



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TITULACIÓN DE INGENIERO CIVIL

Caracterización de los materiales de subrasante en zonas no urbanizadas de la ciudad de Loja, aplicadas a obras de infraestructura vial en el polígono denominado “Carigan Sur”

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

AUTOR: Márquez Villa, Génesis Meybilin.

DIRECTORA: Esparza Villalba, Carmen Antonieta, MSc.

LOJA – ECUADOR

2015

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

Magister.

Carmen Antonieta Esparza Villalba.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de fin de titulación: Caracterización de los materiales de subrasante en zonas no urbanizadas de la ciudad de Loja, aplicadas a obras de infraestructura vial en el polígono denominado “Carigan Sur” realizado por Márquez Villa Génesis Meybilin, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, noviembre de 2014

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Márquez Villa Génesis Meybilin declaro ser autor (a) del presente trabajo de fin de titulación: Caracterización de los materiales de subrasante en zonas no urbanizadas de la ciudad de Loja, aplicadas a obras de infraestructura vial en el polígono denominado “Carigan Sur”, de la Titulación de Ingeniero Civil, siendo Carmen Antonieta Esparza Villalba director (a) del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.

Autor: Márquez Villa Génesis Meybilin

Cédula: 1900473446

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, es él quien me ha dado la fuerza para seguir adelante y me ha permitido superar los obstáculos que se me han presentado a lo largo del camino.

De igual manera dedico esta tesis a mi familia, en especial a mis padres quienes me han apoyado incondicionalmente, así mismo a las demás personas que hicieron posible el cumplimiento de una meta más en mi vida.

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por iluminarme y por todas las bendiciones que me ha dado y sobre todo por permitirme llegar hasta este punto tan importante en mi vida.

Expreso mi gratitud a la Universidad Técnica Particular de Loja y a los docentes de la Titulación de Ingeniero Civil.

De manera especial a mí directora de tesis MSc. Carmen Esparza Villalba y al Ing. Ángel Tapia quienes además de brindar su tiempo y conocimiento en la culminación de este proyecto nos han ofrecido su amistad y apoyo para el desarrollo de nuestra formación profesional.

A mis padres y a mis compañeros quienes me han impulsado a concluir una meta importante en mi vida

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ABREVIATURAS	x
SIMBOLOGÍA.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I.....	4
1. GENERALIDADES.....	4
1.1. Justificación.	5
1.2. Objetivos.....	6
1.2.1. <i>Objetivo general:</i>	6
1.2.2. <i>Objetivos específicos:</i>	6
1.3. Ubicación.	7
1.3.1. <i>Localización geográfica.</i>	7

1.3.1.1.	<i>Coordenadas geográficas.</i>	8
1.3.1.2.	<i>Hidrografía.</i>	8
CAPÍTULO II.....		9
2.	ESTUDIO DE LA SUBRASANTE	9
2.1.	Introducción.	10
2.2.	Exploración de la subrasante.	11
2.3.	Parámetros determinantes en la respuesta de la subrasante.	11
2.3.1.	<i>Capacidad portante.</i>	11
2.3.2.	<i>Contenido de humedad.</i>	12
2.4.	Mejoramiento de la subrasante.	12
2.5.	Subbase.....	12
2.6.	Clasificación de los suelos.	13
2.6.1.	<i>Sistema de clasificación (AASHTO M – 145)</i>	14
2.6.2.	<i>Descripción de los grupos de clasificación.</i>	16
2.6.2.1.	<i>Suelos granulares.</i>	16
2.6.2.2.	<i>Suelos limo – arcillosos.</i>	17
2.6.3.	<i>Índice de grupo.</i>	18
2.7.	Evaluación de los suelos.....	20
2.7.1.	<i>Determinación del perfil del suelo</i>	20
2.7.2.	<i>Muestreo de las capas de suelo.</i>	21
2.7.3.	<i>Determinación de las propiedades físicas del suelo.</i>	21

2.7.3.1.	<i>Contenido de humedad.</i>	22
2.7.3.2.	<i>Análisis granulométrico.</i>	22
2.7.3.3.	<i>Determinación de los Límites de Atterberg.</i>	24
2.7.3.3.1.	<i>Límite líquido.</i>	24
2.7.3.3.2.	<i>Límite plástico.</i>	24
2.7.3.4.	<i>Ensayo de compactación del suelo.</i>	25
2.7.3.5.	<i>Ensayo de C.B.R “Índice de Soporte California”.</i>	26
2.7.3.6.	<i>Ensayo DCP “Penetrómetro Dinámico de Cono”.</i>	26
CAPÍTULO III.....		28
3.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	28
3.1.	Recopilación de información.	29
3.2.	Visita de campo a la zona de estudio.	29
3.3.	Delimitación de la zona de estudio.	29
3.4.	Ubicación e identificación de los puntos de muestreo.	30
3.5.	Ensayos in situ.	30
3.5.1.	<i>Penetrómetro Dinámico de Cono de 8 Kg (ASTM D 6951-03).</i>	30
3.5.1.1.	<i>Correlación del equipo DCP con el C.B.R.</i>	31
3.5.2.	<i>Penetrómetro de bolsillo (ASTM D 2573-94).</i>	32
3.6.	Obtención de muestras.	33
3.7.	Realización de ensayos de laboratorio.	34
3.7.1.	<i>Contenido de humedad (CH), AASHTO T 265 – 93 (2000).</i>	34

3.7.2. Ensayo granulométrico, ASTM D 422 y AASHTO T 88.	36
3.7.3. Límites de Atterberg.	38
3.7.3.1. Límite líquido (LI) (ASTM D 4318, AASHTO T 89).	39
3.7.3.2. Límite plástico (Lp) (ASTM D 4318, AASHTO T 90).	40
3.7.4. Ensayo proctor modificado (ASTM D 1557, AASHTO T 180).	40
3.7.5. Realización y obtención del C.B.R de diseño.	42
3.7.6. C.B.R de diseño.	43
3.7.7. Elaboración de una base de resultados de las características de los materiales de subrasante.	44
3.7.8. Estudio del material de la Cantera Zalapa.	44
3.7.9. Generación de un mapa de zonificación de acuerdo a las características físico-mecánicas del suelo.	44
3.7.9.1. Propuesta de zonificación geotécnica en función de la clasificación del suelo.	44
3.7.9.2. Propuesta de zonificación geotécnica en función de la capacidad de soporte del suelo.	45
CAPÍTULO IV.	51
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.	47
CONCLUSIONES.	51
RECOMENDACIONES.	52
BIBLIOGRAFÍA.	53
ANEXOS.	55
7.1. Resultados de los estudios de las 12 calicatas.	55

7.1.1. Anexo 1. Calicata N° 1.	55
7.1.2. Anexo 2. Calicata N° 2.	¡Error! Marcador no definido.
7.1.3. Anexo 3. Calicata N° 3.	¡Error! Marcador no definido.
7.1.4. Anexo 4. Calicata N° 4.	¡Error! Marcador no definido.
7.1.5. Anexo 5. Calicata N° 5.	¡Error! Marcador no definido.
7.1.6. Anexo 6. Calicata N° 6.	¡Error! Marcador no definido.
7.1.7. Anexo 7. Calicata N° 7.	¡Error! Marcador no definido.
7.1.8. Anexo 8. Calicata N° 8.	¡Error! Marcador no definido.
7.1.9. Anexo 9. Calicata N° 9.	¡Error! Marcador no definido.
7.1.10. Anexo 10. Calicata N° 10.	¡Error! Marcador no definido.
7.1.11. Anexo 11. Calicata N° 11.	¡Error! Marcador no definido.
7.1.12. Anexo 12. Calicata N° 12.	¡Error! Marcador no definido.
7.2. Determinación del C.B.R de diseño.	¡Error! Marcador no definido.
7.3. Mapa de zonificación en función del tipo de suelo.	¡Error! Marcador no definido.
7.4. Mapa de zonificación en función de la capacidad portante del suelo.	¡Error! Marcador no definido.

ABREVIATURAS

AASTHO	American Association of State Highway and transportation Officials
Arc.Gis	Sistema y Análisis de la Información Geográfica.
Arc.Map	Análisis de Mapas.
C.A.D	Computer Aided Design (Dibujo Asistido por Ordenador).
C.B.R	Valor de Soporte de California
CH	Contenido de Humedad
DCP	Penetrómetro Dinámico de Cono.
DGM-IC	Departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil.
E	Este.
IG	Índice de grupo
IP	Índice de plasticidad.
LL	Límite líquido.
LP	Límite plástico.
Mr	Modulo resiliente
MTOP	Ministerio de Transporte y Obras Públicas
N	Norte.
NEVI	Norma Ecuatoriana Vial.
UTM	Universal Transverse Mercator. (Sistema de Coordenadas Transversal de Mercator).
UTPL	Universidad Técnica Partícula de Loja.

SIMBOLOGÍA

F	Porcentaje de suelo que pasa por la malla # 200.
Ha	Hectáreas.
in – plg	Pulgadas
kg	Kilogramos
lb	Libras
ln	Logaritmo natural
m	Metros
mm	Milímetros
Mpa	Mega pascales
Psi	Libra-fuerza por pulgada cuadrada
qu	Resistencia a la compresión simple.
Tn	Toneladas.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación geográfica del polígono Carigan sur.	7
Figura 2: Simbología para perfiles de calicata, clasificación AASHTO.	21
Figura 3: Esquema del D.C.P.	27
Figura 4: Delimitación del polígono “Carigan Sur”.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5: Ubicación de los puntos de muestreo, polígono “Carigan Sur”.....	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de los materiales para subrasante de carreteras.	15
Tabla 2: Clasificación de los suelos según índice de grupo.	19
Tabla 3: Características para definir el perfil de un suelo.	20
Tabla 4: Masa de muestra mínima según el tamaño máximo de partículas.	23
Tabla 5: Clasificación por abertura del tamiz. A.S.T.M.	23
Tabla 6: Categorías de la subrasante según el C.B.R.	26
Tabla 7: Coordenadas de los puntos de muestreo.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 8: Ecuaciones para determinar el C.B.R a partir del DCP.	31
Tabla 9: Lecturas del penetrómetro de bolsillo.	32
Tabla 10: Muestra de prueba de acuerdo al tamaño máximo de las partículas.	35
Tabla 11: Límites de diseño de subrasante.	43
Tabla 12: Códigos para la zonificación en función del tipo de suelo.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 13: Información específica de cada tipo de suelo.	45
Tabla 14: Datos empleados en la generación del mapa de zonificación geotécnica.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 15: Códigos para la zonificación en función de la capacidad portante del suelo.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 16: Datos empleados en la generación del mapa de zonificación geotécnica en función de la capacidad portante del suelo.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 17: Cuadro resumen del tipo de suelo y C.B.R del mismo. .	¡Error! Marcador no definido.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación está encaminado a realizar el estudio de los materiales de subrasante de las zonas no urbanizadas de la ciudad de Loja, para este caso del polígono denominado Carigan Sur; con el fin de conocer las características físicas de dichos suelos; que posteriormente se aplicarán a obras de infraestructura vial.

Para su desarrollo se asignaron los puntos de muestro en el mapa topográfico de la ciudad de Loja, los mismos que fueron dispuestos a cada 500 m entre sí.

Se realizó recorridos dentro del polígono de estudio para la extracción de muestras, a profundidades de 0.50 m, 1.00 m y 1.50 m, para posteriormente proceder a la clasificación de los suelos utilizando el Método AASHTO, adicionalmente en la profundidad de 1.50 m se ejecutaron los ensayos de Proctor Modificado y C.B.R; además se determinó la clasificación, C.B.R y abrasión del material de mejoramiento.

Finalmente se generó dos mapas de zonificación del polígono estudiado, el primero conforme a la clasificación del suelo y el segundo en función de la capacidad de soporte del mismo.

PALABRAS CLAVE: Subrasante, clasificación, capacidad portante, zonificación geotécnica.

ABSTRACT

The present research is aimed at the study of subgrade materials undeveloped areas of the city of Loja, in this case the area called South Carigan; in order to know the physical characteristics of the soils; they later apply to road infrastructure.

To develop the sampling points were assigned on the topographic map of the city of Loja, the same as were disposed to each 500 m apart.

Runs was performed within the study polygon for sampling at depths of 0.50 m, 1.00 m and 1.50 m, later proceed to the classification of soils using the AASHTO method further into the depth of 1.50 m trials were run Modified Proctor and CBR; further classification, CBR and abrasion breeding material was determined.

Finally, two zoning maps polygon is generated studied, the first according to the classification of the soil and the second based on the ability of the same support.

KEYWORDS: Subgrade, classification, bearing capacity, geotechnical zoning.

INTRODUCCIÓN

Unas de las actividades más importantes en la ejecución de obras de infraestructura, es la construcción de carreteras, puesto que influyen directamente en la calidad de vida de las comunidades mejorando sus condiciones.

Es por ello que la base de esta investigación está enfocada al estudio y análisis de las características y propiedades de los materiales de subrasante a través de la realización de ensayos de laboratorio, con el objeto de proporcionar información básica para garantizar la calidad de los suelos de fundación en carreteras.

El polígono de estudio tiene un área de 361.89 ha aproximadamente, en el cual se determinó que la mayor parte de la zona de estudio está constituida por suelos arcillosos como: arcillas de alta plasticidad y arcillas de baja plasticidad, y escasos suelos areno-arcillosos que se encuentran alrededor de las quebradas; por tanto estos suelos no cumplen con los requerimientos mínimos para subrasante de la normativa vigente, por lo que se ha establecido que se debe mejorar la subrasante.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1. Justificación.

Actualmente en las calles y avenidas de la ciudad de Loja se puede observar un grave problema debido al mal estado en el cual éstas se encuentran. Tales problemas se atribuyen a la falta de conocimiento e información correcta y precisa de las características físicas y mecánicas de los suelos que pueden ser a nivel de subrasante, previo al diseño de la estructura del pavimento.

Debido a la existencia de los problemas antes mencionados en la vialidad de la ciudad de Loja, surge la necesidad de conocer las características y propiedades de los suelos a nivel de subrasante que se encuentran en las diferentes zonas de expansión de la ciudad, para lo cual se contará con la información necesaria para una planeación de infraestructura vial bien establecida de acuerdo a los parámetros del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, y la normativa de diseño AASHTO.

Es por ello que mediante el presente proyecto, se estudiará y se analizará la caracterización de los materiales de subrasante en zonas no urbanizadas de la ciudad de Loja, aplicadas a obras de infraestructura vial, mediante la subdivisión de polígonos a partir de un mapa base geológico de la ciudad de Loja, proporcionado por la sección de Geodinámica del departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil de la Universidad Técnica Particular de Loja.

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo general:

- Caracterización de los materiales de subrasante en zonas no urbanizadas de la ciudad de Loja, aplicadas a obras de infraestructura vial en el polígono “Carigan Sur” que está ubicado en las siguientes coordenadas del mapa DATUM PSAD 56.

A (695000.00E; 9561876.00N).

B (696000.00E; 9561876.00N).

C (696000.00E; 9561667.03N).

D (697565.27E; 9561666.83N).

E (697565.27E; 9560354.34N).

F (695000.00E; 9560354.34N).

1.2.2. Objetivos específicos:

- Identificar las propiedades de capacidad de soporte a nivel de subrasante.
- Caracterización de las propiedades físicas de los suelos.
- Generación de un mapa de zonificación de acuerdo a los parámetros físicos-mecánicos del suelo.

1.3. Ubicación.

1.3.1. Localización geográfica.

El polígono denominado “Carigan sur” se encuentra ubicado en la parte Nor-Oeste de la ciudad de Loja, capital de la provincia de Loja, cubre en su mayoría el sector sur de Carigan y San José. El polígono tiene una superficie de 361.89 hectáreas, a continuación se muestra la localización del mismo mediante la Figura 1.

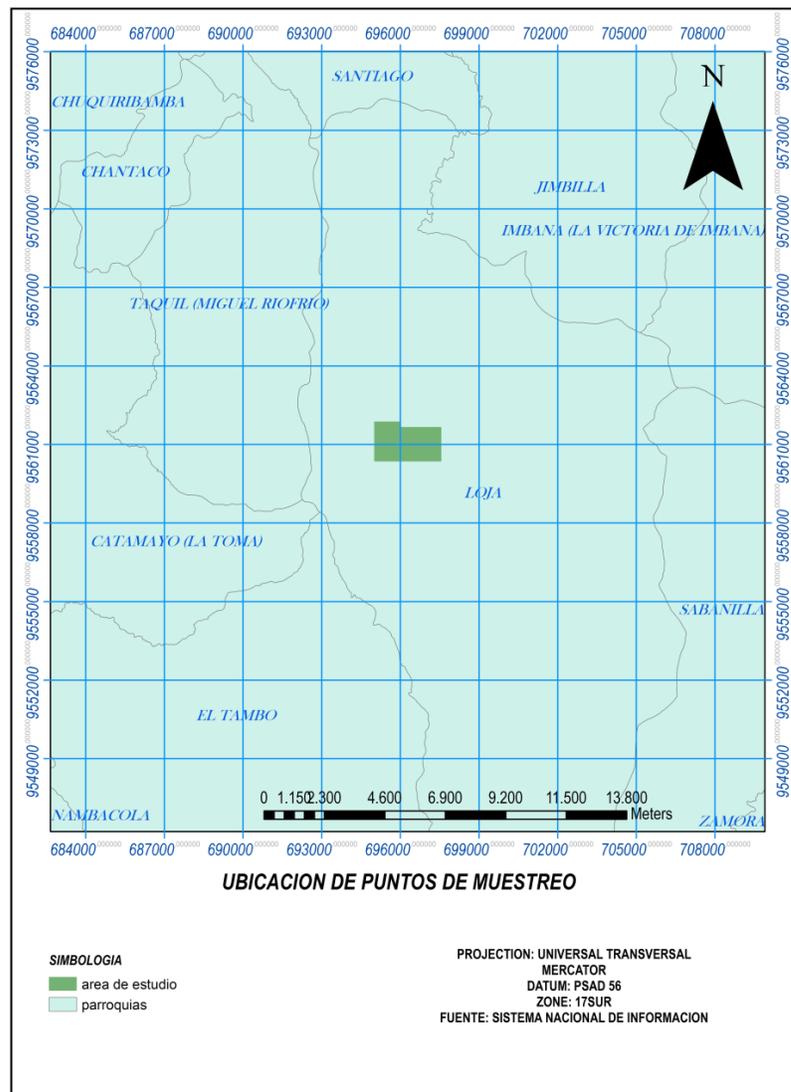


Figura 1: Ubicación geográfica del polígono Carigan sur.

Fuente: Sistema nacional de información, adaptada por la autora.

1.3.1.1. *Coordenadas geográficas.*

El polígono se encuentra en las siguientes coordenadas del DATUM PSAD 56:

A (695000.00E; 9561876.00N).

B (696000.00E; 9561876.00N).

C (696000.00E; 9561667.03N).

D (697565.27E; 9561666.83N).

E (697565.27E; 9560354.34N).

F (695000.00E; 9560354.34N).

1.3.1.2. *Hidrografía.*

Dentro de la zona de estudio se encuentra la quebrada La Banda la misma que atraviesa el polígono de sur a norte en la dirección noreste, además otras tres pequeñas quebradas alimentan a esta quebrada, las cuales son: Q. El Trigo, Q. Limpiacocha y la Q. El Chico.

CAPÍTULO II

2. ESTUDIO DE LA SUBRASANTE

2.1. Introducción.

La subrasante es la capa de suelo que sirve de cimentación a la estructura del pavimento, de la capacidad portante de ésta depende en gran medida el espesor que debe tener un pavimento ya sea flexible o rígido; pero mucho más importante es que la subrasante ofrezca un apoyo uniforme, sin dejar de lado la expansión de los suelos. (Morales C, 2007).

Funciones de la subrasante:

Las funciones de la capa de subrasante son las siguientes:

- ✓ Recibir y resistir la carga continua proveniente del paso de vehículos.
- ✓ Transmitir y distribuir las cargas adecuadamente.
- ✓ Economizar los espesores de las capas del pavimento.

Las propiedades que se requieren en una subrasante son las siguientes:

- Resistencia.
- Conservación de la compactación.
- Estabilidad volumétrica.

La reacción de la subrasante ante las cargas de tránsito depende en gran medida del tipo de suelo que la conforma, así como también de la densidad y humedad de la misma, tanto en el proceso constructivo como en el periodo de servicio; es por ello que la respuesta de la subrasante es el factor más importante para la determinación del espesor de las capas de la estructura del pavimento. (Alvarez J, 09/2014).

La subrasante debe cumplir con las exigencias establecidas por las especificaciones propias de cada obra, en caso de que no cumpla con dichos requerimientos la subrasante se deberá someter a un tratamiento adecuado a fin de que obtenga las características para su utilización. (NEVI-12 Vol. 2, 2013).

2.2. Exploración de la subrasante.

A partir del mapa de la ciudad de Loja en el cual se ha asignado los puntos de muestreo aproximadamente a cada 500 m entre sí, considerando dicho espaciamiento de acuerdo a la tabla 3 la cual proporciona los criterios para la ejecución de perforaciones, se ha realizado el recorrido en la zona de estudio con el fin de identificar la localización, accesibilidad y condiciones del suelo de los diferentes puntos.

Una vez identificada la ubicación y condiciones dichos puntos se procedió a la excavación manual a intervalos definidos de 0.50 m, 1.00 m y 1.50 m; tomando una cantidad de muestra representativa de cada profundidad para determinar:

- Contenido de humedad (ASTM 2216).
- Límite líquido (ASTM D 4318, AASHTO T 89).
- Límite plástico (ASTM D 4318, AASHTO T 90).
- Granulometría (ASTM D 422, AASHTO T 88).
- Ensayo proctor modificado (ASTM D 1557, AASHTO T 180).
- C.B.R. "Índice de soporte califonia" (ASTM D 1883, AASHTO T 193-63).

2.3. Parámetros determinantes en la respuesta de la subrasante.

El comportamiento de la subrasante depende básicamente de dos características relacionadas entre sí, siendo estas las siguientes:

2.3.1. Capacidad portante.

La capacidad de soporte se define como la carga por unidad de área para una superficie determinada.

Esta es una de las propiedades más importantes del suelo, al estar sometido a cargas repetidamente, por lo cual la subrasante está expuesta a sufrir deformaciones; y esto no solo

depende del tipo de suelo sino que también de su contenido de humedad y grado de compactación.

2.3.2. Contenido de humedad.

El contenido de humedad de la subrasante afecta directamente a su capacidad de soportar carga, pudiendo experimentar deformaciones prematuras ante el paso de las cargas, ya que las variaciones en el contenido de humedad del suelo pueden provocar expansión o contracción del mismo, especialmente cuando se tiene la presencia de finos.

2.4. Mejoramiento de la subrasante.

Como se mencionó con anterioridad, si la subrasante no cumple con las especificaciones establecidas de cada obra se debe someter a un tratamiento para mejorar su calidad.

El mejoramiento de la subrasante, “se formará con suelo seleccionado, estabilización con cal; estabilización con material pétreo, membranas sintéticas, o mezcla de materiales previamente seleccionados y aprobados por el Fiscalizador” (NEVI vol.3, 2013).

Con el mejoramiento de la subrasante se puede disminuir el espesor de las capas de subbase y base.

2.5. Subbase.

“Se denomina subbase a la capa granular localizada entre la subrasante y la base granular en los pavimentos flexibles, y la capa que normalmente debe colocarse inmediatamente debajo de un pavimento rígido.” (NEVI vol.3, 2013).

Por tanto la subbase es la capa de material establecido en el subsuelo cuyo propósito es repartir las cargas uniformemente sobre la subrasante.

De acuerdo con la Norma Ecuatoriana Vial la subbase debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Desgaste 50% máximo.

- $IP < 6$
- LI 25 máximo.
- $CBR \geq 30$.

2.6. Clasificación de los suelos.

Debido a que existe una gran variedad de suelos en la naturaleza, la ingeniería de suelos ha desarrollado distintos métodos para la clasificación de los mismos, considerando el uso que se les quiera dar.

La normativa ecuatoriana vial (NEVI vol. 3) clasifica los suelos en los siguientes tipos:

- *Suelos seleccionados*, poseen las siguientes características:
 - Materia orgánica $< 0.2\%$.
 - Sales solubles en agua, incluido el yeso $< 0.2\%$.
 - Tamaño máximo $\leq 100\text{mm}$.
 - Cernido por tamiz #40 $\leq 15\%$ ó:
 - Cernido por el tamiz #2 $< 80\%$.
 - Cernido por el tamiza 0.40 $< 75\%$.
 - Cernido por el tamiz 0.080 $< 25\%$.
 - Límite líquido < 30 .
 - Índice e plasticidad < 10 .
- *Suelos adecuados*, cumplen las siguientes condiciones:
 - Materia orgánica $< 1\%$.
 - Sales solubles incluido el yeso $< 0.2\%$.

- Tamaño máximo $\leq 100\text{mm}$.
- Cernido por el tamiz #2 $< 80\%$.
- Cernido por el tamiz 0.080 $< 35\%$.
- Límite líquido < 40 , si es superior a 30 el IP > 4 .
- *Suelos tolerables*, cumplen las condiciones siguientes:
 - Materia orgánica $< 2\%$.
 - Yeso $< 5\%$.
 - Sales solubles $< 1\%$.
 - Límite líquido $< 65\%$, si es > 40 el IP será > 0.73 (LI – 20).
- *Suelos marginales*, aquellos que no se incluyen en las categorías anteriores y cumplen las siguientes condiciones:
 - Materia orgánica $< 5\%$.
 - Si LI > 90 el IP será < 0.73 (LI – 20).
- *Suelos inadecuados*, estos suelos no se incluyen en las categorías anteriores, constituyen las turbas y otros suelos con materiales orgánicos.

Los sistemas de clasificación de suelos acoplan a los mismos a una determinada tipología, las cuales consideran su granulometría y límites de consistencia.

2.6.1. Sistema de clasificación (AASHTO M – 145).

Para la clasificación de los suelos de subrasante se ha empleado el sistema más apropiado, el método AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials); este sistema desarrollado en los años 20 está basado en las características de aceptabilidad de los suelos empleados principalmente en la construcción vial, muy particularmente utilizado para el manejo de subrasantes y terraplenes. El método AASHTO establece su clasificación, al igual

que otros métodos, en base a la granulometría por tamizado, en el límite líquido e índice de plasticidad.

Los suelos del polígono de estudio se clasificaran de acuerdo a la Tabla 1 la cual corresponde a la norma AASHTO.

Tabla 1: Clasificación de los materiales para carreteras.

CLASIFICACIÓN GENERAL	Materiales Granulares (igual o menor del 35% pasa el tamiz N° 200)							Materiales Limo - Arcillosos (más del 35% que pasa el tamiz N° 200)			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7
GRUPOS	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				A - 7 - 5
SUB - GRUPOS	A - 1 - a	A - 1 - b	A - 3	A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7	A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 - 6
% que pasa el Tamiz											
N° 10	50 máx										
N° 40	30 máx	50 máx	51 máx								
N° 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín
Características del Material que pasa el tamiz N° 40											
Límite Líquido			NO PLÁSTICO	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 máx
Índice de Plasticidad	6 máx	6 máx		10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx	4 máx	8 máx	12 máx	16 máx	20 máx
Tipo de Material	fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava, arenas limosas y arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Terreno de Fundación	Excelente a Bueno						Regular a Deficiente				

Si el LP \geq 30, la clasificación es A - 7 - 6

Si el LP < 30, la clasificación es A - 7 - 5

Fuente: Norma AASHTO M 145, adaptada por la autora.

El método AASHTO contempla 7 grupos de suelos, numerados desde el A-1 hasta el A-7, y un octavo grupo que corresponden a los suelos con altos contenidos de materia orgánica. A su

vez, algunos de los grupos presentan subdivisiones, en el caso del grupo A-1 y A-7, estos tienen dos subgrupos y el grupo A-2 lo conforman cuatro subgrupos. (Braja D, 2001).

2.6.2. Descripción de los grupos de clasificación.

La cohesión es una de las características que hace muy distintos unos suelos de otros, debido a esta propiedad los suelos se clasifican en “cohesivos” y “no cohesivos”.

Los suelos “cohesivos” tienen la propiedad de atracción intermolecular, poseen cohesión y plasticidad, como las arcillas.

Los suelos “no cohesivos” son aquellos formados por partículas de roca sin ninguna cementación, como la arena o la grava, en estos suelos sus partículas no tienden a adherirse. (Crespo V, 2004).

A continuación se detalla cada grupo y subgrupo:

2.6.2.1. Suelos granulares.

Estos suelos son aquellos que poseen un 35% o menos de material fino que pasa que pasa a través del tamiz N° 200; los grupos A-1, A-2 y A-3 están conformados de estos suelos. Su comportamiento es, generalmente de bueno a excelente, excepto los subgrupos A-2-6 y A-2-7, que se comportan como suelos arcillosos debido a la alta plasticidad de los finos que contiene dicho suelo.

- **Grupo A-1:** El material típico de este grupo corresponde a las mezclas bien graduadas compuestas de fragmentos de piedra o gravas, arenas (fina y gruesa) y finos no plásticos o material ligante poco plástico. En este grupo también se incluyen las mezclas bien graduadas con gravas y arenas sin finos.
 - **Subgrupo A-1a:** Conformado por aquellos materiales que contienen predominantemente piedras o grava, con o sin material fino bien graduado.
 - **Subgrupo A-1b:** Comprende aquellos suelos formados esencialmente por arena gruesa, con o sin material ligante bien graduado.

- **Grupo A-2.** Pertenecen a este grupo los suelos formados por una gran variedad de material granular que contienen un 35% o menos de material que pasa a través del tamiz N° 200 y que no se pueden clasificar dentro de los grupos A-1 y A-3 debido al porcentaje de material fino o a la plasticidad de este, por tanto no encajan en los límites establecidos para dichos grupos.
 - **Subgrupo A-2-4 y A-2-5:** Se incluyen en estos subgrupos los suelos que tienen un 35% o menos de material fino, y cuya fracción que pasa a través del tamiz N° 40 posee las mismas características que los suelos A-4 y A-5.

Estos subgrupos están conformados por suelos que contienen material compuesto por grava y arena gruesa con porciones de limo o índices de plasticidad que exceden los límites del grupo A-1; así mismo incluyen los materiales compuestos por arena fina con porciones de limo no plástico que sobrepasa los límites del grupo A-3.
 - **Subgrupo A-2-6 y A-2-7:** Los materiales de estos subgrupos son similares a los descritos a los subgrupos A-2-4 y A-2-5, excepto que la fracción que pasa a través del tamiz N° 40 tienen las características de los suelos que conforman los grupos A-6 y A-7, respectivamente.
- **Grupo A-3:** Corresponden a este grupo los suelos compuestos por arena fina de duna o de playa, sin material fino arcilloso o limoso o con una pequeña porción de limo que no tenga plasticidad. Además en este grupo igualmente se incluyen las arenas finas mal graduadas que contengan arena gruesa o grava en pequeñas cantidades.

2.6.2.2. Suelos limo – arcillosos.

En esta categoría se encuentra formada por los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, los mismos que contienen el 35% o más de material fino que pasa a través del tamiz N° 200. Su comportamiento va de regular a malo.

- **Grupo 4:** En este grupo el suelo típico es un suelo limoso moderadamente plástico o nada plástico, que tienen un 75% o más de material que pasa a través del tamiz N° 200. Asimismo se incluyen los suelos compuestos por mezclas de material limoso, así como también grava y arena hasta en un 64%.

- **Grupo A-5:** Los suelos que conforman este grupo son similares a los descritos en el grupo anterior, exceptuado que contienen material micáceo o diatomáceo, por lo que puede ser muy elásticos y con un límite líquido muy elevado.
- **Grupo A-6:** El material típico de este grupo son las arcillas plásticas, que contienen más de un 75% de material que pasa a través del tamiz No 200; en este grupo también se incluyen las mezclas arcillo-arenosas, considerando que el porcentaje de arena y grava sea menor al 64%.
- **Grupo A-7:** En este grupo los suelos son similares a los descritos en el grupo A-6, pueden ser elásticos y con un límite líquido muy elevado. Estos suelos también pueden estar sujetos a cambios volumétricos importantes.
 - **Subgrupo A-7-5:** Los suelos de este subgrupo tienen un índice de plasticidad moderado con respecto a su límite líquido.
 - **Subgrupo A-7-6:** Incluye los suelos que tienen un índice de plasticidad elevado con respecto a su límite líquido, y además experimenta grandes cambios volumétricos. (Montejo A, 2010).

2.6.3. Índice de grupo.

El índice de grupo permite caracterizar de mejor manera los suelos de cada grupo. Un suelo se clasifica dentro de un grupo en base a su granulometría, límite líquido y grado de plasticidad. El comportamiento de un suelo varía dependiendo de su índice de grupo, es así que un suelo está compuesto de material “bueno” para la construcción vial cuando tiene un índice de grupo igual a cero; y el suelo es “deficiente” cuando éste tiene un índice de grupo igual o mayor a 20.

En los suelos granulares el índice de grupo está comprendido entre 0 y 4, en suelos limosos varía entre 8 y 12, y en los suelos arcillosos entre 11 y 20 ó incluso mayor a 20. (Montejo A, 2010 & Das B, 2001).

A continuación se presenta las ecuaciones utilizadas para determinar el índice de grupo:

$$IG = (F - 35) * [0,2 + 0,005 * (LL - 40)] + 0,01 * (F - 15) * (IP - 10) \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Dónde:

IG = índice de grupo.

F = porcentaje que pasa el tamiz N° 200.

LL = límite líquido.

IP = índice de plasticidad.

El índice de grupo para los suelos de los subgrupos A-2-6 y A-2-7, se determina mediante la ecuación (2.2):

$$IG = 0,01 * (F - 15) * (IP - 10) \quad \text{Ec. (2.2)}$$

“A continuación se dan algunas reglas para determinar el índice de grupo:

- Si la ecuación (2.1) da un valor negativo para IG, éste se toma igual a cero.
- El índice de grupo calculado con la ecuación (2.1) se redondea al número entero más cercano.
- El índice de grupo de suelos que pertenecen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5, y A-3 siempre es 0.” (Das B, 2001).

De igual manera a partir del índice de grupo, mediante la Tabla 2, se puede determinar la clasificación del suelo de la subrasante.

Tabla 2: 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: Ministerio transporte y comunicaciones, Perú (2013).

2.7. Evaluación de los suelos.

Para la evaluación de suelos es necesario contar con la información geotécnica básica, para ello se debe obtener información a partir de las investigaciones de campo y laboratorio, que permitan conocer la distribución y propiedades físicas de los mismos.

Para el desarrollo de las investigaciones se deben considerar los siguientes aspectos:

2.7.1. Determinación del perfil del suelo.

Para realizar la investigación de suelos es inevitable ejecutar una perforación sistemática en la zona de estudio, con el propósito de determinar la cantidad y extensión de los diferentes tipos de suelos, la manera de cómo están dispuestos en capas y en algunos casos la detección del nivel freático.

Es necesario establecer el espaciamiento entre las perforaciones con base en la uniformidad que presenten los suelos, para ello, la Tabla 3 brinda un criterio del espaciamiento de las perforaciones y la profundidad de las mismas, considerando el tipo de zona.

Tabla 3: Características para definir el perfil de un suelo.

Criterios para la ejecución de perforaciones en el terreno para definir un perfil de suelos		
Tipo de zona	Espaciamiento (m)	Profundidad (m)
1. Carreteras	250-500	1.50
2. Pistas de aterrizaje.	A lo largo de la línea central, 60-70 m	Cortes: -3m debajo de la rasante Relleno: -3m debajo de la superficie existente del suelo
3. Otras áreas pavimentadas	1 perforación cada 1000 m ²	Cortes: 3m debajo de la rasante Relleno: 3m debajo de la superficie existente del suelo
4. Préstamos	Pruebas suficientes para definir claramente el material	Hasta la profundidad que se propone usar como préstamo.

Fuente: Montejo, A (2010).

Es importante definir la ubicación, número y profundidad de las perforaciones, a fin de establecer el tipo de suelo en cada capa en sentido vertical, además de identificar de forma visual el color y la consistencia de los suelos. (Montejo A, 2010).

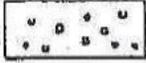
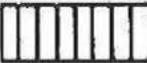
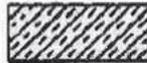
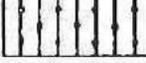
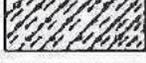
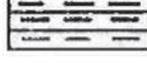
Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A-1-a		A-5
	A-1-b		A-6
	A-3		A-7-5
	A-2-4		A-7-6
	A-2-5		MATERIA ORGANICA
	A-2-6		ROCA SANA
	A-2-7		ROCA DESINTEGRADA
	A-4		

Figura 2: Simbología para perfiles de calicata, clasificación AASHTO.

Fuente: Ministerio transporte y comunicaciones, Perú (2013).

2.7.2. Muestreo de las capas de suelo.

Se debe obtener muestras representativas en cada perforación a intervalos definidos; para realizar un reconocimiento geotécnico del mismo las muestras tomadas son de tipo alteradas, es decir que no conserva las mismas condiciones del terreno natural del cual fue extraída. (Crespo V, 2004 & Montejo A, 2010).

2.7.3. Determinación de las propiedades físicas del suelo.

Para determinar las propiedades físicas de cada capa de suelo muestreado, es imprescindible la realización de varios ensayos, cuyos nombres identifican las características que determinan.

A continuación se describen los ensayos realizados en las distintas profundidades de las perforaciones del polígono estudiado:

2.7.3.1. *Contenido de humedad.*

Es la cantidad de agua que contiene una muestra de suelo dada en términos de su peso en seco, expresándose esta cantidad en porcentaje.

El suelo está constituido por tres componentes: las partículas sólidas, el aire y el agua. Esta propiedad es de gran importancia debido a que el comportamiento y la resistencia de los suelos están regidos por la cantidad de agua que poseen los mismos. (Montejo A, 2010).

La ecuación utilizada para determinar el contenido de humedad del suelo es la siguiente:

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} * 100 \quad \text{Ec. (2.3)}$$

Dónde:

W = contenido de humedad (%).

W_1 = peso del recipiente más suelo húmedo (g).

W_2 = peso del recipiente más suelo seco (g).

W_c = peso del recipiente (g).

2.7.3.2. *Análisis granulométrico.*

Para determinar la aceptabilidad de un suelo es muy importante conocer el análisis granulométrico del mismo.

Este ensayo comprende la determinación de la distribución de partículas de una masa de suelo proporcionada por medio de un proceso de tamizado; para lo cual se selecciona una cantidad de muestra representativa según la tabla 4:

Tabla 4: Masa de muestra mínima según el tamaño máximo de partículas.

Tamaño máximo de partículas mm	Tamiz	Masa de muestra mínima g
9.5 o menos	3/8"	500
19	3/4"	1000
25	1"	2000
38	1 1/2"	3000
50	2"	4000
75	3"	5000

Fuente: Norma AASTTO T88.

A continuación se muestra la Tabla 5 que presenta la clasificación granulométrica y la denominación del tamiz empleado.

Tabla 5: Clasificación por abertura del tamiz. A.S.T.M.

TAMIZ (ASTM)	Tamaño (mm)	DENOMINACIÓN
3"	76.12	GRAVA
2"	50.8	
1 1/2"	38.1	
1"	25.4	
3/4"	19.05	
3/8"	9.52	
No. 4	4.76	ARENA GRUESA
No. 10	2	ARENA MEDIA
No. 20	0.84	
No. 40	0.42	
No. 60	0.25	MATERIAL FINO
No. 140	0.105	
No. 200	0.074	

Fuente: Norma ASTM C 136, adaptada por la autora.

En el análisis granulométrico se puede identificar el porcentaje de muestra retenida y el porcentaje de masa que pasa en cada uno de los tamices, aplicando las siguientes ecuaciones respectivamente:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso acumulado retenido en cada tamiz}}{\text{Peso total}} * 100 \quad \text{Ec. (2.4)}$$

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado} \quad \text{Ec. (2.5)}$$

2.7.3.3. *Determinación de los Límites de Atterberg.*

Los Límites de Atterberg nos proyectan una visión clara de cómo el suelo se comporta al perder o estar en contacto con el agua. Estos límites de consistencia describen los diferentes estados de un suelo fino dependiendo del contenido de humedad el mismo; de esta manera se puede predecir los posibles asentamientos y expansiones de dicho suelo.

2.7.3.3.1. *Límite líquido.*

El límite líquido es el mayor contenido de humedad, para el cual la masa de suelo-agua pasa a un estado líquido. En este estado la masa se comporta como un fluido viscoso y por debajo de este contenido de humedad la mezcla se vuelve plástica. Cualquier cambio de humedad produce cambios de volumen en el suelo. (Crespo V, 2004 & Rico, 2005).

Para determinar el límite líquido se tomará el valor del contenido de humedad de la muestra que corresponda a 25 golpes en la intersección de la curva de fluidez.

2.7.3.3.2. *Límite plástico.*

El límite plástico es la mínima cantidad de agua con la cual la mezcla de suelo-agua pasa al estado plástico. En este estado el suelo se deforma bajo cualquier presión, por lo que presenta un comportamiento plástico, es decir, que tiene la capacidad de deformarse rápidamente sin recuperación elástica, su cambio de volumen no es apreciable y no tiende a desmoronarse.

Si se llega a tener un valor de límite plástico mayor que el límite líquido, la masa de suelo es considerada como no plástica (NP), y si tanto el límite líquido como el límite plástico no se

pueden determinar también se considera al suelo como no plástico. (Crespo V, 2004 & Rico, 2005).

El límite plástico se determina con la siguiente ecuación:

$$LP = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3} * 100 \quad \text{Ec. (2.6)}$$

Dónde:

LP = límite plástico.

m_1 = masa del recipiente más suelo húmedo (g).

m_2 = masa del recipiente más suelo seco (g).

m_3 = masa del recipiente (g).

Índice de plasticidad.

El índice de plasticidad es la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico, éste indica el rango del contenido de humedad en el cual el suelo puede permanecer en estado plástico.

$$\text{Índice de plasticidad} = \text{límite líquido} - \text{límite plástico} \quad \text{Ec. (2.7)}$$

2.7.3.4. Ensayo de compactación del suelo.

La compactación es el proceso de estabilización mecánica del suelo para aumentar su densidad en relación con su grado de humedad, es así que la compactación permite mejorar los siguientes aspectos:

- Aumenta la capacidad portante del terreno.
- Reduce el esponjamiento y asentamiento del suelo.
- Se obtienen homogeneidad y uniformidad del terreno.

- Reduce la permeabilidad, por lo que el suelo es menos susceptible a las variaciones de humedad.

Durante el proceso de compactación es importante el control del contenido de humedad para poder lograr la máxima densidad. El suelo debe tener un contenido óptimo de humedad, es decir una cantidad de agua exacta ni mucha ni poca, para que las partículas del suelo se deslicen unas de otras, ya que el agua actúa como un lubricante. (Crespo V, 2004).

2.7.3.5. Ensayo de C.B.R “Índice de Soporte California”.

Mediante el ensayo de C.B.R, se puede conocer la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones de humedad y densidad controladas; de esta manera se puede evaluar la calidad de los suelos de subrasante, sub-base y base de pavimentos.

Tabla 6: Categorías de la subrasante según el C.B.R.

Categorías de Subrasante	CBR
S0: Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3 % a CBR < 6%
S2: Subrasante Regular	De CBR ≥ 6 % a CBR < 10%
S3: Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% a CBR < 20%
S4: Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% a CBR < 30%
S5: Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: Ministerio transporte y comunicaciones, Perú (2013).

2.7.3.6. Ensayo DCP “Penetrómetro Dinámico de Cono”.

Este método permite evaluar la resistencia de los suelos inalterados o compactados in situ, pudiendo estimar el C.B.R. en campo el cual no es el mismo que el C.B.R determinado en el laboratorio debido a las condiciones de saturación al que es sometido, este ensayo además permite identificar los espesores de las capas.

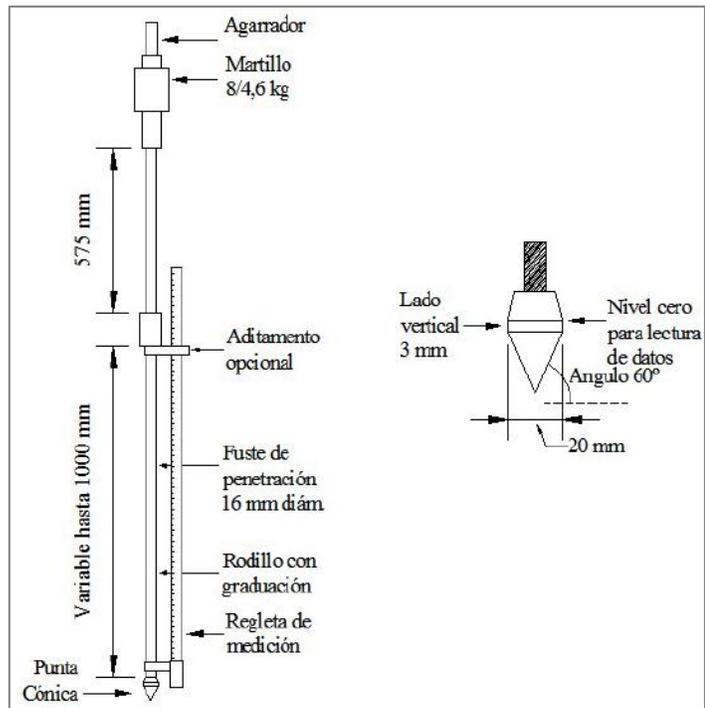


Figura 3: Esquema del D.C.P.

Fuente: Viscarra, F (2005).

CAPÍTULO III

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Recopilación de información.

Previo a la ejecución del proyecto se procedió a la indagación con el propósito de recopilar información acerca de la zona donde se realizó el estudio, para establecer las actividades necesarias a realizarse en este proyecto, tomando como referencia el mapa de la ciudad de Loja a escala 1:30.000.

3.2. Visita de campo a la zona de estudio.

A partir del mapa base de la ciudad de Loja, se realizó un recorrido conjuntamente con los docentes de la U.T.P.L, con el objeto de definir el área para el estudio de los materiales de subrasante.

3.3. Delimitación de la zona de estudio.

Una vez realizado el recorrido y tomando el mapa topográfico de la ciudad de Loja, se procedió a la asignación del polígono de estudio denominado “Carigan Sur”, el cual está ubicado en las siguientes coordenadas del mapa DATUM PSAD 56.

A (695000.00E; 9561876.00N).

B (696000.00E; 9561876.00N).

C (696000.00E; 9561667.03N).

D (697565.27E; 9561666.83N).

E (697565.27E; 9560354.34N).

F (695000.00E; 9560354.34N).

3.4. Ubicación e identificación de los puntos de muestreo.

En el mapa base se definieron los puntos de muestreo dando un total de 12, los mismo que fueron dispuestos a cada 500 m aproximadamente, la disposición de los puntos se lo realizó en base a la Tabla 3 la cual proporciona un criterio acerca del espaciamiento de las perforaciones y la profundidad de las mismas, considerando el tipo de zona en la cual se va a realizar el estudio, que en este caso es carreteras; posteriormente con ayuda de un GPS se realizó el recorrido dentro del polígono a fin de identificar la ubicación de dichos puntos.

3.5. Ensayos in situ.

Los ensayos que se realizaron en campo son:

- Ensayo estándar para el uso del penetrómetro dinámico de cono en estructuras de pavimentos (DCP).
- Ensayo del penetrómetro de bolsillo.

3.5.1. *Penetrometro Dinámico de Cono de 8 Kg (ASTM D 6951-03).*

El DCP permite evaluar la resistencia del suelo in situ además que mediante este método se puede conocer el C.B.R en campo, de manera rápida y económica, además que es método muy sencillo y no destructivo. Se registra la cantidad de golpes y la penetración acumulada en mm.

El ensayo de DCP se lo realizó en los puntos 4, 9, 10 y 12. (ANEXOS: Resultados de los estudios de las 12 calicatas - Anexo 4, 9, 10, y 12).



Imagen 2: Ejecución del ensayo DCP.

3.5.1.1. Correlación del equipo DCP con el C.B.R.

Para la correlación entre la penetración por golpe del DCP y el C.B.R, se ha utilizado las siguientes ecuaciones para su cálculo:

Tabla 7: Ecuaciones para determinar el C.B.R a partir del DCP.

Ecuación	Autor
$\log(CBR) = 2,465 - 1,12 \log(DCP)$	Kleyn 1975
$\log(CBR) = 2,6637 - 1,314 \log(DCP)$	Kleyn - Van Heerden 1983
$\log(CBR) = 2,792 - 1,31 \log(DCP)$	Harrison 1987

Fuente: La autora.

3.5.2. Penetrómetro de bolsillo (ASTM D 2573-94).

Este ensayo permite determinar la compresión inconfiada de las arcillas, el cual consiste en enterrar manualmente el penetrómetro a una profundidad determinada, registrando la presión necesaria para su penetración.



Imagen 3: Ensayo de penetrómetro de bolsillo.

Los resultados del ensayo de penetrómetro de bolsillo se muestran a continuación:

Tabla 8: Lecturas del penetrómetro de bolsillo.

Calicata N°	Esfuerzo de ruptura a compresión axial no confinada - Penetrómetro de bolsillo, q_u (kg/cm ²)
1	3,25
2	2,50
3	2,00
4	3,50
5	4,00
6	4,50
7	4,50
8	4,00
9	4,50
10	4,00
11	4,50
12	4,50

Fuente: La autora.

3.6. Obtención de muestras.

Para la obtención de muestras, una vez identificado el punto, se procedió a la excavación manual de la calicata ;retirando la capa vegetal, llegando a la profundidad de 0.50 m se realiza la extracción de la primera muestra, una cantidad aproximada de 3kg almacenada en fundas plásticas a fin de que conserve la humedad in situ, la cual será sometida a ensayos de laboratorio para determinar su contenido de humedad natural y a ensayos de clasificación para determinar el tipo de suelo, de igual manera se procede para las profundidades de 1.00 m y 1.50 m.



Imagen 4: Excavación manual para la obtención de muestras.

Adicionalmente a la profundidad de 1.50m se ha obtenido mayor cantidad de muestra a parte de los 3Kg (dos medios sacos), ya que ésta será sometida a los ensayos de Proctor Modificado y C.B.R, los mismos que requieren mayores cantidades de suelo para su elaboración.

Cada muestra extraída debe contar con su respectiva etiqueta de identificación, la misma que constará de datos como: número de calicata, profundidad de extracción, ubicación mediante coordenadas, localización del nivel freático si éste existe o no, y si el caso lo requiere alguna observación adicional.

Para el estudio de la subrasante en carreteras se requiere estudiar el suelo a la profundidad de 1.50 m como indica la Tabla 3, sin embargo se ha realizado la extracción de muestras a distintas profundidades con el objeto de determinar el perfil del suelo.

3.7. Realización de ensayos de laboratorio.

El desarrollo de los ensayos de laboratorio se los ejecutó considerando las normas pertinentes para cada ensayo, las cuales describen el proceso de ejecución de los mismos.

Como se ha mencionado anteriormente, la extracción de muestras a distintas profundidades tiene por objeto determinar el perfil del suelo, para lo cual es necesario conocer su clasificación, lo que conlleva a la realización de ensayos tales como:

- Contenido de humedad. (Profundidad: 0.50 m, 1.00 m y 1.50 m)
- Granulometría (Profundidad: 0.50 m, 1.00 m y 1.50 m).
- Límite líquido (Profundidad: 0.50 m, 1.00 m y 1.50 m).
- Límite plástico (Profundidad: 0.50 m, 1.00 m y 1.50 m).
- Proctor Modificado ((Profundidad: 1.50 m)
- C.B.R. (Profundidad: 1.50 m).

3.7.1. Contenido de humedad (CH), AASHTO T 265 – 93 (2000).

Se determinó el contenido de humedad de las muestras obtenidas a cada profundidad; es importante conocer la cantidad de agua presente en la masa de suelo ya que se puede estimar su posible comportamiento y el tratamiento a priori que se le debe dar, pues un suelo con contenido de humedad natural próximo al límite, es casi seguro de que se trate de un suelo sensitivo. Los resultados obtenidos se encuentran en: (ANEXOS: Resultados de los estudios de las 12 calicatas).

Tabla 9: Muestra de prueba de acuerdo al tamaño máximo de las partículas.

Tamaño máximo de la partícula	Masa mínima de muestra, g
0.425 mm (tamiz N° 40)	10
4.75 mm (tamiz N° 4)	100
12.5 mm (1/2 pulg)	300
25.0 mm (1 pulg)	500
50 mm (2 pulg)	1000

Fuente: Norma AASHTO T625-93 (2000).



Imagen 5: Muestra para determinar el contenido de humedad.



Imagen 6: Registro del peso.

3.7.2. Ensayo granulométrico, ASTM D 422 y AASHTO T 88.

Para la ejecución de este ensayo se ha aplicado el método mecánico, realizando primeramente la eliminación de material fino que pasa a través del tamiz N° 200 mediante el lavado de la muestra. Resultados:(ANEXOS: Resultados de los estudios de las 12 calicatas)



Imagen 7: Lavado de la muestra, utilizando el tamiz N° 200.

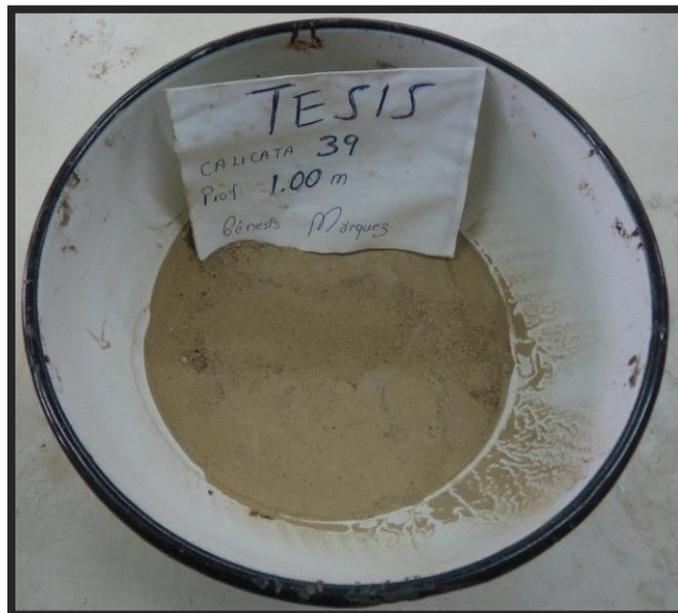


Imagen 8: Muestra seca después del lavado.



Imagen 9: Proceso de tamizado.

3.7.3. Límites de Atterberg.

Previo a la realización de los límites de Atterberg, la muestra fue secada al ambiente, para posteriormente ser triturada y pasada por el tamiz N° 40.



Imagen 10: Secado de la muestra al ambiente.

3.7.3.1. Límite líquido (LI) (ASTM D 4318, AASHTO T 89).

Para el desarrollo de este ensayo se ha tomado el procedimiento estándar, utilizando el equipo conocido como Copa de Casagrande, mediante el cual se determina el número de golpes necesarios para cerrar la ranura hecha en la misma, a intervalos no mayores de 5 golpes ni menores a 3 golpes y de este modo determinar el contenido de humedad de cada punto. Resultados:(ANEXOS: Resultados de los estudios de las 12 calicatas).

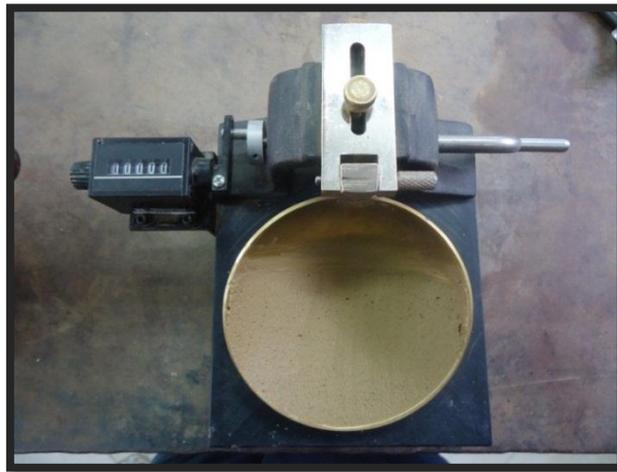


Imagen 11: Muestra colocada en la copa, previa al desarrollo del ensayo.



Imagen 12: Ranura cerrada después de un determinado número de golpes.

3.7.3.2. Límite plástico (L_p) (ASTM D 4318, AASHTO T 90).

Se determina el contenido de humedad de la muestra cilíndrica, cuando ésta presente agrietamiento, caso contrario la muestra se seguirá remoldando hasta que presente fisuras, tal como se muestra en la siguiente fotografía.



Imagen 13: Cilindro agrietado, de 3 mm de diámetro aproximadamente.

3.7.4. Ensayo proctor modificado (ASTM D 1557, AASHTO T 180).

Se aplica este ensayo para determinar la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo de los suelos.



Imagen 14: Ensayo de compactación, colocación de la muestra en el cilindro.



Imagen 15: Enrasado de la muestra después de compactada.

3.7.5. Realización y obtención del C.B.R de diseño.

Se emplea este ensayo para determina la capacidad de soporte de los suelos de subrasante tomados a la profundidad de 1.50 m, cabe recalcar que para la ejecución de este ensayo fueron indispensables los resultados de la densidad seca máxima y el óptimo contenido de humedad del ensayo de compactación. Resultados del ensayo C.B.R:(ANEXOS: Resultados de los estudios de las 12 calicatas).



Imagen 16: Inmersión de las probetas.



Imagen 17: Ensayo de penetración.

3.7.6. C.B.R de diseño.

El C.B.R de diseño es un valor determinado a partir de todos aquellos valores que se obtuvieron en una misma zona de estudio, considerando el tipo de tráfico que circulara en las futuras obras de vialidad de dicha zona. Resultados:(ANEXOS: Determinación del C.B.R de diseño).

Tabla 10: Límites de diseño de subrasante.

Clase de tránsito	Nivel de tránsito (N)	Valor del diseño %
Liviano	10^4 o menos	60%
Mediano	$10^4 - 10^6$	75%
Pesado	mayor de 10^6	87.50%

Fuente: Montejo A, (2010).

3.7.7. Elaboración de una base de resultados de las características de los materiales de subrasante.

Los resultados de los ensayos in situ y de laboratorio se presentan en los anexos donde se puede observar la clasificación a cada profundidad, la capacidad de soporte y el perfil de cada calicata.

3.7.8. Estudio del material de la Cantera Zalapa.

Para obras de infraestructura vial las autoridades municipales utilizan como material de mejoramiento el suelo extraído de las canteras: Juan José Castillo y Zalapa, considerando los fines económicos en cuanto a transporte se refiere, se ha realizado el estudio de la cantera Zalapa ya que esta se encuentra próxima al polígono de estudio.

Para realizar el estudio de la cantera Zalapa, se ha sometido al material extraído de ésta a los ensayos de: contenido de humedad, granulometría, límite líquido, límite plástico, proctor modificado y C.B.R aplicando las normas pertinentes, adicionalmente se realizó el ensayo de abrasión AASTHO T 96.

3.7.9. Generación de un mapa de zonificación de acuerdo a las características físico-mecánicas del suelo.

Para la generación de los mapas de zonificación geotécnica; en el desarrollo de estas propuestas se ha empleado la herramienta de análisis de proximidad para crear polígonos de Thiessen debido a que se obtiene una mejor designación del área de influencia de cada punto de muestreo.

3.7.9.1. Propuesta de zonificación geotécnica en función de la clasificación del suelo.

Para la elaboración de esta propuesta se han tomado los resultados de clasificación de los suelos de cada una de las calicatas a la profundidad de 1.50 m, profundidad de análisis de la subrasante.

Primero se procedió a generar una codificación para los diferentes tipos de suelos, cuyos códigos serán empleados para la proyección del mapa.

Además para mejorar la proyección del mapa se ha introducido información complementaria dentro de los tipos de suelos con su respectiva codificación.

Tabla 11: Información específica de cada tipo de suelo.

Tipo de suelo	
Grupo A-1 Subgrupos: A-1-a y A-1-b	Fragmentos de rocas, gravas y arenas
Grupo A-3	Arenas finas
Grupo A-2 Subgrupos: A-2-4, A-2-5, A-2-6 y A-2-7	Gravas y arenas limosas o arcillosas
Grupos: A-4 y A-5	Suelos limosos
Grupos: A-6 y A-4 Subgrupos: A-7-5 y A-7-6	Suelos arcillosos

Fuente: La autora.

A continuación se presenta la Tabla 14, la misma que contiene los datos empleados para la elaboración de esta propuesta.

La simbología utilizada, para identificar un tipo de suelo de otro, para la zonificación por clasificación de los suelos, es referente a la norma AASHTO.

.El resultado de la generación de este mapa se lo puede observar en el anexo 7.3 Mapa de zonificación en función del tipo de suelo.

3.7.9.2. Propuesta de zonificación geotécnica en función de la capacidad de soporte del suelo.

De igual manera para el desarrollo de esta propuesta se han utilizado los resultados de CBR realizados a la profundidad de 1.50m de los distintos tipos de suelos.

La Tabla 15 muestra la denominación a las diferentes clases de subrasante con su respectivo código, esta tabla ha sido generada para elaborar el mapa de zonificación de esta propuesta.

En la Tabla 16, se muestra los datos utilizados para la realización del mapa de zonificación en función de la capacidad de soporte del suelo.

Se debe resaltar que los colores utilizados para la zonificación por capacidad de soporte, son exclusivamente para identificar un tipo de suelo del otro.

El resultado de la generación de este mapa se lo puede observar en el anexo 7.4 Mapa de zonificación en función de la capacidad portante del suelo.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los valores obtenidos del estudio de los materiales de subrasante del polígono “Carigan Sur”, pudiendo de esta manera tener una perspectiva general de la calidad de dichos suelos.

❖ Lo que concierne al contenido de humedad natural, se pudo observar los siguientes rangos de humedades, a las distintas profundidades:

- Profundidad 0.50 m: C.H varía entre 10% y 35%.
- Profundidad 1.00 m: C.H varía entre 16% y 38%.
- Profundidad 1.50 m: C.H varía entre 14% y 34%.

Los resultados de contenidos de humedad natural de la calicata número 3 no se han incluido dentro de los rangos anteriores, ya que en este punto de muestreo las humedades son mayores siendo 44%, 55% y 75% a las profundidades de 0.50 m, 1.00 m y 1.50 m respectivamente; se han obtenido valores altos debido a la presencia del nivel freático a la profundidad de 0.50m, esto se debe a que este punto de muestreo se encuentra cerca de la quebrada La Banda.

❖ Valores de límite líquido.

- Profundidad 0.50 m: L.L entre 32% y 85%.
- Profundidad 1.00 m: L.L entre 33% y 86%.
- Profundidad 1.50 m: L.L entre 31% y 82%.

❖ Valores de índice de plasticidad:

- Profundidad 0.50 m: I.P varía entre 14 y 61.
- Profundidad 1.00 m: I.P varía entre 14 y 61.
- Profundidad 1.50 m: I.P varía entre 11 y 55.

❖ En cuanto a una clasificación de los suelos mediante la norma AASHTO se obtuvieron los siguientes resultados:

- *Profundidad 0.50 m:* en esta profundidad se obtuvieron suelos en su gran mayoría A-7-6 y dos calicatas con suelo A-6.
- *Profundidad 1.00 m:* la mayoría de suelos se clasificaron como A-7-6, dos calicatas con A-6 y una con A-2-6.
- *Profundidad 1.50 m:* al igual que las profundidades anteriores se tiene suelos en su gran mayoría de clasificación A-7-6 en su gran mayoría, una muestra A-2-6 y otra A-6.

Por lo que se puede apreciar que los suelos en su gran mayoría son arcillas.

- ❖ Los valores de densidad seca máxima del proctor modificado varían entre 1380 kg/m³ y 1940 kg/m³, y los valores de contenido de humedad óptima de este mismo ensayo se encuentran entre 12% y 28%.
- ❖ Los valores de C.B.R de la subrasante al 95% de compactación varían entre 1% y 5% para los suelos clasificados como A-7-6.

El C.B.R de diseño determinado por el método de las frecuencias, calculado en base a los valores de C.B.R obtenidos en laboratorio de cada una de las calicatas, es del 1.30% leído al 75% ya que se ha considerado que el tráfico a circular en la zona sería mediano.

El CBR de diseño por el método de las frecuencias se lo realizó únicamente para la zona 1, la cual comprende solamente los suelos de tipo A-7-6.

A continuación se presenta un cuadro resumen en función de la clasificación del suelo y su capacidad portante:

- ❖ El material de mejoramiento de la cantera Zalapa presenta las siguientes características:
 - Contenido de humedad óptimo: 7.37%
 - C.B.R: 31%
 - Desgaste:46%

Debido a que se obtuvo un porcentaje de desgaste igual al 46%, cuyo valor es cercano a lo que estipula la normativa (desgaste: 50% máximo), se ha visto la necesidad de realizar una mezcla con material de río (60% material de cantera y 40% material de río), a fin de mejorar sus propiedades físico-mecánicas dando los siguientes resultados:

- Desgaste: 35%
- Contenido de humedad óptimo: 7.39%
- C.B.R: 33%

CONCLUSIONES

- En lo que concierne a los ensayos de clasificación de suelos de los 12 puntos de muestreo, por el método AASHTO, se observa que 9 calicatas que representan el 83.33% del total son suelos A-7-6, clasificados por la norma como suelos arcillosos con alto contenido de humedad y una calicata (8.33%) con suelo tipo A-6 igualmente es suelo arcilloso, por lo que se observa que el 91.66% de los puntos estudiados son suelos de este tipo.
- El C.B.R de diseño, calculado por el método de las frecuencias, del polígono en estudio dio como resultado el 1.30 %, esto debido a que en la gran mayoría de las calicatas se obtuvieron rangos de C.B.R al 95% de compactación entre el 1% y 5% lo que representa una subrasante de pobre a inadecuada, excepto dos calicatas con subrasante muy buena cuyos resultados de C.B.R fueron 21% y 27%.
- Se tiene una subrasante inadecuada para implantar una estructura de pavimento, debido a que el C.B.R de diseño de la zona es muy bajo, ya que se tiene en gran mayoría suelos arcillosos de alta plasticidad que pueden estar sujetos a cambios volumétricos importantes.
- Debido a que el CBR de diseño no cumple con la normativa vigente, la cual estipula que la subrasante debe cumplir con un CBR del 30 % o mayor para ser adecuada para implantar la estructura del pavimento, se ha visto la necesidad de realizar el análisis de un material de mejoramiento.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar material de mejoramiento con el objeto de optimizar la calidad de los suelos de subrasante, para este propósito se sugiere utilizar material de préstamo de la cantera Zalapa ya que por fines económicos en cuanto a transporte ésta se encuentra cercana a la zona de estudio y es utilizada por el municipio del cantón Loja.
- A su vez se recomienda mejorar el material de la cantera Zalapa, aunque cumple con las especificaciones de la normativa vigente su porcentaje de desgaste es cercano al límite, por lo que se propone una mezcla que puede estar entre el 60% de material de la cantera Zalapa y 40% de material de río.
- Las propuestas de los mapas de zonificación geotécnica tanto en función de la clasificación del suelo y la capacidad portante del mismo, realizados en este proyecto pueden ser utilizados como parámetros básicos e indispensables para la planificación de obras civiles aplicadas a la infraestructura vial de la ciudad de Loja.

BIBLIOGRAFÍA

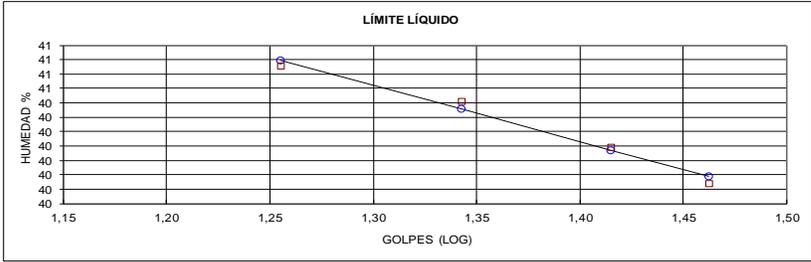
- AASTHO – T21; —Análisis Granulométrico.
- AASHTO –T180; —Compactación de Suelos.
- AASHTO - T 265; —Contenido de humedad.
- AASHTO –T89; —Límites de atterberg.
- AASTHO – T96; — Método estándar de ensayo a la abrasión del agregado grueso de tamaño pequeño usando la Maquina de los Ángeles.
- AASHTO –T193; —Relación de Soporte de California.
- Alvarez, J. *Estabilización de subrasantes* (pdf). Recuperado de http://anfacal.org/media/Biblioteca_Digital/Construccion/Estabilizacion_de_Suelos (09/2014).
- ASTM C – 136; Método estándar de ensayo para análisis, por tamizado, de agregados finos y gruesos.
- ASTM INTERNATIONAL, Designación D 6951-03; —Método de ensayo estándar para el uso del Penetrómetro Dinámico de Cono en estructuras de pavimentos.
- Braja Das. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Mexico: Editorial Thomson International.
- Crespo Villalaz. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. Quinta edición. Editorial Limusa – Noriega.
- Montejo Fonseca, A. (2010). *Ingeniería de Pavimentos*. Colombia: Tercera edición Tomo 1. Editorial Panamericana Formas e Impresas S.A.
- Ministerio de transportes y comunicaciones, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del Perú. (2013). *Manual De Diseño De Carreteras Pavimentadas De Bajo Volumen De Tránsito*. Lima: Autor.

- Norma ecuatoriana vial. (2013). *Volumen N° 3. Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes*. Quito: Autor.
- Norma ecuatoriana vial. (2013). *Volumen N° 2B Norma para Estudio y Diseño Vial*. Quito: Autor.
- Rico, Del castillo. (2005). *La Ingeniería De Los Suelos En Las Vías Terrestres: Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas. Volumen 1*. Editorial Limusa.
- Ruiz C. *Materiales para Caminos*. Recuperado de <http://ingenieriacivilfsa.blogspot.com/2012/05/libros-de-la-escuela-de-graduados-de.html> (09/2014).
- Viscarra A. F. (2005). *El cono dinámico de penetración y su aplicación en la evaluación de suelos*. Recuperado de <http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fcivil.upb.edu%2Ffiles%2F2010%2F11%2FEL-CONO-DIN%25C3%2581MICO-DE-PENETRACI%25C3%2593N-Y-SU-APLICACI%25C3%2593N-EN-LA-EVALUACI%25C3%2593N-DE-SUELOS.pdf&ei=iPSSVOb0A4ibNqKygegN&usg=AFQjCNEQBZY3VNksJKfJR4Z2FCIqgI9LUw&bvm=bv.82001339,d.eXY>. (09/2014).

ANEXOS

7.1. Resultados de los estudios de las 12 calicatas.

7.1.1. Anexo 1. Calicata N° 1.

 DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL						
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN						
INF-LAB-DGM-IC-06-2014 PROYECTO : "CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DE SUBRASANTE EN ZONAS NO URBANIZADAS DE LA CIUDAD DE LOJA, APLICADAS A OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL EN EL POLÍGONO DENOMINADO CARIGAN SUR" OBRA : ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE LOCALIZACIÓN: CARIGAN SUR DATUM PSAD 56 (695811 E, 9561754N) NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27 SOLICITADO: POR DIRECTORA DE PROYECTO DE FIN DE TITULACIÓN CALICATA: 1 REALIZADO POR : GÉNESIS M. MÁRQUEZ V. MUESTRA: 1 FECHA : 23 -10 -2013 PROFUNDIDAD: 0,50 m						
	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		288,78 258,91	248,60 220,30	62,29 37,99	21,57 21,18	21,37
2.- LÍM. LÍQUIDO	18 22 26 29	40,84 38,74 39,04 39,43	37,99 36,40 36,55 36,90	30,98 30,61 30,34 30,55	40,66 40,41 40,10 39,84	40,14
3.- LÍMITE PLÁSTICO		62,82 72,39	62,57 72,12	61,24 70,67	18,80 18,62	18,71
4.- GRANULOMETRÍA			5.- CLASIFICACIÓN			
PESO IN= 545,33 (H/S) S PESO INICIAL DE CÁLCULO: 545,33			GRAVA 0 ARENA 31 FINOS 69			
TAMZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 40,00 LP = 19,00 IP = 21,00 CLASIFICACIÓN SUCS : CL AASHTO: A-6 IG(86): 13 IG(45): 11		
1"	0,00	0	100			
3/4"	0,00	0	100			
1/2"	0,00	0	100			
3/8"	0,00	0	100			
No. 4	0,00	0	100			
No. 10	10,94	2	98			
No. 40	32,64	6	94			
No. 200	167,63	31	69			
						
CLASIFICACIÓN AASHTO: Suelo Arcilloso (A-6)						
Observaciones: La toma de muestras es realizada por el profesional en formación y llevada al laboratorio de la UTPL.						
MSc. Carmen Esparza V. DIRECTORA DE PROYECTO DE FIN DE TITULACIÓN			Génesis Márquez V. PROFESIONAL EN FORMACIÓN			



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

INF-LAB-DGM-IC-06-2014

PROYECTO : "CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DE SUBRASANTE EN ZONAS NO URBANIZADAS DE LA CIUDAD DE LOJA, APLICADAS A OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL EN EL POLÍGONO DENOMINADO CARIGAN SUR"

OBRA : ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27

LOCALIZACIÓN: CARIGAN SUR DATUM PSAD 56 (695811 E, 9561754N)

CALICATA: 1

SOLICITADO: POR DIRECTORA DE PROYECTO DE FIN DE TITULACIÓN

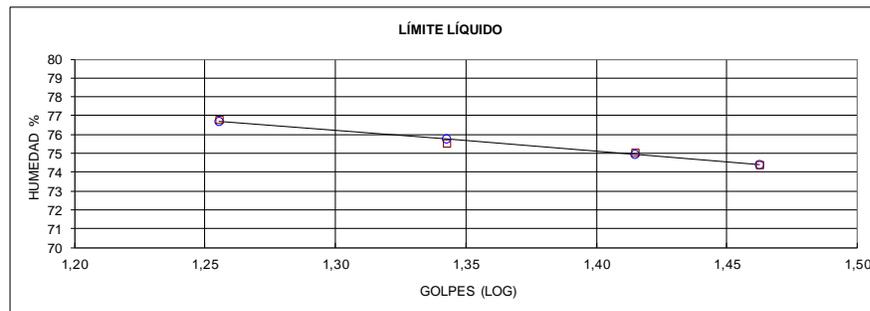
MUESTRA: 2

REALIZADO POR : GÉNESIS M. MÁRQUEZ V.

PROFUNDIDAD: 1,00 m

FECHA : 23 - 10 - 2013

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		208,58	173,70	66,06	32,40	32,59
		224,60	185,23	65,14	32,78	
2.- LÍM. LÍQUIDO	18	72,71	68,97	64,10	76,80	75,12
	22	69,54	66,11	61,57	75,55	
	26	68,54	64,51	59,14	75,05	
	29	69,50	65,61	60,38	74,38	
3.- LÍMITE PLÁSTICO		32,44	32,16	30,98	23,73	23,40
		32,11	31,84	30,67	23,08	
4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN		
PESO IN= 555,22 (H/S)		S		GRAVA		0
PESO INICIAL DE CÁLCULO:		555,22		ARENA		19
				FINOS		81
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 75,00		
1"	0,00	0	100	LP = 23,00		
3/4"	0,00	0	100	IP = 52,00		
1/2"	0,00	0	100			
3/8"	0,00	0	100	CLASIFICACIÓN		
No. 4	0,00	0	100	SUCS : CH		
No. 10	4,81	1	99	AASHTO: A-7-6		
No. 40	17,58	3	97	IG(86): 45		
No. 200	103,35	19	81	IG(45): 20		



CLASIFICACIÓN AASHTO: Suelo Arcilloso (A-7-6)

Observaciones: La toma de muestras es realizada por el profesional en formación y llevada al laboratorio de la UTPL.

MSc. Carmen Esparza V.
DIRECTORA DE PROYECTO DE
FIN DE TITULACIÓN

Génesis Márquez V.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN