	0,0	0,0	2,0	0,0	116,0	207,1	-	-	-	-	-	-	325,1
1999	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	320,4	257,7	119,0	285,3	-	13,7	16,3	1012,4
2000	0,3	-	-	-	-	-	-	115,0	136,9	39,3	0,0	38,2	329,7
2001	0,0	4,9	0,0	17,9	232,6	66,9	209,4	172,9	225,3	90,7	12,2	1,0	1033,8
2002	25,5	2,8	1,0	0,0	92,9	220,2	177,4	68,1	133,7	10,9	51,1	0,0	882,0
2003	3,6	4,8	75,6	35,5	157,8	280,7	162,0	98,3	385,3	197,9	36,6	0,5	1338,6
2004	3,9	0,0	29,7	33,1	177,5	159,4	127,6	89,0	279,5	177,8	5,0	0,0	1082,5
2005	1,3	0,0	4,4	6,1	127,6	383,1	248,0	183,9	148,4	190,6	15,7	7,6	1316,7
2006	14,7	0,0	6,2	56,3	131,0	438,7	234,5	148,5	231,8	221,9	13,7	9,0	1506,3
2007	4,8	0,0	6,2	0,0	81,5	186,9	142,8	175,4	215,4	133,1	14,9	1,6	962,6
2008	0,0	0,0	0,0	12,4	56,0	-	-	-	-	-	-	-	68,4
2009	0,0	4,6	0,0	7,9	130,8	186,6	103,9	111,4	155,6	59,5	144,2	44,4	948,9
2010	0,0	0,6	3,5	68,6	404,4	251,5	237,2	398,4	315,2	-	-	-	1684,8

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

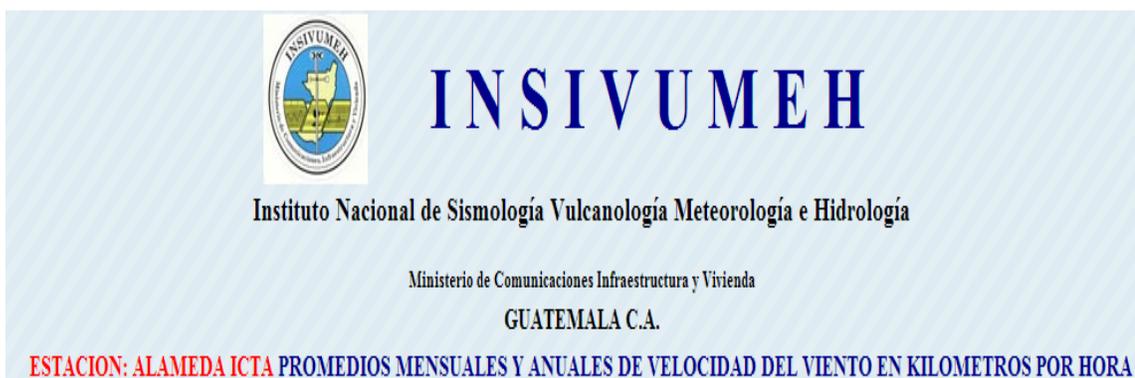
Tabla XVIII. **Totales mensuales y anuales de días de lluvia en Chimaltenango**



Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2006	3	0	2	5	8	-	17	15	18	15	3	4	90
2007	1	-	-	0	6	19	15	16	24	16	5	2	104
2008	0	0	0	3	8	-	-	-	-	-	-	-	11
2009	-	1	0	3	16	20	13	15	17	9	10	4	108
2010	2	2	2	10	15	6	23						60

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

Tabla XIX. **Promedio mensual y anuales de velocidad del viento en kilómetros por hora, en Chimaltenango**



Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2006	-	-	5,9	5,6	3,0	3,1	3,7	3,1	3,5	3,9	4,1	4,0	4,0
2007	5,3	5,0	5,7	5,4	4,3	3,6	4,2	3,9	3,4	3,4	9,0	4,1	4,8
2008	5,0	4,8	5,8	3,4	5,0	-	-	-	-	-	-	-	4,8
2009	-	16,6	17,5	9,9	7,2	5,2	6,2	4,9	4,2	4,4	4,4	4,2	7,7
2010	5,5	6,1	6,6	7,1	5,1	4,7	5,0						5,7

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

