



# UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

*La Universidad Católica de Loja*

## ÁREA TÉCNICA

TÍTULO 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 “Borja”**

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

**AUTOR:** Riofrío Riofrío, Luis Fabián

**DIRECTOR:** Tapia Chávez, Ángel Guillermo, M.Sc.

LOJA – ECUADOR

2015

## **APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN**

Ingeniero.

Ángel Guillermo Tapia Chávez.

### **DOCENTE DE LA TITULACIÓN**

De mi consideración:

El presente trabajo de fin de titulación, denominado: “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 Borja”, realizado por el profesional en formación: Riofrío Riofrío Luis Fabián, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba su presentación.

Loja, abril del 2015

---

Ing. Ángel Guillermo Tapia Chávez

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo **Riofrío Riofrío Luis Fabián**, declaro ser autor 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 Borja” de la titulación de Ingeniero Civil, siendo Tapia Chávez Ángel Guillermo director 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. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que 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 o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

f. \_\_\_\_\_

Autor: Riofrío Riofrío, Luis Fabián

Cédula: 1104848880

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo primeramente a Dios y la Virgen del Cisne, por las bendiciones y fortaleza brindada para alcanzar esta meta. De la misma forma este trabajo está dedicado principalmente a mis queridos padres Sergio y Rosita por su amor constante y apoyo incondicional. A mis hermanos Anita, Germania, Sergio, Marco, Olivia, Jorge y Juan; a mis maravillosos sobrinos, por siempre estar ahí, por tanto cariño y apoyo en todas las formas posibles.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero dejar constancia de mi agradecimiento a todas aquellas personas que de una manera u otra ayudaron a la culminación de este trabajo.

A mi tutor Ing. Ángel Tapia, quien gracias a su apoyo, sus valiosos conocimientos y colaboración para lograr una correcta realización de este proyecto. De la misma forma a la Ing. Carmen Esparza, por toda su paciencia, conocimientos y la ayuda brindada en el desarrollo del presente trabajo.

A mis queridos padres y hermanos, gracias por ser la inspiración que me permite alcanzar esta nueva meta en mi vida.

A mis tíos Wilmer y Alicia, a mis primos Ximena, Paúl y Geovanny por acogerme en su hogar y brindarme su apoyo día a día durante mi transitar universitario.

A todos mis amigos y compañeros, en especial a Jimmy Alverca, Jonathan Barragán, Marco Yaguachi y José Luis Caraguay, por colaborar conmigo de diversas maneras en el desarrollo de este trabajo, y por su valiosa amistad gracias.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN .....</b>	<b>II</b>
<b>DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....</b>	<b>III</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>IV</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>XI</b>
<b>ABREVIATURAS .....</b>	<b>XII</b>
<b>SIMBOLOGÍA.....</b>	<b>XIII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>3</b>
<b>1. GENERALIDADES.....</b>	<b>3</b>
1.1    Introducción.....	4
1.2    Contexto.....	4
1.3    Objetivos.....	5
1.3.1    Objetivo general.....	5
1.3.2    Objetivos específicos.....	5
1.4    Justificación.....	5
1.5    Beneficios esperados.....	5
1.6    Delimitación y limitación del proyecto.....	6
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>7</b>
<b>2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....</b>	<b>7</b>
2.1    Introducción.....	8
2.2    La Subrasante.....	8
2.3    Exploración de la subrasante.....	9

2.4	Propiedades de los materiales de subrasante. ....	9
2.5	Clasificación de un suelo. ....	9
2.5.1	Contenido de humedad. ....	10
2.5.2	Granulometría.....	11
2.5.3	Plasticidad. ....	12
2.5.3.1.	Límite líquido .....	12
2.5.3.2.	Límite plástico .....	13
2.5.3.3	Índice de plasticidad (IP) .....	13
2.5.3.4	Límite de contracción. ....	13
2.5.4	Clasificación de suelos por el método AASHTO .....	13
2.6	Identificación y descripción de suelos por el procedimiento visual-manual. ....	15
2.7	Ensayo del penetrómetro de bolsillo. ....	16
2.8	Relación Humedad-Densidad (Compactación). ....	17
2.9	Capacidad de soporte del suelo.....	17
2.9.1	Ensayo de relación de soporte California (C.B.R.).....	18
2.8.8.1.	Ensayo del penetrómetro dinámico de cono (D.C.P.).....	19
2.9.2	Módulo de reacción de la subrasante (k). ....	20
2.9.3	Módulo Resiliente del suelo (Mr).....	20
2.10	Materiales de subrasante adecuados. ....	21
<b>CAPÍTULO III .....</b>		<b>23</b>
<b>3. METODOLOGÍA.....</b>		<b>23</b>
3.1	Enfoque metodológico. ....	24
3.2	Desarrollo del proyecto.....	24
3.2.1	Recopilación de información.....	24
3.2.2	Visita de campo de la zona de estudio.....	24
3.2.3	Delimitación de la zona de estudio. ....	25
3.2.4	Identificación y ubicación por áreas y coordenadas de los puntos de muestreo. 25	
3.2.5	Obtención de muestras a nivel de subrasante y ensayos realizados en situ. ...	26

3.2.6	Realización de ensayos de laboratorio de las muestras obtenidas. ....	27
3.2.7	Análisis de resultados obtenidos.....	28
3.2.7.1.	Determinación del C.B.R. de diseño. ....	28
3.2.7.2.	Correlación datos D.C.P. con valores de C.B.R. en situ. ....	29
3.2.7.3	Estudio de los materiales de mejoramiento. ....	30
3.2.8	Elaboración de una base de resultados de las características de los materiales de subrasante.....	31
3.2.9	Generación de un mapa de zonificación de acuerdo a los parámetros físicos-mecánicos del suelo. ....	31
3.2.9.1.	Mapa de caracterización de acuerdo al tipo de suelo. ....	32
3.2.9.2	Mapa de zonificación de acuerdo a la capacidad de soporte del suelo.....	33
<b>CAPÍTULO IV</b>	.....	<b>36</b>
<b>4. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	.....	<b>36</b>
4.1	Resultados de los ensayos para determinar las características físicas de los materiales de subrasante. ....	37
4.2	Resultados de los ensayos para determinar las características ingenieriles de los materiales de subrasante. ....	38
4.2.1	Resultados del C.B.R. de diseño. ....	39
4.3	Resultados de las características de los materiales de mejoramiento.....	39
<b>CONCLUSIONES</b>	.....	<b>42</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	.....	<b>44</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	.....	<b>45</b>
<b>ANEXOS</b>	.....	<b>47</b>
<b>ANEXO I: ENSAYOS DE LABORATORIO</b>	.....	<b>48</b>
Calicata 1	.....	49
Calicata 2	.....	57
Calicata 3	.....	65
Calicata 4	.....	73
Calicata 5	.....	81
Calicata 6	.....	89

Calicata 7 .....	96
Calicata 8 .....	104
Calicata 9 .....	112
Calicata 10 .....	120
Calicata 11 .....	128
Calicata 12 .....	136
PERFILES DE LOS SUELO .....	144
<b>ANEXO II: MATERIALES DE LA CANTERA JUAN JOSÉ CASTILLO Y COMBINACIÓN DE MATERIAL DE CANTERA J.J CASTILLO CON MATERIAL DEL RIO MALACATOS</b>	<b>157</b>
Materiales originales de la cantera Juan José Castillo .....	158
Combinación de material de la cantera J. J. Castillo y material del río Malacatos .....	161
<b>ANEXO III: MAPAS DE ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA .....</b>	<b>168</b>
Mapa de identificación de los puntos de muestreo. ....	169
Mapa de zonificación de acuerdo a tipo de suelo según AASHTO. ....	170
Mapa de zonificación geotécnica en función a la capacidad portante del suelo. ....	171
<b>ANEXO FOTOGRÁFICO .....</b>	<b>172</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición del suelo.....	10
Figura 2. Análisis por tamizado.....	11
Figura 3. Estados de consistencia de un suelo.....	12
Figura 4. Gráfico de plasticidad.....	15
Figura 5. Signos convencionales para perfil de calicatas-Clasificación AASHTO.....	16
Figura 6. Ubicación de pozos de sondeo en el polígono Borja.....	27
Figura 7. Gráfica de frecuencias para determinar el C.B.R. de diseño.....	39
Figura 8. Curva granulométrica materiales originales de la cantera Juan José Castillo. ....	41
Figura 9. Curva granulométrica materiales combinados de la cantera Juan José Castillo y materiales del río Malacatos. ....	41

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de suelos según AASHTO.....	14
Tabla 2. Clasificación de suelos según el valor de C.B.R .....	18
Tabla 3. Clasificación de los suelos de subrasante.....	19
Tabla 4. Valores de C.B.R. en relación al tipo de suelo .....	19
Tabla 5. Categorías de la subrasante .....	21
Tabla 6. Coordenadas de los vértices del polígono Borja .....	25
Tabla 7. Coordenadas de las calicatas. ....	26
Tabla 8. Ensayos de laboratorio .....	28
Tabla 9. Límites de diseño de subrasante.....	29
Tabla 10. Límites granulométricos para agregados no tratados .....	31
Tabla 11. Clasificación AASHTO y sus respectivos tipos de suelos.....	32
Tabla 12. Codificación y clasificación de cada uno de los pozos de sondeo según AASHTO. .....	33
Tabla 13. Categorización del suelo y sus características como subrasante.....	34
Tabla 14. Codificación y ubicación de cada uno de los pozos de sondeo.....	34
Tabla 15. Resumen de datos y clasificación AASHTO de los suelos .....	37
Tabla 16. Resumen de resultados de propiedades ingenieriles de los suelos en estudio. ...	38
Tabla 17. Tabla de resultados de ensayos a materiales de cantera en estado original y combinación de materiales de cantera con materiales de río.....	40

## ABREVIATURAS

<b>A.A.S.H.T.O.</b>	American Association of State Highway and Transportation Officials.
<b>A.S.T.M.</b>	American Society for Testing Materials.
<b>S.I.G</b>	Sistemas de Información Geográfica.
<b>D.G.M.I.C.</b>	Departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil.
<b>S.U.C.S.</b>	Sistema unificado de clasificación de suelos.
<b>U.T.P.L.</b>	Universidad Técnica Particular de Loja.
<b>W</b>	Contenido de humedad.
<b>L.L.</b>	Límite líquido.
<b>L.P.</b>	Límite plástico.
<b>L.C.</b>	Límite de contracción.
<b>I.P.</b>	Índice de plasticidad.
<b>I.G.</b>	Índice de grupo.
<b>C.B.R.</b>	Valor de Soporte California.
<b>D.C.P.</b>	Penetrómetro Dinámico de Cono.
<b>Mr.</b>	Módulo resiliente.

## SIMBOLOGÍA

<b>μm</b>	Micrómetro.
<b>mm</b>	Milímetro.
<b>cm</b>	Centímetro.
<b>m</b>	Metro.
<b>CH</b>	Arcilla de alta plasticidad.
<b>CL</b>	Arcilla de baja plasticidad.
<b>MH</b>	Limo de alta plasticidad.
<b>ML</b>	Limo de baja plasticidad.
<b>SM</b>	Arena limosa.
<b>k</b>	Módulo de reacción de la subrasante.
<b>MPa</b>	Mega Pascal.
<b>kN</b>	Kilo Newton.
<b>psi</b>	Libra-fuerza por pulgada cuadrada.
<b>g</b>	Gramo.
<b>kg</b>	Kilogramo.
<b>cm<sup>2</sup></b>	Centímetro cuadrado.
<b>cm<sup>3</sup></b>	Centímetro cubico.
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cubico.

## RESUMEN

El proyecto tiene como objetivo dar a conocer las características físico-mecánicas de los materiales de subrasante de las zonas no urbanizadas de la ciudad de Loja, aplicadas a obras de infraestructura vial, dentro del polígono de estudio denominado Borja. Características como: clasificación de suelo y capacidad de soporte de los suelos, se obtendrán de los materiales existentes a 1.50 metros de profundidad en cada una de las calicatas que se encuentran ubicadas estratégica y uniformemente distribuidas dentro del área en estudio.

Con la información obtenida se creará mapas de zonificación de la zona de estudio en función a los tipos de suelo y mapas en función de la capacidad portante del suelo, con el fin de crear una base de datos con las propiedades geotécnicas de los materiales de subrasante de las zonas no urbanas. Esta base de datos permitirá desarrollar una planificación de la futura infraestructura urbana de la ciudad, de una manera ordenada y tecnificada de acuerdo a las ordenanzas Municipales, y normativas de diseño vigentes.

**Palabras claves:** Infraestructura, calicatas, clasificación, capacidad de soporte, propiedades geotécnicas, zonificación, estratégico, tecnificada.

## ABSTRACT

The project aims to make known the physical-mechanical characteristics of subgrade materials of non-urbanized areas of Loja city, applied to works of road infrastructure within the polygon of study called Borja. Characteristics such as: classification of soil and bearing capacity of soils, shall be drawn from existing materials to 1.50 meters deep in each of testpits that are strategically located and evenly distributed within the study area.

With the information obtained will be created zoning maps of the study area based to soil types and maps depending on the bearing capacity of soil, with the purpose of create a database with the geotechnical properties of subgrade materials of non-urban areas. This database will allow develop a planning of future urban infrastructure of the city, in an orderly manner and technified, according to municipal ordinances, and design regulations existing.

**Keywords:** Infrastructure, testpits, classification, bearing capacity, geotechnical properties, zonification, strategic, technified.

**CAPÍTULO I**  
**GENERALIDADES**

## **1.1 Introducción.**

La construcción de caminos ha sido objeto de estudio durante varios años. En la actualidad se conocen varios tipos de caminos, como son, calles, carreteras, autopistas y aeropistas, todos estos dependiendo del tipo de tránsito que por ellas circulen. Las carreteras que presentan una gran extensión llegan a formar redes viales que comunican países, estados, provincias, cantones, parroquias y barrios.

Cada una de estas infraestructuras viales están conformadas por un paquete estructural constituido por capas de suelo debidamente estudiados, a este conjunto se lo conoce como pavimento, existen varios tipos de pavimentos entre los más conocidos están: los pavimentos flexibles, pavimentos rígidos y pavimentos articulados, sus nombres dependen del tipo de material (asfalto, hormigón, o adoquines) del cual está compuesta su capa de rodadura.

El punto de partida para el diseño óptimo y construcción adecuada en todo tipo de pavimento es el conocimiento de las propiedades físico-mecánicas de los materiales que constituyen el suelo o plataforma sobre la cual será implementada el paquete estructural del pavimento, a esta plataforma se la conoce como subrasante. El estudio de estos materiales debe hacerse mediante calicatas de cierta profundidad y determinada distancia a lo largo de la faja longitudinal del proyecto una vez aprobada, la profundidad y distancia entre calicatas depende del tipo de vía a construirse, estos análisis deben regirse a las solicitudes que exigen las normativas vigentes para construcción de vías, o en otros casos estos parámetros deben ser dispuestos por un profesional con amplia experiencia en el estudio de suelos.

## **1.2 Contexto.**

El desarrollo del presente proyecto tiene como finalidad obtener información de los materiales de subrasante de los sectores no urbanizados de la Ciudad de Loja. El estudio está enfocado en la obtención de características físico-mecánicas de la subrasante como son: clasificación del suelo, capacidad de soporte del suelo tanto in situ y de laboratorio.

Finalizado el estudio se contará con información básica y fundamental con vista a la implementación de infraestructura vial en un futuro cercano. Además los datos obtenidos servirán como un punto de partida o referencia para investigaciones más profundas sobre los materiales de fundación existentes en la zona.

### **1.3 Objetivos.**

#### **1.3.1 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 denominado “Borja”.

#### **1.3.2 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 físico-mecánicos del suelo.

### **1.4 Justificación.**

En la región sur del país especialmente en nuestra ciudad existen problemas relacionados con la vialidad urbana. La presencia de deflexiones excesivas, baches y otras irregularidades en la superficie del pavimento causan malestar e incomodidad al tránsito vehicular.

La falta de conocimiento de las características físico-mecánicas de los materiales de subrasante previo al diseño de las estructuras de pavimento, es el factor desencadenante de las fallas en las calles y avenidas de la ciudad de Loja.

Las condiciones físicas desfavorables de la vialidad actual y el crecimiento urbanístico de la ciudad requieren la implementación de vías de acceso y locales en cada una de las ciudadelas y barrios. Debido a esto la importancia de reunir información de las características físicas e ingenieriles de los materiales de subrasante, mismas que aseguren un óptimo diseño vial.

### **1.5 Beneficios esperados.**

La finalidad del estudio es determinar las características de los materiales de subrasante, y poder contar con la información necesaria para lograr una planeación de infraestructura vial urbana bien establecida de las zonas de expansión futura de la ciudad de Loja.

## **1.6 Delimitación y limitación del proyecto.**

Las zonas de estudio se determinarán mediante la subdivisión de polígonos a partir de un mapa base geológica de la ciudad de Loja, el cual ha sido elaborado por la sección de Geodinámica del Departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil de la Universidad Técnica Particular de Loja.

El polígono de estudio que comprende este proyecto está conformado por suelos pertenecientes a los barrios noroccidentales como son Obrapia y Borja, el cual cubre un área de 400 hectáreas aproximadamente.

El proyecto se basa en el análisis de los materiales que constituyen el subsuelo hasta una profundidad de 1.50 metros bajo la capa vegetal, por medio de calicatas que están distribuidas de manera uniforme dentro del polígono, ubicados mediante triangulación de 500 metros de distancia entre puntos.

**CAPÍTULO II**  
**FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

## **2.1 Introducción.**

El conocimiento de las características de los materiales de subrasante previo al diseño del pavimento es un aspecto de vital importancia. Un estudio completo del material de fundación, proporciona la información necesaria para asegurar un diseño óptimo de la infraestructura vial.

Fallas por deflexiones y agrietamiento presentes en las vías son atribuidas a la falta de capacidad de soporte de la subrasante para resistir las cargas producidas por el tráfico vehicular existente. Las características que garantizan que una subrasante sea idónea son la resistencia a deformaciones por esfuerzos cortantes, drenaje apropiado, preservación de la compactación y estabilidad volumétrica. La variabilidad del volumen se debe a la humedad y presencia de suelos expansivos.

El estudio de materiales de subrasante se efectúa obteniendo muestras alteradas o perturbadas mediante calicatas, habitualmente por medio del uso de taladros u otras herramientas operadas a mano (VALLE RODAS, 1963).

La profundidad de sondeo varía dependiendo de las cargas que va a soportar el pavimento, se debe hacer el estudio a una profundidad en la cual las cargas a soportar ya no generen esfuerzos o el efecto que estos provoquen sean despreciables. Para subrasantes de vías que van soportar tráfico vehicular se recomienda que los estudios se efectúen a la profundidad de 1.50 metros como mínimo. La distancia entre pozos de estudio depende de la importancia y tipo de vía, su longitud y el presupuesto con el que se cuente (VALLE RODAS, 1963).

La subrasante puede estar conformada por material propio del proyecto o colindante a este, siempre y cuando estos cumplan con las características físico mecánicas requeridas, en el caso de no darse estas condiciones se puede aplicar un mejoramiento de los materiales para lo cual existen diversos métodos entre los cuales tenemos: estabilización mecánica (combinación con materiales de cantera o pétreos), estabilización físico-química (cal, cemento portland), entre otros.

## **2.2 La Subrasante.**

Es la superficie del terreno preparada como fundación de la estructura del pavimento, se desarrolla hasta la profundidad en donde los esfuerzos producidos por las cargas transmitidas por los vehículos son prácticamente nulos. La subrasante se constituye de los materiales de corte y de relleno, mismos que una vez colocados y compactados deben adaptarse a las

secciones transversales y pendientes especificadas en el diseño final (ALVAREZ PABÓN, 2007).

### **2.3 Exploración de la subrasante.**

Los suelos son altamente versátiles dentro de un proyecto, sus características y propiedades cambian en medida de la humedad, densidad, tamaño de partículas y exposición al medio ambiente. Debido a esta variabilidad de condiciones, se debe zonificar el terreno de acuerdo con los diversos tipos de suelo con el fin de obtener un estudio bien planificado.

Las muestras de suelo obtenidas en las calicatas deben ser lo más representativas posible del material existente, para asegurar que el muestreo se lleve a cabo correctamente es recomendable la dirección e inspección continua del ingeniero geotécnico encargado del proyecto, así se evitara un mal muestreo que derivará en la obtención de resultados poco confiables (VALLE RODAS, 1963).

### **2.4 Propiedades de los materiales de subrasante.**

Las propiedades más significativas de los materiales de subrasante, se pueden dividir en dos clases como son: Las propiedades físicas que son aquellas que determinan el tipo de material y sus características constructivas; y las propiedades mecánicas o ingenieriles que son aquellas que establecen la calidad del suelo para ser utilizado en obras viales.

Las propiedades físicas se evalúan mediante características como: la clasificación del suelo y su relación humedad-densidad (compactación) del suelo; mientras que las características que miden las propiedades mecánicas o ingenieriles se determinan mediante los parámetros como son: El módulo resiliente ( $M_r$ ), Módulo de Poisson, Valor de soporte (C.B.R.), Módulo de reacción de la subrasante ( $k$ ).

El proyecto determina propiedades físicas y mecánicas a través de las siguientes características y parámetros: clasificación del suelo, relación humedad densidad y valor de soporte del suelo (C.B.R.) en situ y de laboratorio.

Los fundamentos teóricos y normativas técnicas utilizadas en el desarrollo de los ensayos de campo y laboratorio utilizados en el presente proyecto se presentan a continuación:

### **2.5 Clasificación de un suelo.**

Clasificar un suelo es ubicarlo dentro de un marco referencial con un gran número de tipos de suelos, mismo que han sido diferenciados por las propiedades que estos poseen, entre las

principales características que sirven para este análisis están los límites de Atterberg, el índice de plasticidad y tamaño de las partículas (granulometría). La clasificación de un suelo es muy importante, ya que permite conocer los tipos de suelos a utilizar en un proyecto.

Existen varios métodos para clasificar un suelo, entre los más conocidos tenemos el método de clasificación SUCS, y el método ASSHTO. Siendo este último método el utilizado en el presente proyecto, para llevar a cabo este procedimiento se determinó los siguientes parámetros y características de los suelos, mediante ensayos realizados en campo y en laboratorio.

### **2.5.1 Contenido de humedad.**

Los suelos habitualmente están compuestos volumétricamente por los siguientes componentes: material sólido, aire y agua. El contenido de humedad en un suelo es la suma de las cantidades de volumen de agua sea esta libre, capilar o higroscópica, existentes en el terreno al extraer la muestra. El resultado de este procedimiento se expresa en porcentaje con respecto al peso seco del suelo. Con porcentajes que van desde 0% de humedad, para los suelos más secos y para suelos con porcentajes que rondan el 100% de saturación para suelos que seguramente se ven afectados por la existencia de nivel freático (VALLE RODAS, 1963).

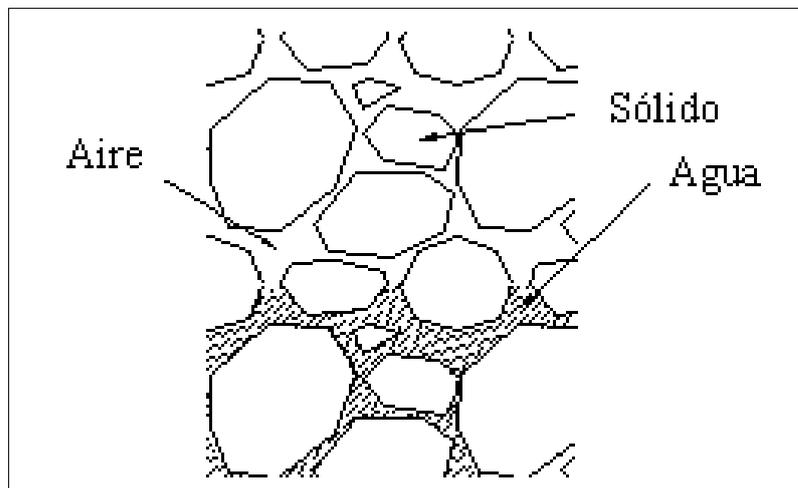


Figura 1. Composición del suelo.  
Fuente: (INGENIERÍA CIVIL, s.f.)

El método de ensayo que se empleó para determinar los contenidos de humedad de cada una de las muestras de los diferentes pozos de sondeo fue el dispuesto por ASTM D 2216.

### 2.5.2 Granulometría.

La granulometría determina la distribución de tamaños de las partículas en suelos. Para el caso de partículas mayores a 75  $\mu\text{m}$  (retenidas en la malla 200) su distribución es determinada por tamizado, mientras que para de tamaños de partículas menores a 75  $\mu\text{m}$  es determinado por un proceso de sedimentación (ASTM D 422).

El método ASTM D 422 para análisis del tamaño de las partículas de suelos, proporciona los procedimientos para llevar a cabo el ensayo de granulometría.

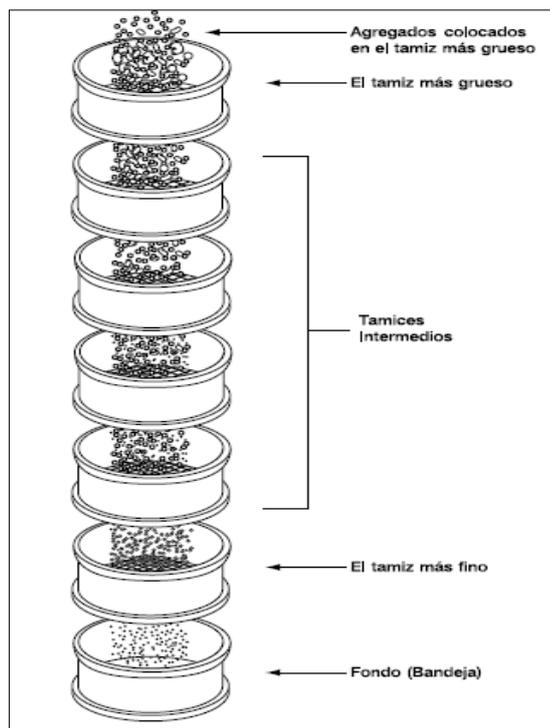


Figura 2. Análisis por tamizado  
Fuente: Adoptado de (I.C.P.I, 2007)

La gradación es una propiedad importante de cada tipo de suelo. El tamaño y la distribución de las partículas de un material que va hacer utilizado en un pavimento, tiene una gran influencia en el comportamiento de la estructura.

El tamaño de las partículas de un suelo es muy variable, van desde partículas gruesas a fino granulares. Se pueden distinguir varios tipos de suelos a medida que el tamaño de sus partículas decrece teniendo así desde fragmentos de rocas, gravas, arenas, limos y arcillas, o combinaciones entre sí.

Los métodos de ensayo utilizados en el proyecto son: el dispuesto por el ASTM D 422 Método estándar de ensayo para análisis de tamaño de partículas de suelos finos; y el ASTM C 136 Método estándar de ensayo para análisis, por tamizado de agregados finos y gruesos.

### 2.5.3 Plasticidad.<sup>1</sup>

La plasticidad de los suelos es su propiedad a deformarse, sin llegar a la ruptura bajo la acción de esfuerzos externos. Esta propiedad está determinada por el contenido de humedad del suelo, ya que mediante ésta un suelo puede presentarse en diferentes estados como: líquido, plástico, semisólido o, sólido; mismos que se presentan en medida que el contenido de humedad disminuye.

Los límites de Atterberg, son los estados en los que un suelo cambia de estado de consistencia a medida que este pierde humedad (Figura 3). Los mencionados límites son: Límite Líquido (LL), Límite Plástico (LP) y Límite de Contracción (LC), mediante los cuales se tendrá una idea del tipo de suelos en estudio. La determinación de los límites se lleva a cabo con el material que pasa el tamiz N. 40. Los límites líquido y plástico dependen de la cantidad y tipo de arcilla del suelo (CRESPO VILLALAZ, 2010).

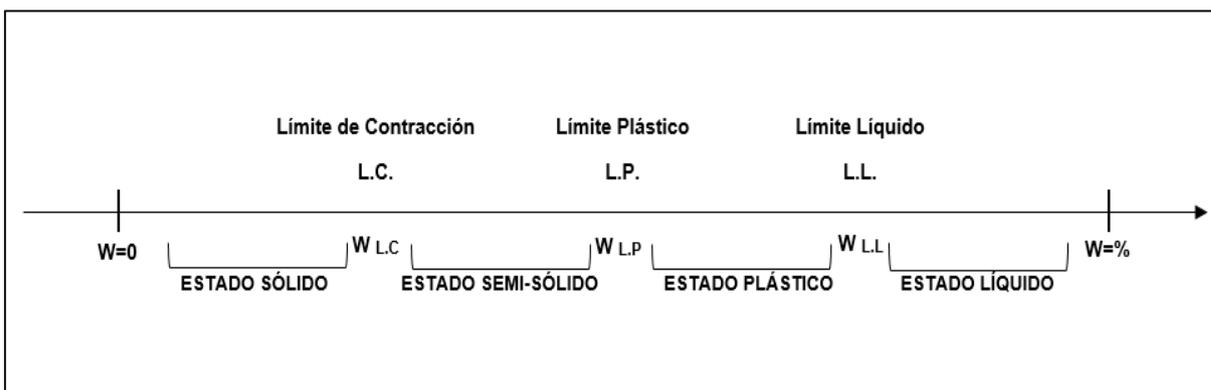


Figura 3. Estados de consistencia de un suelo.  
Fuente: (CRESPO VILLALAZ, 2010)

#### 2.5.3.1. Límite líquido

El límite líquido se define como el contenido de humedad con el cual un suelo cambia de estado líquido al plástico, su valor numérico está representado en porcentaje de la humedad existente con respecto al peso seco del suelo.

Según Atterberg los suelos plásticos tienen en su límite líquido una pequeña resistencia al esfuerzo de corte de  $25 \text{ g/cm}^2$ , es por ello que se determina el LL en 25 golpes de la cuchara de Casagrande (equipo empleado para determinar el límite líquido), ya que cada golpe representa un esfuerzo de  $1 \text{ g/cm}^2$ . En este estado no existe cohesión entre las partículas del suelo (CRESPO VILLALAZ, 2010).

<sup>1</sup> (CRESPO VILLALAZ, 2010)

El método de ensayo que se empleó para determinar el límite líquido es el dispuesto por ASTM D 4318.

#### *2.5.3.2. Límite plástico*

El límite plástico es el contenido de humedad en el cual un suelo cambia de estado plástico a semisólido, para obtener este parámetro se utiliza procedimientos normalizados. Dichos procedimientos determinan el contenido de humedad en relación al peso en seco de suelo, cuando este pasa del estado semi-sólido a plástico. El método de ensayo que se empleó para determinar el límite líquido es el dispuesto por ASTM D 4318.

#### *2.5.3.3 Índice de plasticidad (IP)*

El índice de plasticidad es la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico (Ecuación 2.1), y es el rango de humedad en el cual un suelo se comporta como plástico. Cuando no es posible la obtención del límite plástico, el suelo será denominado como no plástico (NP) o como material con índice de plasticidad cero.

$$IP = LL - LP$$

Ecuación 2.1

Siendo:

IP: Índice de plasticidad; LL: Límite líquido; LP: Límite plástico.

#### *2.5.3.4 Límite de contracción.*

El límite líquido se define como el contenido de humedad en el cual un suelo cambia de estado semisólido a sólido, su valor numérico está representado en porcentaje de la humedad existente con respecto al peso seco del suelo. Es el punto en el cual el suelo no sufre variabilidad volumétrica al momento de perder humedad. En este límite además puede visualizar un cambio en la coloración del suelo debido a su cambio de estado de consistencia (ASTM D 4318).

### **2.5.4 Clasificación de suelos por el método AASHTO <sup>2</sup>**

Es un método que clasifica los suelos en función a su comportamiento como capa de soporte o asiento firme de pavimentos, mediante siete grupos dependiendo de su granulometría y plasticidad. El sistema de clasificación de suelos AASHTO es el método de estudio recomendado por el M.T.O.P. para materiales utilizados en la construcción de carreteras.

---

<sup>2</sup> ASTM D 3282: Clasificación de suelos y mezclas suelo-agregado para propósitos de construcción de carreteras

Este sistema divide los suelos en tres tipos generales los cuales son:

- Granulares, cuando el 35% del suelo o menos pasa el tamiz 74  $\mu\text{m}$ .
- Finos, si más del 35% pasa el tamiz 74  $\mu\text{m}$ .
- Orgánicos.

Los grupos mencionados van desde suelos A-1, hasta el grupo A-7; dicho orden corresponde de menor a mayor dependiendo de la disminución de su calidad como material que conforme la estructura del pavimento. Además estos grupos se subdividen con el fin de caracterizar aún más los suelos, en base a su plasticidad.

Tabla 1. Clasificación de suelos según AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)						Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)				
Clasificación de grupo	A-1		A-3 <sup>A</sup>	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
N. 10 (2.00mm)	50 máx.	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
N. 40 (425 $\mu\text{m}$ )	30 máx.	50 máx.	51 máx.	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
N. 200 (75 $\mu\text{m}$ )	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 máx.	36 máx.	36 máx.
Consistencia											
Límite líquido	.....		.....	B				40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.	B				10 máx.	10 máx.	10 mín.	10 mín. <sup>B</sup>
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno						Regular a malo				

<sup>A</sup> La colocación de A-3 antes de A-2 en el proceso de eliminación e izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A-3 sobre A-2.

<sup>B</sup> El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

Fuente: Clasificación AASHTO (WIKIVIA, 2011)

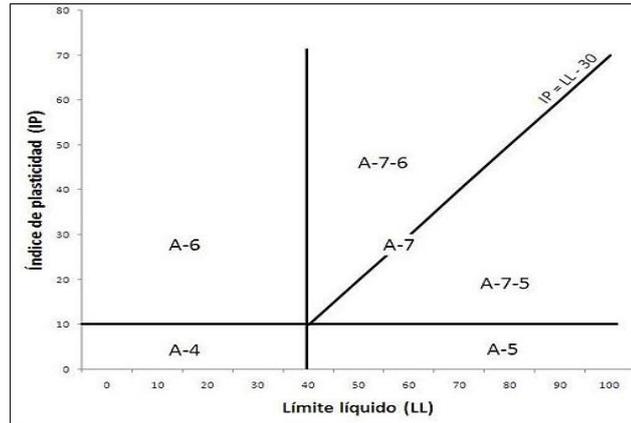


Figura 4. Gráfico de plasticidad  
Fuente: Clasificación AASHTO (WIKIVIA, 2011)

Además para valorar cualitativamente la conveniencia de un suelo como material para subrasante, se desarrolló también un número que se conoce como *índice de grupo*. Entre mayor sea el valor del índice de grupo será menor la utilidad del suelo como material de subrasante. La ecuación para determinar el índice de grupo es la siguiente:

$$IG = (F - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15) (IP - 10) \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Siendo:

F: Porcentaje en peso que pasa por el tamiz N° 200 del material inferior a 75 mm, expresado en número entero.

LL: Límite líquido; IP: Índice de plasticidad.

El índice de grupo se expresa en números enteros positivos (un número negativo se expresará como IG = 0) y se escribe entre paréntesis a continuación de los símbolos de grupo o subgrupo correspondientes, por ejemplo A-2-4 (0). Generalmente cuanto menor es el IG de un suelo, mejores son las cualidades del suelo como explanada o capa de asiento del firme.

## 2.6 Identificación y descripción de suelos por el procedimiento visual-manual.

El ASTM D2488-75, describe la práctica estándar recomendada para la identificación y la descripción de suelos (procedimiento visual-manual) con propósitos ingenieriles, basado en el examen visual y manual simples. Las recomendaciones para describir los suelos deben ser suplementadas con términos geológicos y locales.

Las principales características que se identifican y describen con el presente método son las siguientes: condiciones de humedad, presencia de niveles freáticos, tipo de suelos

(granulares, finos u orgánicos), resistencia cortante, coloración y espesor de los estratos de suelos existentes en las calicatas.

El sistema de clasificación AASHTO nos proporciona una simbología para representar los diferentes tipos de suelos existentes en la zona de estudio:

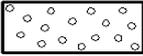
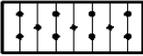
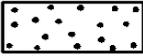
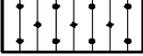
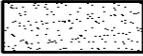
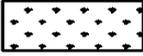
Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A - 1 - a		A - 2 - 4		A - 5
	A - 1 - b		A - 2 - 5		A - 6
	A - 3		A - 2 - 6		A - 7 - 5
	A - 4		A - 2 - 7		A - 7 - 6
	MATERIA ORGANICA		ROCA SANA		ROCA DESINTEGRADA

Figura 5. Signos convencionales para perfil de calicatas-Clasificación AASHTO  
Fuente: Adoptado de (MANUAL DE CARRETERAS PERÚ, 2013).

Los perfiles de suelo de las calicatas del presente proyecto se elaboraron con información determinada a partir de muestras obtenidas a profundidades de 0.5m, 1.0m y 1.50m; con características como: condiciones de humedad, color y tipo de suelo (clasificación AASHTO), resistencia cortante de los suelos a la profundidad de 1.50 metros, con ayuda del penetrómetro de bolsillo.

## 2.7 Ensayo del penetrómetro de bolsillo.

El penetrómetro manual o penetrómetro de bolsillo es un pistón cargado por un resorte de 0.25 pulgadas de diámetro el cual se entierra 0.25 pulgadas dentro de la superficie de una arcilla. Como la arcilla de acuerdo a su resistencia resiste la penetración del pistón, se registra la resistencia al cortante no drenada del suelo. La penetración tiene que darse suavemente y es más confiable en arcillas medianamente duras. En arcillas muy duras o frágiles la penetración rompe el suelo y el resultado no es confiable. En arcillas blandas no hay suficiente resistencia para que se registre en el medidor del penetrómetro. Los penetrómetro de bolsillo pueden utilizarse tanto en el campo como en el laboratorio y se obtiene una medida relativamente “cruda” de la resistencia, dependiendo en buena parte de la forma como el operador realice el ensayo (SUAREZ, 2013).

## **2.8 Relación Humedad-Densidad (Compactación).**

Los suelos al momento de encontrarse sueltos poseen un volumen determinado, dentro del cual existen partículas de sólidos, espacios vacíos y espacios ocupados por agua. Al momento de comprimir el suelo logramos que el volumen disminuya a consecuencia de que las partículas de sólidos más pequeñas ocupan los espacios vacíos existentes entre las partículas más grandes, la humedad presente en el suelo también ayuda a que las partículas se ajusten mejor entre sí, logrando así un aumento en la densidad del suelo. Cada suelo al ser compactado alcanza una densidad máxima para un determinado contenido de humedad. Estos dos parámetros se determinan en laboratorio, para luego implementar en campo la máxima densidad de los materiales en cada una de las capas del pavimento, lo cual se logra mediante la compactación (VALLE RODAS, 1963).

La determinación de la densidad máxima y la humedad óptima de un suelo en laboratorio, se puede llevar a cabo mediante el ensayo conocido como Proctor, mediante lo que se conoce como curva de compactación, en la cual se ubica valores de los contenidos de humedad en las abscisas y las diferentes densidades en el eje de las ordenadas. La energía utilizada para compactar los suelos en laboratorio depende del tipo de ensayo Proctor a emplearse, el cual depende de la obra en la que se vayan a utilizar los suelos. El método de ensayo de Proctor modificado especificado por ASTM D 1557 y AASHTO T-180 recomendado por el M.T.O.P. es el utilizado para obras viales dentro del país.

La compactación apropiada de los materiales que forman las diferentes capas de un pavimento, es el aspecto que mayor interés debe recibir en proceso de construcción de una vía. La compactación proporciona a los materiales las condiciones óptimas tanto de capacidad de soporte, estabilidad y baja capacidad de absorción de agua. Los equipos más utilizados para compactar los suelos en campo son: rodillos, aplanadoras, rodillos “pata de cabra” y otros.

## **2.9 Capacidad de soporte del suelo**

La capacidad portante es el esfuerzo máximo que puede resistir un suelo sin llegar a romperse o mostrar fallas por cortante por acción de las cargas a las que esta se encuentre sometido. Existen diversos ensayos que ayudan a determinar el comportamiento de los suelos bajo la acción de cargas, entre los más comunes tenemos el Ensayo de Relación de Soporte California (C.B.R.), Ensayo del penetrómetro dinámico de cono (D.C.P.) y Módulo de reacción de la subrasante (k).

### 2.9.1 Ensayo de relación de soporte California (C.B.R.).

El método de C.B.R. consiste en establecer la presión necesaria para penetrar un pistón la profundidad de 12.5 mm en una muestra de suelo que tiene densidad y condiciones de humedad determinadas en laboratorio. Dicha presión se relaciona con la presión requerida para penetrar los mismos 12.5mm en una muestra patrón de piedra triturada, muestra que gracias a investigaciones posee la resistencia adecuada para ser utilizada como material de subrasante, u otras capas de un pavimento. El valor de C.B.R se expresa en porcentaje y puede variar desde 0% al 100%, cuanto mayor sea el valor del C.B.R mejores características tendrá el suelo para ser utilizado en el pavimento. Para tener una idea clara de porcentajes de C.B.R. recomendados en un suelo, dependiendo de la capa del pavimento en la cual estos van a ser usados, tenemos la tabla 2 (I.C.P.C, 2012).

Las subrasante también se clasifica en categorías que reflejan la gran sensibilidad del diseño a la resistencia del suelo, estas categorías se presentan en la Tabla 3. Además, otras investigaciones proporcionan valores referenciales del valor de C.B.R, de acuerdo al tipo de suelo (Tabla 4).

El método de ensayo que se empleó para determinar el C.B.R de los materiales de la zona en estudio es el dispuesto por las normas ASTM D 1883 y AASHTO T 193-63.

Tabla 2. Clasificación de suelos según el valor de C.B.R

C.B.R.	Clasificación
0 - 5	Subrasante muy mala
5 - 10	Subrasante mala
10 – 20	Subrasante regular a buena
20 – 30	Subrasante muy buena
30 – 50	Sub-base buena
50 – 80	Base buena
80 - 100	Base buena

Fuente: Mecánica de suelos y cimentaciones (CRESPO VILLALAZ, 2010).

### 2.8.8.1. Ensayo del penetrómetro dinámico de cono (D.C.P.).

El ASTM D 6951-03: Método de ensayo estándar para el uso del penetrómetro dinámico de cono en estructuras de pavimentos, se usa para evaluar la resistencia en el sitio de suelos inalterados y/o compactados. La razón de penetración del D.C.P. de 8kg puede ser usada para estimar en valor de C.B.R. in situ, para identificar espesores de capas, resistencia al corte de estratos de suelo y otras características de los materiales.

Tabla 3. Clasificación de los suelos de subrasante

Clasificación de la subrasante	C.B.R. en %
S1	2
S2	3 – 5
S3	6 – 10
S4	11 – 20
S5	>20

Fuente: (MONTEJO FONSECA, 2002).

Tabla 4. Valores de C.B.R. en relación al tipo de suelo

C.B.R	Clasificación general	Usos	Clasificación ASSHTO
0 – 3	muy pobre	subrasante	A-5, A-6, A-7
3 – 7	pobre a regular	subrasante	A-4, A-5, A-6, A-7
7 – 20	regular	sub-base	A-2, A-4, A-6, A-7
20 – 50	bueno	base, sub-base	A-1-b, A-2-5, A-3, A-2-6.
>50	excelente	base	A-1-a, A-2-4, A-3

Fuente: Ensayo C.B.R. Adoptado de (U.C.N.C, s.f.).

El penetrómetro dinámico de cono es un dispositivo simple, su principio de funcionamiento comprende: una sonda con su extremo en forma de cono penetra a través de las capas en forma continua bajo la acción dinámica de una masa 8kg que cae libremente de una altura determinada, ambas fijas y preestablecidas. La penetración medida es una función de la

resistencia al corte in situ de los materiales, y esta se puede correlacionar con el valor de C.B.R. de suelos in situ (JOVE, 2013).

El método de ensayo D.C.P. que se empleó para determinar la resistencia de los suelos de la zona en estudio es el dispuesto por ASTM D 6951.

### **2.9.2 Módulo de reacción de la subrasante (k).**

El ensayo para determinar el Módulo de reacción de la subrasante, llamado también Ensayo de Placa, tiene por objetivo determinar la presión que hay que ejercer sobre el suelo para que se presente una deformación dada, que para el caso específico de los pavimentos es 13mm (I.C.P.C, 2012).

### **2.9.3 Módulo Resiliente del suelo (Mr).<sup>3</sup>**

Es uno de los principales factores que se utilizan en diseño de espesores de pavimentos por métodos racionales, la razón de su importancia radica que es un parámetro obtenido bajo la aplicación de cargas dinámicas. Este parámetro es el que mejor representa el comportamiento del suelo bajo cargas de trabajo. La ASSHTO T 274 describe el procedimiento para determinar el módulo resiliente, el cual consiste en someter una probeta a un número dado de ciclos de carga axial, con magnitud, frecuencia y duración especificadas. Debido a la poca accesibilidad que se tiene a los equipos que se requieren para llevar a cabo este ensayo se ha optado por obtener este el valor de este parámetro a partir del valor de C.B.R. mediante el uso de correlaciones (I.C.P.C, 2012).

Heukelom y Klomp, disponen la relación entre el Mr medido en el campo y el C.B.R. de laboratorio para la misma densidad. La siguiente expresión se considera razonablemente para suelos finos con un C.B.R. sumergido no mayor de 10% (MONTEJO FONSECA, 2002).

$$Mr \text{ (psi)} = 1500C.B.R. \quad \text{Ecuación 2.3}$$

La AASHTO e investigaciones desarrolladas en Sudáfrica recomiendan la utilización de las siguientes ecuaciones de correlación para suelos finos.

$$Mr \text{ (psi)} = 1500C.B.R.; \text{ para } C.B.R. < 7.2\% \quad \text{Ecuación 2.4}$$

$$Mr \text{ (psi)} = 3000(C.B.R.)^{0.65}; \text{ para } C.B.R. \text{ de } 7.2 \text{ a } 20\% \quad \text{Ecuación 2.5}$$

---

<sup>3</sup> (MONTEJO FONSECA, 2002)

Para suelos granulares, se recomienda la siguiente ecuación de correlación:

$$Mr (\text{psi}) = 4326 \times \ln \text{C.B.R.} + 241$$

*Ecuación 2.6*

Al igual que con el valor de C.B.R. la subrasante se clasifica en categorías (Véase en Tabla 5) que muestran su gran sensibilidad al diseño a las resistencia del suelo.

Tabla 5. Categorías de la subrasante

Módulo resiliente kg/cm <sup>2</sup>	Categoría
$300 \leq MR < 500$	S1
$500 \leq MR < 700$	S2
$700 \leq MR < 1000$	S3
$300 \leq MR < 1500$	S4
$MR \geq 500$	S5

Fuente: (MONTEJO FONSECA, 2002).

## 2.10 Materiales de subrasante adecuados.

Los materiales de subrasante deben presentar varias características para poder ser utilizados como material de fundación de un pavimento. Características basadas en su granulometría, plasticidad, capacidad de soporte, resistencia a la abrasión y otros.

En la mayoría de casos los suelos existentes en el proyecto no cumplen con las especificaciones requeridas para ser utilizados como subrasante, debido a esto se debe buscar un material proveniente de zonas lo más cercanas posibles al proyecto, siempre y cuando estos cumplan con las especificaciones técnicas necesarias.

La Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-2012): Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes, en su capítulo 400; sección 401; Mejoramiento de subrasantes dispone lo siguiente: "Cuando así se establezca en el proyecto, o lo determine el Fiscalizador, la capa superior del camino, es decir, hasta nivel de subrasante, ya sea en corte o terraplén, 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, en las medidas indicadas en los planos, o en las ordene Fiscalizador."

Cada uno de los tipos de mejoramiento de los materiales se describe a profundidad en la normativa NEVI-2012.

**CAPÍTULO III**  
**METODOLOGÍA**

### **3.1 Enfoque metodológico.**

El presente proyecto tiene como objetivo principal determinar las características de los materiales de subrasante de las zonas no urbanizadas de la ciudad de Loja. Para poder llevar a cabo dicho objetivo fue necesario trazar una ruta de trabajo y establecer una metodología que permita el desarrollo adecuado de cada una de las etapas que comprenden el estudio. La presente investigación se basa en el método cuantitativo, debido a que el proyecto consiste en valorar o medir las propiedades físico-mecánicas de los suelos a nivel de subrasante, aplicada a futuras obras de infraestructura vial.

Para iniciar una nueva etapa dentro estudio se debe contar con los resultados completos de la etapa anterior, ya que de esta forma se conocerá de manera más precisa las características del material, lo cual los dará un marco de referencia sobre los límites o rangos dentro de los cuales deben encajar los resultados de la etapa del estudio en ejecución.

### **3.2 Desarrollo del proyecto.**

El estudio de suelos a nivel de subrasante del área de estudio, se desarrolló mediante calicatas, en los cuales se llevaron a cabo ensayos de campo y la recolección de muestras hasta una profundidad máxima de 1.50m, para la realización de ensayos de laboratorio. Para cada una de las calicatas se obtuvo el perfil del suelo, el cual se da a conocer parámetros como: contenido de la humedad, tipo de suelo y demás características mecánicas del material. La ubicación de las calicatas y procedimiento para la toma de muestras se presentan más adelante. Las etapas del proyecto se detallan a continuación:

#### ***3.2.1 Recopilación de información.***

En conjunto con el director de tesis se definió de manera concreta el tipo de estudio a realizarse en las zonas no urbanizadas de la ciudad. Una vez establecido este punto de partida se procedió a determinar los procedimientos y ensayos a realizarse en los materiales de subrasante existentes en toda el área del proyecto. La identificación de las guías, recomendaciones y normativas tanto locales como nacionales que rigen los procedimientos a seguir para determinar las características requeridas de los materiales en análisis. La información referida a topografía, hidrología, vías de comunicación; son obtenidas con el fin de conocer la configuración y otras características del área en estudio.

#### ***3.2.2 Visita de campo de la zona de estudio.***

Obtenida la información requerida del proyecto, se realizó la visita de campo en la zona de estudio con la finalidad de conocer los principales accidentes topográficos, hidrología y

accesibilidad que esta zona posee; además de determinar las zonas más propicias donde se realizarían las calicatas.

### **3.2.3 Delimitación de la zona de estudio.**

El mapa base de la ciudad de Loja, en escala 1:30000 en el DATUM PSAD 56, desarrollado por la Titulación de Geología y Minas U.T.P.L., se utilizó para delimitar la zona de estudio mediante el polígono denominado “**Borja**”, la zona de estudio cubre una superficie de aproximadamente 400 hectáreas. Las coordenadas de los vértices del polígono se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Coordenadas de los vértices del polígono Borja

### **3.2.4 Identificación y ubicación por áreas y coordenadas de los puntos de muestreo.**

Definida la zona de estudio, se determinó la ubicación de las calicatas. Para ubicar las calicatas dentro del polígono de manera que representen perfectamente los cambios de tipo de suelos existentes, se llevó cabo una triangulación con una equidistancia entre puntos de 500 metros. Como resultado se obtuvieron 12 calicatas, de los cuales sus coordenadas y ubicación dentro del polígono se dan a conocer en la tabla 7.

Tabla 7. Coordenadas de las calicatas.

### **3.2.5 Obtención de muestras a nivel de subrasante y ensayos realizados en situ.**

Conocida la ubicación de las calicatas, se procedió a la obtención de muestras de suelos a las profundidades de 0.5, 1.0, 1.5 metros, mediante la excavaciones de calicatas. La profundidad máxima de sondeo de 1.50 metros bajo la capa vegetal del suelo, se consideró adecuada ya que diversos estudios recomiendan esta profundidad como aquella en la que las cargas de trabajo futuras ya no generarían deformaciones considerables en los materiales de subrasante. Para la recolección de las muestras se utilizó bolsas plásticas herméticamente cerradas, que permiten mantener las condiciones originales del suelo hasta ser transportados al laboratorio para su análisis.

Los ensayos in situ que se llevaron a cabo son los siguientes: Penetrómetro dinámico de cono (D.C.P) y penetrómetro de bolsillo, guiados en las normativas (ASTM D 6951) y (ASTM D 2573) respectivamente.

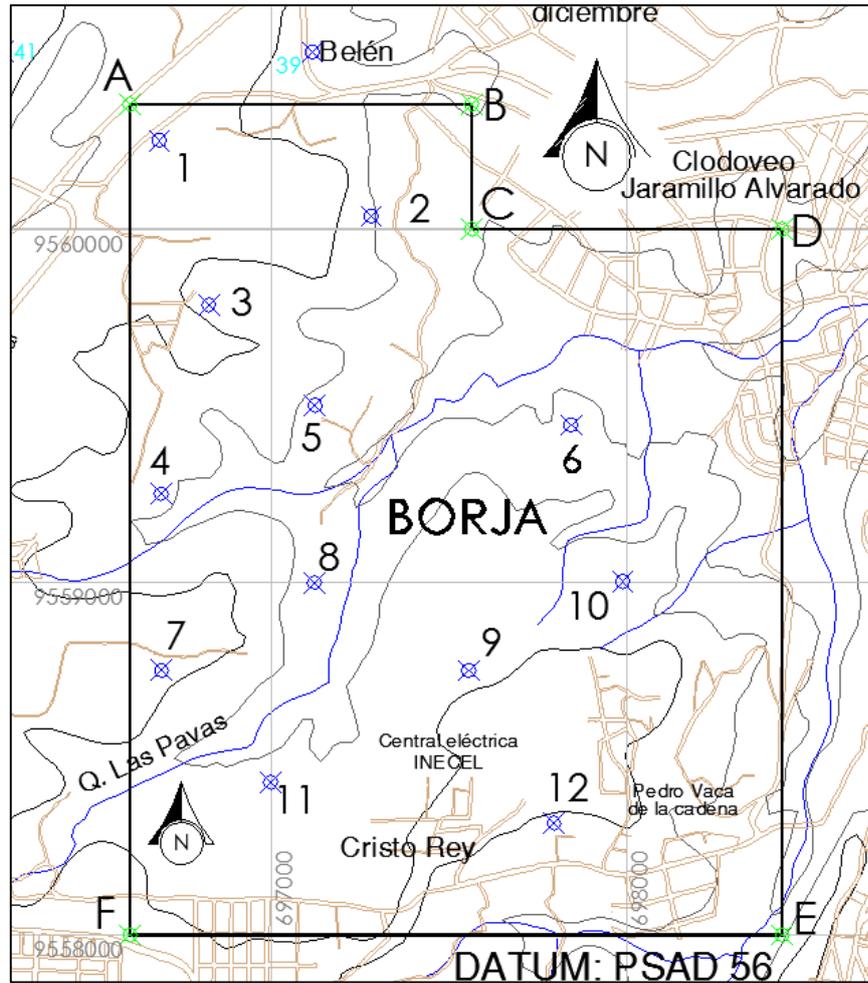


Figura 6. Ubicación de pozos de sondeo en el polígono Borja  
Fuente: D.G.M.I.C.- U.P.T.L.

### 3.2.6 Realización de ensayos de laboratorio de las muestras obtenidas.

Las muestras obtenidas fueron llevadas al laboratorio mediante el uso de bolsas plásticas herméticamente cerradas, para conservar las propiedades y características de los suelos, principalmente su contenido de humedad.

Los ensayos desarrollados en laboratorio se presentan en la Tabla 8, cada uno de los procedimientos seguidos en los ensayos se basaron en las normativas ASTM y AASHTO.

Tabla 8. Ensayos de laboratorio

<b>Ensayo</b>	<b>Normativa</b>
<b>Perfil del suelo</b>	
Humedad	(ASTM 2216)
<b>Clasificación</b>	
Límite líquido	(ASTM D 4318) y AASHTO T 89
Límite plástico	(ASTM D 4318) y AASHTO T 90
Granulometría	(ASTM D 422) y AASHTO T 88
<b>Propiedades mecánicas</b>	
<b>Densidad máxima y humedad óptima</b>	
Ensayo Proctor Modificado	(ASTM D 1557) y AASHTO T 180
<b>Valor de C.B.R</b>	
C.B.R - Índice de soporte California	(ASTM D 1883) y AASHTO T 193-63

Fuente: El autor.

### **3.2.7 Análisis de resultados obtenidos.**

Obtenidos los parámetros físicos e ingenieriles de los suelos, se analizó los resultados para poder determinar las similitudes y diferencias existentes entre los suelos existentes en la zona en estudio. Los resultados de los ensayos realizados en cada una de las calicatas se encuentran en el ANEXO I.

Los análisis de resultados realizados son los siguientes: Determinar el C.B.R. de diseño del polígono, determinar la utilidad del suelo como material de subrasante, correlación de la razón de penetración del ensayo D.C.P. para obtener el valor de C.B.R. en situ, y análisis de los posibles materiales que se usaran como mejoramiento.

#### **3.2.7.1. Determinación del C.B.R. de diseño.**

El C.B.R. de diseño es un valor se determina a partir de los valores de C.B.R. obtenidos dentro de una mismas zona o proyecto, y de la intensidad del tránsito vehicular que circulará por las futuras vías a implementarse en el proyecto.

El cálculo del C.B.R. de diseño para los tres tipos de tráfico como son liviano, mediano y pesado.

El método de las frecuencias se utilizó para determinar el C.B.R. de diseño del proyecto, a continuación se presentan su procedimiento:

- Determinar el tránsito de diseño.
- Ordenar de menor a mayor todos los valores de C.B.R.
- Determinar en cada cambio de valor de C.B.R., el número total de valores mayores o iguales a este valor y expresarlo en porcentaje con relación al total.
- Elaborar un gráfico C.B.R. vs valores mayores o iguales.
- Obtener de la anterior curva el C.B.R. de diseño teniendo en cuenta el porcentaje que determine el tránsito de diseño.

En la tabla 9 se muestran las clases de tránsito con su respectivo porcentaje de diseño.

Tabla 9. Límites de diseño de subrasante.

<b>Clase de tránsito</b>	<b>Nivel de tránsito</b>	<b>Valor de diseño</b>
Liviano	$10^4$ o menos	60%
Mediano	$10^4$ a $10^6$	75%
Pesado	mayor a $10^6$	87.5%

Fuente: Tomado de (MONTEJO FONSECA, 2002).

### 3.2.7.2. Correlación datos D.C.P. con valores de C.B.R. en situ.

La medición del D.C.P. en el campo, conduce a una estimación del C.B.R. in situ y normalmente los resultados no establecen una correlación directa con el dato de C.B.R. del laboratorio, en condición saturada. Este ensayo es por lo tanto indicado para evaluar la resistencia de los materiales en el sitio, bajo las condiciones existentes (ASTM D 6951-03).

Existe un sin número de ecuaciones que correlacionan el índice de penetración (mm/golpe) del D.C.P., con el valor de C.B.R. en situ. El valor del C.B.R. definitivo se obtiene del promedio de los valores resultantes de las tres ecuaciones que a continuación se presentan:

**Kleyn 1975:**

$$\text{Log (C.B.R.)} = 2.465 - 1.12 \text{Log (D.C.P.)}$$

Ecuación 3.1

**Kleyn – Van Heerden 1983:**

$$\text{Log (C.B.R.)} = 2.6637 - 1.314 \text{Log (D.C.P.)}$$

Ecuación 3.2

**Harrison 1987:**

$$\text{Log (C.B.R.)} = 2.7929 - 1.31 \text{Log (D.C.P.)}$$

Ecuación 3.3

Los resultados de estas correlaciones se muestran en el ANEXO I.

**3.2.7.3 Estudio de los materiales de mejoramiento.**

Los materiales de subrasante estudiados no prestan las condiciones requeridas para formar la capa de soporte de un pavimento, debido a este problema y basándonos en los requerimientos de la norma ecuatoriana vial NEVI-2012 para mejoramiento de subrasantes, hemos estudiado materiales de mejoramiento que cumplan con las especificaciones de la normativa y que su costo sea el menor posible.

Se estudió el material de la cantera municipal Juan José Castillo, (Ver cálculos en ANEXO II), con lo cual se determinó que dicho material no cumplía con propiedades de granulometría y resistencia al desgaste a la abrasión (AASHTO T 96), Debido a ello se procedió desarrollar una dosificación conformada por dicho material y material del río Malacatos, con el fin de mejorar sus propiedades. Los porcentajes utilizados fueron 55% de material de la cantera Juan José Castillo y 45% de material pétreo proveniente del río Malacatos.

La dosificación de los materiales se ubica en la categoría de agregados no tratados, que según la normativa sirve como para la conformación de la capa de rodadura. Por condiciones de accesibilidad este se utilizará como material para mejoramiento de subrasante (Ver cálculos en ANEXO II). Para el análisis de los agregados no tratados se utilizó la Norma Ecuatoriana *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes M.O.P. 2002*, en su capítulo 400; sección 401.2 Superficie de agregados no tratados.

Las características más importantes que debe reunir el material son las siguientes:

- El porcentaje de abrasión de las partículas gruesas debe ser un 50% como máximo.
- El valor de C.B.R. del material debe ser superior al 20%.
- Las granulometrías recomendadas según el tamaño máximo de las partículas del material. Para el estudio de los materiales de la dosificación, se definió que la granulometría tipo B de la normativa será la utilizada en el análisis.

Tabla 10. Límites granulométricos para agregados no tratados

<b>Tabla 401-2.1.</b>				
<b>TAMIZ</b>	<b>Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada</b>			
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
3" (76.2 mm.)	100	--	--	--
2" (50.8 mm.)	80 - 100	100	--	--
1" (25.4 mm.)	55 - 85	75 - 95	100	100
3/8" (9.50 mm.)	--	--	50 - 85	60 - 100
Nº 4 (4.750 mm.)	30 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85
Nº 200 (0.075 mm.)	5 - 15	5 - 15	5 - 15	5 - 20

Fuente: Capas de rodadura (MOP-2002, 2002)

Los cálculos correspondientes a los materiales de mejoramiento como son: límite líquido, límite plástico, granulometría, clasificación AASHTO, densidad proctor modificado, y C.B.R.; de la dosificación se encuentran en Anexos II.

### **3.2.8 Elaboración de una base de resultados de las características de los materiales de subrasante.**

Los resultados de los estudios realizados de cada una de las calicatas y materiales de mejoramiento se encuentran de manera ordenada en el capítulo Anexos.

### **3.2.9 Generación de un mapa de zonificación de acuerdo a los parámetros físicos-mecánicos del suelo.**

La información obtenida de las propiedades del suelo de la zona en estudio formará parte de una base de datos que servirá para la conformación de un mapa de zonificación de las zonas no urbanas de la ciudad de acuerdo a los tipos de suelo y a la capacidad portante de los suelos estudiados que se encuentran a una profundidad de 1.50 metros. Estos mapas aportarán información que ayudara a una adecuada planificación y proyección del crecimiento

ordenado de la ciudad de Loja, debido a que estos mostraran las características de los suelos en cada sector existente dentro de polígono en estudio.

Los mapas se crearán mediante la utilización de un software de manejo de sistemas de información geográfica, en el cual se puede analizar de manera adecuada las características del terreno de la zona de estudios.

*3.2.9.1. Mapa de caracterización de acuerdo al tipo de suelo.*

La identificación de los suelos utilizada para generar el mapa está desarrollada en relación a los resultados obtenidos de la clasificación de suelos AASHTO en cada una de las calicatas a la profundidad de 1.50m.

En la siguiente tabla se muestra los diferentes tipos de suelos a los que pertenece cada una de las categorías de los materiales según AASHTO.

Tabla 11. Clasificación AASHTO y sus respectivos tipos de suelos.

<b>Clasificación AASHTO</b>	<b>Tipo de suelo</b>
A-1-a	Fragmentos de rocas, gravas y arenas
A-1-b	
A-2-4	Gravas y arenas limosas o arcillosas
A-2-5	
A-2-6	
A-2-7	
A-3	Arenas finas
A-4	Suelos limosos
A-5	
A-6	Suelos arcillosos
A-7-5	
A-7-6	

Fuente: El autor.

La tabla 12 presenta cada uno de los pozos de sondeo con su respectivo código y características.

Tabla 12. Codificación y clasificación de cada uno de los pozos de sondeo según AASHTO.

ID	UBICACIÓN	Y	X	Z	Clasificación AASHTO
10	Borja	9559002	697989	2175	(A-7-5) Suelo arcilloso
11	Cristo Rey	9558432	697000	2166	(A-7-6) Suelo arcilloso
12	Obrapia	9558316	697796	2196	(A-2-4) Grava y arena limosa

Fuente: El autor.

Obtenido el mapa de caracterización, se determinó que los suelos arcillosos son predominantes en la zona de estudio. Para la generación de este mapa se utilizó como base el mapa geológico regional de Loja, sobre el cual se ubicó el polígono de estudio y la información del tipo de suelo existente en cada una de las calicatas; en la mayoría de la zona los resultados de los tipos de suelos (arcillosos) coinciden con la información presente en el mapa geológico base, algunas calicatas muestran limos, gravas y arenas lo cual difiere de la información del mapa base, esto se da debido a la gran versatilidad de los suelos que varían sus características de una profundidad a otra.

El mapa de zonificación en función al tipo de suelo se encuentra en el apartado de Anexos II. En el mismo se muestra la simbología y códigos de colores utilizados para identificar cada tipo de suelo.

### 3.2.9.2 Mapa de zonificación de acuerdo a la capacidad de soporte del suelo.

Para la generación de este mapa se codifica los suelos según valor de C.B.R. Además se ubica los suelos dentro de categorías que dependen de su calidad como materiales de subrasante. En la tabla 13 se muestran las características de los códigos utilizados.

Tabla 13. Categorización del suelo y sus características como subrasante.

<b>Código</b>	<b>Capacidad de soporte C.B.R.</b>	<b>Categoría de subrasante</b>
S0	C.B.R. < 3%	Inadecuada
S1	3% ≤ C.B.R. < 6%	Pobre
S2	6% ≤ C.B.R. < 10%	Regular
S3	10% ≤ C.B.R. < 20%	Buena
S4	20% ≤ C.B.R. < 30%	Muy buena
S5	C.B.R. ≥ 30%	Excelente

Fuente: (MANUAL DE CARRETERAS PERU, 2013)

En la tabla 14 se presenta los resultados de las calicatas con su respectivo código y sus propiedades características de acuerdo a la capacidad portante.

Tabla 14. Codificación y ubicación de cada uno de los pozos de sondeo.

<b>ID</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>Y</b>	<b>X</b>	<b>C.B.R.</b>	<b>CÓDIGO</b>
10	Borja	9559002	697989	8%	S2
11	Cristo Rey	9558432	697000	1%	S0
12	Obrapia	9558316	697796	17%	S3

Fuente: El autor.

Obtenido el mapa de zonificación, se determinó que los suelos de la zona de estudio en su mayoría son suelos Inadecuados y, regulares para su uso como subrasante. La simbología utilizada para identificar los tipos de suelo existentes se muestran en el mapa. En el mapa se visualiza los puntos con su respectiva categoría ubicados sobre el mapa base geológico regional de Loja. Además en el mapa se zonifica los suelos de acuerdo al M.T.O.P. para subrasantes conformadas por suelo natural, el cual dispone que para que estos puedan ser utilizados deben tener un valor de C.B.R. igual o mayor al 10%, de no ser así esos suelos son

considerados como inadecuados o no aptos para trabajos de fundación vial. Por ello en el mapa se puede visualizar que predominan los suelos inadecuados o no aptos, teniendo únicamente dos zonas en las cuales el valor de C.B.R. supera el 10%.

El mapa de zonificación en función de la capacidad portante del suelo se encuentra en el apartado de Anexos II.

**CAPÍTULO IV**  
**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### 4.1 Resultados de los ensayos para determinar las características físicas de los materiales de subrasante.

Los resultados obtenidos de los ensayos realizados de humedad, límites de plasticidad, granulometría, que sirven para poder clasificar un suelo por el método AASHTO en las tres profundidades analizadas en cada pozo de sondeo; permiten obtener los perfiles del suelo existentes dentro del proyecto, se muestran a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 15. Resumen de datos y clasificación AASHTO de los suelos

Pozo	Profundidad m	Humedad (W)	LL	IP	Clasificación AASHTO	
		%	%	%	Nominación	Descripción
1	0.5	37.89	79	61	A-7-6	Suelo arcilloso
2	0.5	18.2	81	55	A-7-6	Suelo arcilloso
3	0.5	26.67	76	52	A-7-6	Suelo arcilloso
	1	29.79	66	49	A-7-6	Suelo arcilloso
	1.5	29.79	72	56	A-7-6	Suelo arcilloso
4	0.5	29.23	80	63	A-7-6	Suelo arcilloso
5	0.5	25.05	65	38	A-7-6	Suelo arcilloso
6	0.5	9.37	31	15	A-6	Suelo arcilloso
	1	11.64	27	14	A-6	Suelo arcilloso
	1.5	7.93	27	15	A-2-6	Grava y arena arcillosa
	1	31.01	55	37	A-7-6	Suelo arcilloso
	1.5	22.33	52	36	A-7-6	Suelo arcilloso
8	0.5	25.22	72	56	A-7-6	Suelo arcilloso
	1	22.39	67	50	A-7-6	Suelo arcilloso
	1.5	22.13	63	46	A-7-6	Suelo arcilloso
9	0.5	18.2	20	4	A-4	Suelo limoso
10	0.5	19.17	51	13	A-7-5	Suelo arcilloso
11	0.5	14.97	51	23	A-7-6	Suelo arcilloso
	1	10.2	26	8	A-4	Suelo limoso
	1.5	6.81	25	7	A-2-4	Grava y arena limosa

Fuente: El autor.

Los resultados muestran que los suelos predominantes en el polígono son los suelos finos clasificados por AASHTO como suelos arcillosos A-6, A-7-5 y A-7-6, en menor número los suelos limosos clasificados como A-4, gravas con arena limosa clasificadas como A-2-4 y gravas con arena arcillosa clasificadas como A-2-6.

#### 4.2 Resultados de los ensayos para determinar las características ingenieriles de los materiales de subrasante.

Los resultados de los ensayos para determinar las características ingenieriles como la capacidad de soporte C.B.R. de laboratorio, correlación del ensayo D.C.P. con el valor de C.B.R. en situ, y capacidad admisible con el penetrómetro de bolsillo, de los materiales a 1.50 metros de profundidad en cada una de las calicatas; se presentan en la tabla 16.

Tabla 16. Resumen de resultados de propiedades ingenieriles de los suelos en estudio.

POZO	Densidad proctor	C.B.R.	Correlación D.C.P.- C.B.R.	Capacidad admisible
	gr/cm3			kg/cm2
10	1.463	8%	6.85%	2.13
11	1.698	1%	13.58%	2.25
12	2.135	17%	32.66%	2.25

Fuente: El autor.

La capacidad de soporte de los suelos, que en su mayoría son arcillas es denominada por la norma como subrasante inadecuada debido a que sus valores de C.B.R. por lo general son menores que 3%.

El valor de C.B.R. en situ obtenido mediante las correlaciones con el ensayo D.C.P., muestra valores de que están por encima de 3% como puede observarse en la tabla anterior.

Los resultados de los ensayos para determinar tanto las propiedades físicas y propiedades ingenieriles se encuentran en el Anexo I.



resultante de la combinación de material de la cantera antes mencionada con material de río proveniente del río Malacatos.

Esta dosificación resultante sirve como referencia para la realización de otras dosificaciones con porcentajes menores de materiales de río o para la búsqueda de otro método de mejoramiento, ya que la dosificación tiene un costo muy elevado.

Tomando en cuenta las solicitudes del M.O.P. 2002 para agregados no tratados:

Los agregados gruesos consistirán de partículas resistentes y durables que tengan un porcentaje de desgaste a la abrasión de 50% como máximo. Las partículas finas consistirán de una mezcla de arena y arcilla o limo, y no deberán contener material vegetal; el índice de plasticidad de la fracción que pasa el tamiz N° 40 será como máximo de 9 y su límite líquido no será mayor de 35; la fracción que pasa el tamiz N° 200 no deberá ser mayor que las dos terceras partes de la fracción que pasa el tamiz N° 40.

En caso de no encontrarse materiales originales que cumplan los requisitos para estas superficies de áridos no tratados, podrán utilizarse mezclas de materiales en las proporciones que señale el Fiscalizador. En todo caso, se deberá cumplir los límites de una de las granulometrías especificadas en la Tabla 401-2.1.

Tabla 17. Tabla de resultados de ensayos a materiales de cantera en estado original y combinación de materiales de cantera con materiales de río.

MATERIALES	Cantera Juan José Castillo		Combinación cantera J.J. Castillo y material de río	
	DETALLE	CUMPLE	DETALLE	CUMPLE
LL	20	√	19	√
IP	3	√	NP	√
% ABRASIÓN	58	x	42	√
Granulometría	* TIPO B	x	* TIPO B	√
C.B.R.	---	---	28%	√

Fuente: El autor.

\* La granulometría de los materiales se denomina Tipo B, de acuerdo a las especificaciones del M.O.P. 2002 en su tabla 401-2.1 (Tabla 10 de este documento), correspondiente a agregados no tratados. Las gráficas de granulometría del material de cantera antes y después de la combinación con materiales de río, se muestran a continuación.

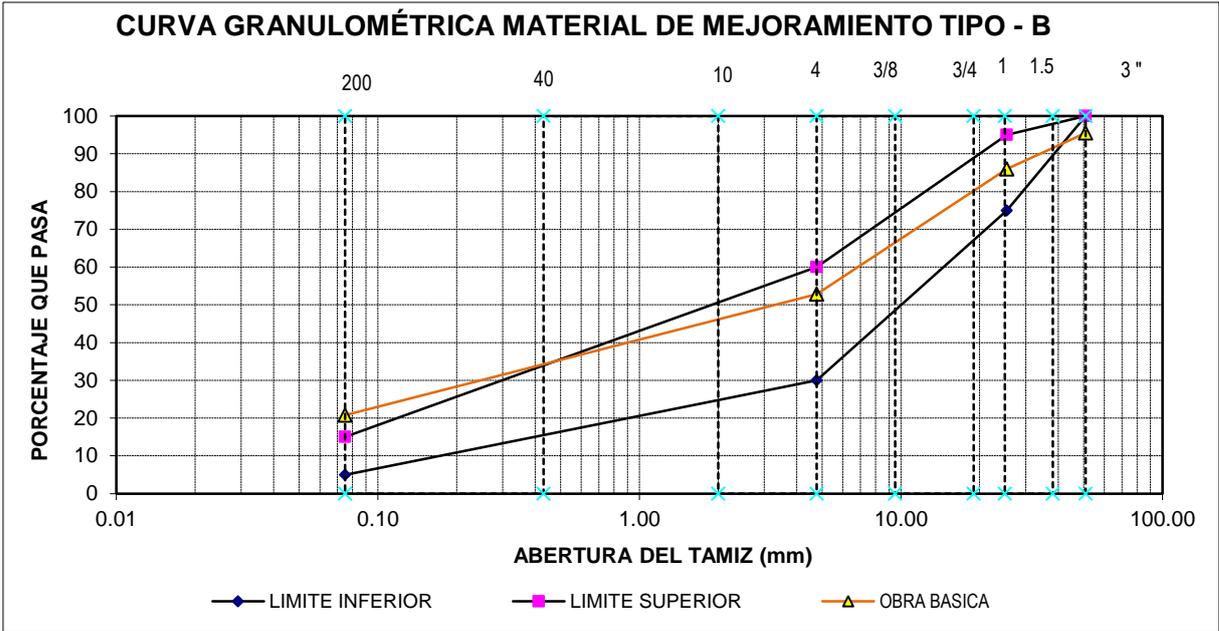


Figura 8. Curva granulométrica materiales originales de la cantera Juan José Castillo.  
Fuente: El autor

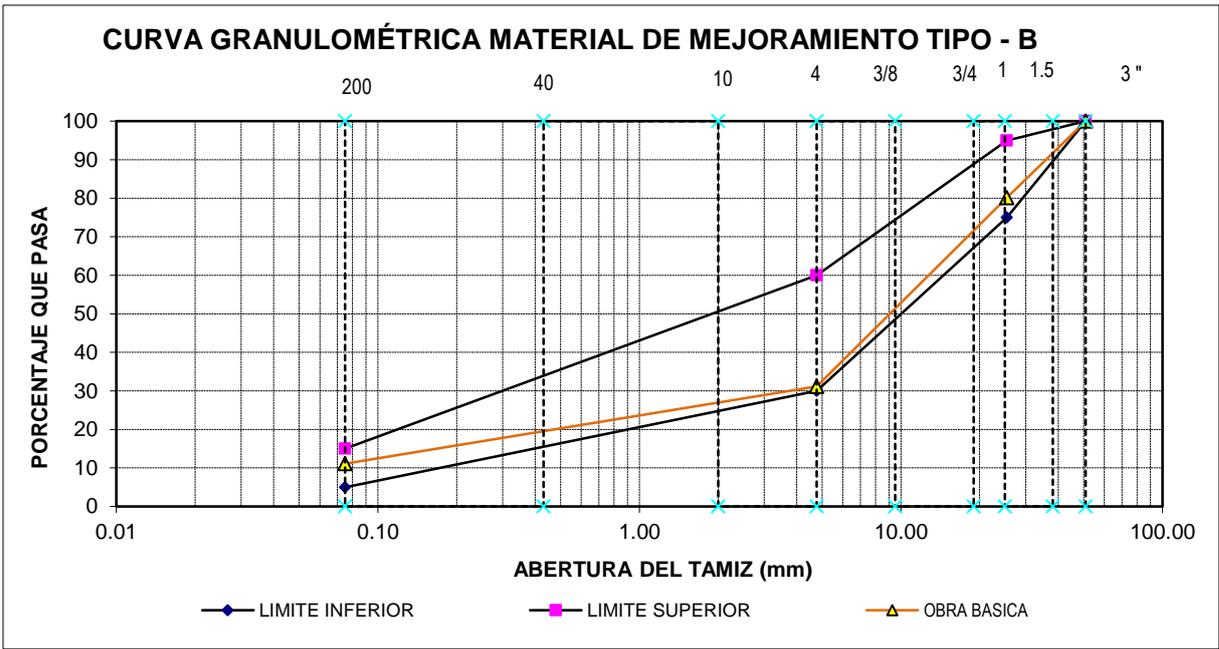


Figura 9. Curva granulométrica materiales combinados de la cantera Juan José Castillo y materiales del río Malacatos.  
Fuente: El autor.

Los resultados a detalle de esta sección se encuentran en Anexos II

## CONCLUSIONES

Finalizados los ensayos de campo y laboratorio, con el respectivo análisis de resultados se concluye lo siguiente:

- ◆ El tipo de suelo clasificado según el método AASHTO que predominan en nuestra zona de estudio son los suelos arcillosos de alta y mediana humedad denominados A-7-6 existentes en las calicatas 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 11; y los suelos arcillosos A-7-5 que existen en la calicata 10.
- ◆ Los suelos limosos con contenidos de humedad media y baja denominados como A-4, existen en las calicatas 9 y 12.
- ◆ Las calicatas 6 y 12 presentan grava y arena arcillosa(A-2-6) y; grava y arena limosa(A-2-4) respectivamente.
- ◆ Los valores de C.B.R. obtenidos para el 95% de la densidad de compactación y para una penetración de 0.1 pulgadas, a una profundidad de sondeo de 1.5 metros son los siguientes: El valor de C.B.R. predominante es 1% para los suelos arcillosos existentes en las calicatas 1, 3, 4, 5, 7, 8, 11; un C.B.R. de 2% en la calicata 2, son valores considerados como inadecuados para su uso como subrasantes. Las calicatas 9 y 10 con valores de C.B.R. de 7% y 8% se consideran como suelos regulares. Las calicatas 6 y 12 en el cual se presentan gravas y arena limosa/arcillosa las cuales poseen un C.B.R. de 20% y 17% respectivamente considerados como materiales buenos para conformar la subrasante.
- ◆ El mapa de zonificación en función al tipo de suelo muestra que los suelos arcillosos cubren casi por completo los terrenos de los barrios Borja, Belén Bajo, y parte de Cristo Rey mientras que los suelos limosos y arenas se encuentran en parte del barrio Obrapia.
- ◆ El mapa de zonificación en función a la capacidad portante del suelo muestra que los suelos de los barrios Borja, Belén Bajo, y parte de Cristo Rey son inadecuados para ser utilizados como subrasante, mientras que los suelos existentes en parte de Obrapia son regulares y buenos para su utilización como materiales de subrasante.
- ◆ El cálculo del C.B.R. diseño para la zona de estudio para los diferentes tipos de tránsito arroja valores menores a 2%, lo cual indica que los materiales de subrasante deben ser mejorados.

- ◆ Los materiales de mejoramiento provenientes de la cantera Juan José Castillo se clasifican según AASHTO como A-1-b, como excelente para su uso en pavimentos; debido a su baja resistencia a la abrasión se procedió a buscar una combinación adecuada de dicho material con material de río, con la misma una vez obtenida se mejoró su resistencia a la abrasión como material de subrasante, esta combinación se clasifica como A-1-a con índice de grupo igual a 0.
  
- ◆ El material de mejoramiento propuesto cumple con todos los requerimientos de M.O.P. 2002 para mejoramiento de la subrasante con agregados no tratados.

## RECOMENDACIONES

Concluido el presente proyecto se puede recomendar lo siguiente:

- ◆ Los suelos predominantes de la zona son A-6 y A-7 según AASHTO, no son recomendables para su uso en pavimentos. Debido a esto se recomienda la utilización de algún tipo de mejoramiento del material sea por métodos mecánicos o químicos.
- ◆ Se recomienda un mejoramiento de subrasante con agregados no tratados resultante de la dosificación de 55% de material de cantera J. José Catillo y 45% de material de río Malacatos, el cual cumple a satisfacción las especificaciones de la normativa MOP 2002. Se puede variar los porcentajes de materiales, o bien buscar otro tipo de procedimiento de mejoramiento de subrasante que permitan abaratar los costos de estos procesos.
- ◆ Se recomienda utilizar el método AASHTO para clasificar los suelos ya que este ubica los suelos dentro de un marco referencial de acuerdo a su comportamiento como material a ser utilizado en obras de vialidad.
- ◆ La utilización del método de proctor modificado para determinar la densidad seca máxima y la humedad óptima de los suelos es requerido debido a que este representa de mejor manera las condiciones de compactación con maquinaria pesada que se aplican a los materiales de subrasante en campo.
- ◆ El ensayo del penetrómetro de bolsillo usado en nuestro proyecto para determinar la resistencia a la compresión de los suelos es recomendable únicamente para suelos arcillosos.
- ◆ La profundidad recomendable de penetración del ensayo D.C.P. es para suelos finos debe ser menor a 90 centímetros.
- ◆ Estos estudios son de utilidad cuando los cortes de las futuras vías no superen la profundidad de 1.50 metros, cuando esto no sea así se recomienda volver hacer los estudios hasta una profundidad a la cual se asegure que las cargas transmitidas por el tránsito vehicular no generen deformaciones considerables en la subrasante.
- ◆ Para la generación de mapas de zonificación en el software de análisis de información geográfica, se debe tener toda la información de manera correcta, sin errores ya que un dato falso proporcionaría resultados lejanos a la realidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- ◆ AASHTO T 96. *Método de prueba estándar para la resistencia a la degradación para agregado grueso de tamaño pequeño por medio de la abrasión e impacto en la máquina de los angeles.*
- ◆ ALVAREZ PABÓN, Jorge. (11 de Diciembre de 2007). *Instituto Colombiano de Productores de Cemento*. Obtenido de Instituto Colombiano de Productores de Cemento:  
[http://anfacal.org/media/Biblioteca\\_Digital/Construccion/Estabilizacion\\_de\\_Suelos/Estab.Doc.Colombiano,varios%20insumos,Cal.2010-F\\_Upload.pdf](http://anfacal.org/media/Biblioteca_Digital/Construccion/Estabilizacion_de_Suelos/Estab.Doc.Colombiano,varios%20insumos,Cal.2010-F_Upload.pdf)
- ◆ ASTM D 2216-98. *Método de prueba estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas por masa.*
- ◆ ASTM D 1557-78. *Métodos de ensayos estándar para determinar la relacion humedad-densidad de suelos y mezclas de suelo-agregado usando un martillo de 4.54 kg (10 lb) y una caída de 457 mm (18 pulg).*
- ◆ ASTM D 1883. *Método estandar para la determinación del Índice de Soporte California de suelos compactados en laboratorio.*
- ◆ ASTM D3282. *Práctica estándar recomendada para la clasificacion de suelos y mezclas suelo-agregado para propositos de construccion de carreteras.*
- ◆ ASTM D 2573. *Método de ensayo de veleta en el campo para suelos cohesivos.*
- ◆ ASTM D 422. *Método de análisis del tamaño de las partículas de suelo.*
- ◆ ASTM D 4318. *Métodos estándar de ensayo para límite líquido, límite de plástico, y el índice de plasticidad de los suelos.*
- ◆ ASTM D 6951-03. *Método de ensayo estándar para el uso del penetrómetro dinámico de cono en estructuras de pavimentos.*
- ◆ ASTM D2488-75. *Práctica Estándar recomendada para la identificacion y descripcion de suelos (procedimiento visual-manual).*
- ◆ CRESPO VILLALAZ, Carlos. (2010). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. México: LIMUSA.
- ◆ DAS, Braja. (2010). *Principios de Ingeniería de cimentaciones*. México: Artgraph.

- ◆ I.C.P.C. (16 de Marzo de 2012). *Instituto Colombiano de Productores de Cemento*. Obtenido de Notas Técnicas:  
  
<http://www.cegment.co/uploads/biblioteca/NT%20424%20pdf%20031%20%20Baja.pdf>
  
- ◆ I.C.P.I. (14 de Noviembre de 2007). *Interlocking Concrete Pavement Institute*. Obtenido de ICPI Concrete Paver Installer Course Study Guide versión en Español: [www.icpi.org/sites/default/files/7th\\_edition-Section\\_4-SPANISH.pdf](http://www.icpi.org/sites/default/files/7th_edition-Section_4-SPANISH.pdf)
  
- ◆ INGENIERIA CIVIL. *Ingeniero civil info*,. Obtenido de Fases del suelo: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/01/fases-del-suelo.html>
  
- ◆ JOVE, Fernando. (23 de mayo de 2013). *Universidad de Sucre*. Obtenido de Facultad de Ingeniería Civil:  
  
<https://vagosdeunisucra.files.wordpress.com/2013/12/informe-de-penetracion-dinamica-de-cono.pdf>
  
- ◆ MANUAL DE CARRETERAS PERÚ. (18 de Febrero de 2013). *Ministerio de Transportes y Comunicaciones Perú*. Obtenido de Ministerio de Transportes y Comunicaciones Perú:  
  
[http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/P\\_recientes/4515.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf)
  
- ◆ MONTEJO, Alfonso. (2002). *Ingeniería de Pavimentos*. Bogotá: Agora.
  
- ◆ MOP-2002. (2002). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*. Quito: Ministerio de Obras Publicas del Ecuador.
  
- ◆ NEVI-2012. (2013). *Normativa Ecuatoriana Vial: Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*. Quito: Ministerio de Transporte y Obras Publicas del Ecuador.
  
- ◆ SUAREZ, Jaime. (2013). *Universidad Industrial de Santander*. Obtenido de Ingeniería Civil; Estabilidad de taludes: <http://ocw.uis.edu.co/ingenieria-civil/estabilidad-de.../tema3-enproceso.pdf>
  
- ◆ U.C.N.C. *Universidad Catolica del Norte - Chile*. Obtenido de Universidad Catolica del Norte - Chile: <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/mecanica7.htm>
  
- ◆ VALLE, Raúl. (1963). *Carreras, Calles y Aeropistas*. Caracas: "El Ateneo".
  
- ◆ WIKIVIA. (25 de Julio de 2011). *Wikivia*. Obtenido de Clasificación AASHTO: [http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Clasificaci%C3%B3n\\_AASHTO](http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Clasificaci%C3%B3n_AASHTO)

## **ANEXOS**

## **ANEXO I: ENSAYOS DE LABORATORIO**

# Calicata 1



## DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL

### ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

**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 BORJA"

**OBRA:** ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE

**NORMA:** ASTM D 4318, AASHTO T-27

**LOCALIZACIÓN:** BORJA

**CALICATA:** 1

**SOLICITADO:** DIRECTOR DE PROYECTO DE FIN DE TITULACIÓN

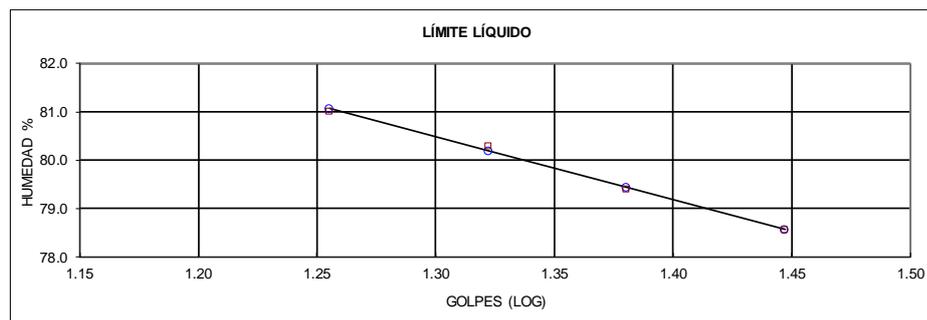
**MUESTRA:** 1

**REALIZADO:** LUIS FABIÁN RIOFRÍO R.

**PROFUNDIDAD:** 0,50 m

**FECHA:** NOVIEMBRE 2013 / MARZO 2014

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		282.57 274.73	224.87 217.59	70.71 68.57	37.43 38.34	37.89
2.- LÍM. LÍQUIDO	18 21 24 28	39.25 39.03 39.26 38.35	35.41 35.28 35.56 34.87	30.67 30.61 30.90 30.44	81.01 80.30 79.40 78.56	79.21
3.- LÍMITE PLÁSTICO		31.84 31.17	31.63 31.04	30.51 30.32	18.75 18.06	18.40
4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN		
PESO IN= 509.09 (H/S)		S		GRAVA		1
PESO INICIAL DE CÁLCULO:		509.09		ARENA		16
				FINOS		83
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 79.00		
1"	0.00	0	100	LP = 18.00		
3/4"	0.00	0	100	IP = 61.00		
1/2"	0.00	0	100	CLASIFICACIÓN		
3/8"	1.67	0	100	SUCS : CH		
No. 4	4.40	1	99	AASHTO: A-7-6		
No. 10	13.13	3	97	IG(86): 54		
No. 40	41.82	8	92	IG(45): 20		
No. 200	85.48	17	83			



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.

Ing. Angel Tapia Chávez  
DIRECTOR DE PROYECTO DE  
FIN DE TITULACIÓN

Luis Fabián Riofrío R.  
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL**  
LABORATORIOS UTPL

**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN**

**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 BORJA"

**OBRA:** ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE

**NORMA:** ASTM D 4318, AASHTO T-27

**LOCALIZACIÓN:** BORJA

**CALICATA:** 1

**SOLICITADO:** DIRECTOR DE PROYECTO DE FIN DE TITULACIÓN

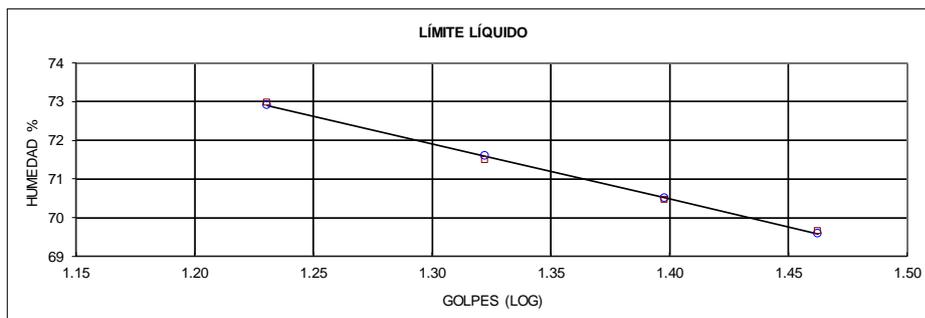
**MUESTRA:** 2

**REALIZADO:** LUIS FABIÁN RIOFRÍO R.

**PROFUNDIDAD:** 1.0 m

**FECHA:** NOVIEMBRE 2013 / MARZO 2014

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		300.39 307.72	241.64 247.46	69.57 71.08	34.14 34.16	34.15
2.- LÍM. LÍQUIDO	17 21 25 29	41.50 38.78 40.79 40.50	36.91 35.32 36.71 36.46	30.62 30.48 30.92 30.66	72.97 71.49 70.47 69.66	70.51
3.- LÍMITE PLÁSTICO		63.58 65.38	63.19 65.04	61.22 63.29	19.80 19.43	19.61
4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN		
PESO IN= 500.45 (H/S)		S		GRAVA	1	
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 500.45				ARENA	16	
				FINOS	83	
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL =	71.00	
1"	0.00	0	100	LP =	20.00	
3/4"	0.00	0	100	IP =	51.00	
1/2"	0.00	0	100	CLASIFICACIÓN		
3/8"	0.00	0	100	SUCS : CH		
No. 4	4.13	1	99	AASHTO: A-7-6		
No. 10	9.67	2	98	IG(86): 45		
No. 40	39.14	8	92	IG(45): 20		
No. 200	83.93	17	83			



**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.

Ing. Angel Tapia Chávez  
**DIRECTOR DE PROYECTO DE  
FIN DE TITULACIÓN**

Luis Fabián Riofrío R.  
**PROFESIONAL EN FORMACIÓN**



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR

**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 BORJA"

**OBRA:** ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE

**LOCALIZACIÓN:** BORJA

**NORMA:** T 180-D

**SOLICITADO:** DIRECTORA DE PROYECTO DE FIN DE TITULACIÓN

**CALICATA:** 8

**REALIZADO:** LUIS FABIÁN RIOFRÍO

**PROFUNDIDAD:** 1,50 m

**FECHA:** ABRIL / JULIO 2014

NORMA ENSAYO:	T-180-D	
GOLPES/CAPA:	56	
No. DE CAPAS:	5	
PESO MARTILLO:	4.5	Kg.
ALT. DE CAÍDA:	46.0	cm.

DATOS DEL MOLDE	2	
DIÁMETRO:	15.22	cm.
ALTURA:	11.55	cm
VOLUMEN :	2,101	cm <sup>3</sup>
PESO :	6,280	gramos

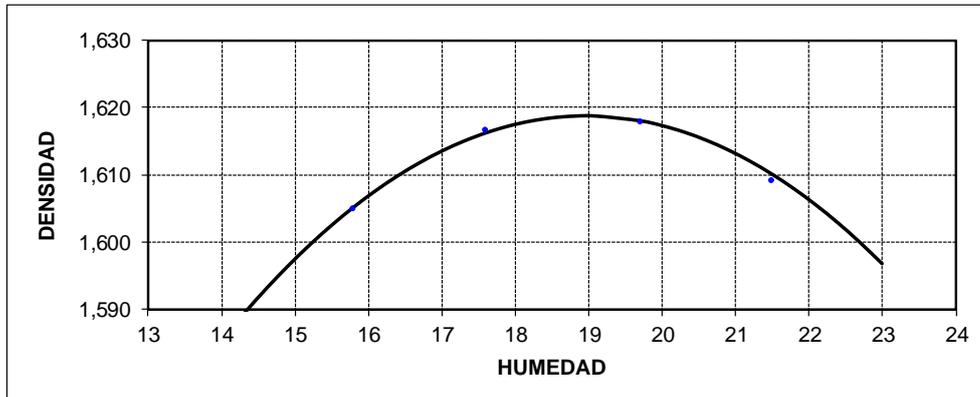
DATOS PARA LA CURVA:

PUNTO No.:	1	2	3	4
Peso comp.:	10,185	10,279	10,353	10,393
Peso suelo:	3,905	3,999	4,073	4,113
Dens. Hum :	1,858	1,903	1,938	1,957

CONTENIDOS DE HUMEDAD:

W. hum.:	304.63	290.30	374.85	384.99	338.36	356.08	375.84	385.24
W. seco:	272.28	257.79	326.19	336.21	288.37	306.75	319.34	327.79
W. caps:	65.40	53.72	53.45	58.86	37.97	55.72	58.44	61.96
w (%) :	15.64	15.93	17.84	17.59	19.96	19.65	21.66	21.61
promedio	15.78		17.71		19.81		21.63	
Dens. Seca:	1,605		1,617		1,618		1,609	

RESULTADOS: DENSIDAD SECA MÁXIMA = 1,619 Kg/m<sup>3</sup>  
CONT. DE AGUA OPTIMO = 18.96 %



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

Ing. Ángel Tapia Chávez  
DIRECTOR DEL PROYECTO DE  
FIN DE TITULACIÓN

Luis Fabián Riofrío R.  
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

**ANEXO II: MATERIALES DE LA CANTERA JUAN JOSÉ CASTILLO Y  
COMBINACIÓN DE MATERIAL DE CANTERA J.J CASTILLO CON MATERIAL DEL RIO  
MALACATOS**

## Materiales originales de la cantera Juan José Castillo



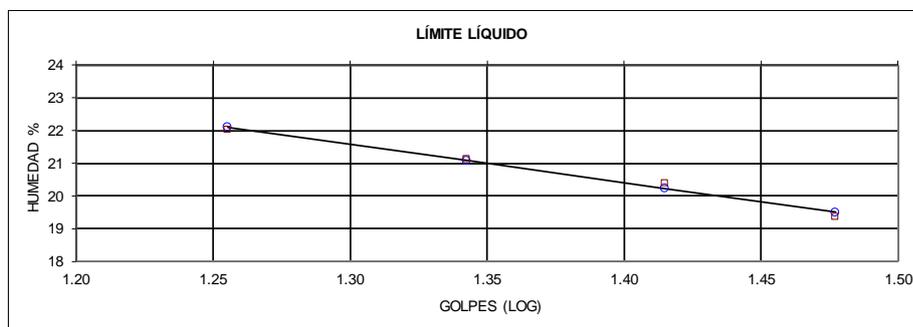
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

### ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

**PROYECTO** : "CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DE SUBRASANTE EN ZONAS NO URBANIZADAS DE LA CIUDAD DE LOJA, APLICADAS A OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL "  
**NORMA** : ASTM D 4318, AASHTO T-27  
**OBRA** : ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE  
**MUESTRA** : 1  
**LOCALIZAC** : CANTERA "JUAN JOSÉ CASTILLO"  
**SOLICITADO**: LUIS FABIÁN RIOFRÍO  
**FECHA** : NOVIEMBRE 2014

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		488.22 453.19	456.89 425.85	63.31 60.56	8.0 7.5	8
2.- LÍM. LÍQUIDO	18 22 26 30	59.00 66.00 73.00 69.98	57.61 64.46 71.56 68.57	51.3 57.17 64.5 61.29	22.03 21.12 20.40 19.37	20.43
3.- LÍMITE PLÁSTICO		64.93 57.51	64.47 57.27	61.76 55.8	16.97 16.33	16.65

4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN	
PESO IN= 5687.70 (H/S)		S		GRAVA	47
PESO INICIAL DE CÁLCULO:		5687.70		ARENA	32
				FINOS	21
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA		
2"(50.8 mm)	255	4	96	LL =	20.00
1 1/2"(38.1mm)	467	8	92	LP =	17.00
1"(25.4mm)	797	14	86	IP =	3.00
3/4"(19.0mm)	1,235	22	78		
1/2"(12.50mm)	1,769	31	69		
3/8"(9.5mm)	2,065	36	64		
Nº4 (4.76mm)	2,681	47	53		
Nº10 (2.00mm)	3,213	56	44		
Nº40 (0.425mm)	3,754	66	34		
Nº200 (0.075mm)	4,505	79	21		
				CLASIFICACIÓN	
				SUCS:	SM
				AASHTO:	A-1-b
				IG(86):	0
				IG(45):	0



CLASIFICACIÓN AASHTO: Cantos, grava y arena (A-1-b)

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

Ing. Angel Tapia Chávez  
**DIRECTOR DE PROYECTO DE FIN DE TITULACIÓN**

Luis Fabián Riofrío R.  
**PROFESIONAL EN FORMACIÓN**



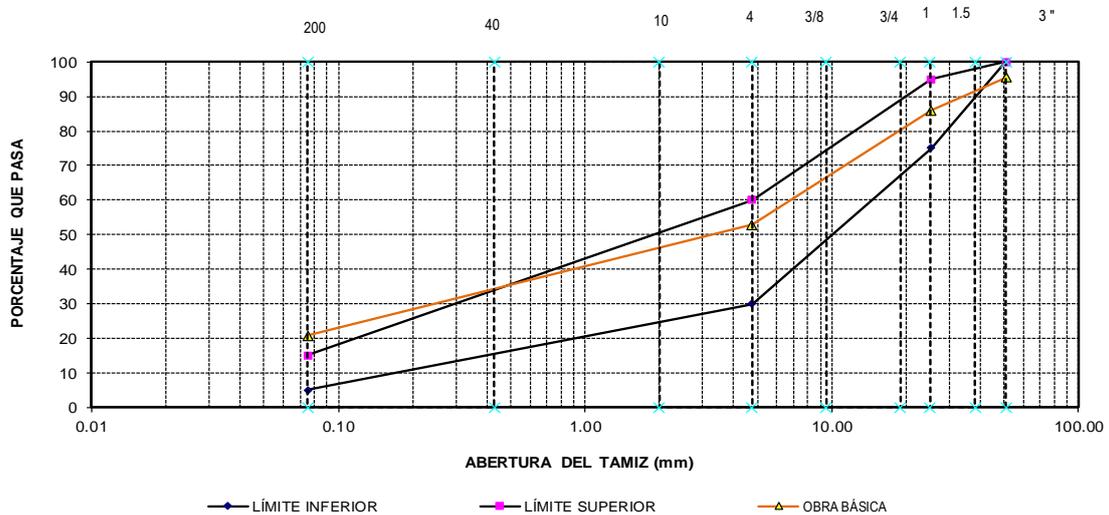
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL**

**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN**

PROYECTO : "CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DE SUBRASANTE EN ZONAS NO URBANIZADAS APLICADAS A OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL.  
 OBRA : ESTUDIOS DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO NORMA: ASTM D 422,  
 LOCALIZAC: CANTERA JUAN JOSÉ CASTILLO MUESTRA: 1  
 SOLICITADO : LUIS FABIAN RIOFRÍO  
 FECHA: NOVIEMBRE 2014

Tamiz mm	Peso Acumulado	%	%	ESPECIFICACIÓN	
				Retenido	Que Pasa
2"(50.8 mm)	255.29	4	96	100	100
1 1/2"(38.1mm)	467.1	8	92		
1"(25.4mm)	796.9	14	86	75	95
3/4"(19.0mm)	1235.0	22	78		
1/2"(12.50mm)	1768.7	31	69		
3/8"(9.5mm)	2065.4	36	64		
N°4 (4.76mm)	2681.3	47	53	30	60
N°10 (2.00mm)	3213.40	56	44		
N°40 (0.425mm)	3753.59	66	34		
N°200 (0.075mm)	4504.69	79	21	5	15
FONDO	5680.9	100	0		
Total	5687.7				

**CURVA GRANULOMÉTRICA MATERIAL DE MEJORAMIENTO TIPO - B**



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

Ing. Angel Tapia Chávez  
**DIRECTOR DE PROYECTO  
 DE FIN DE TITULACIÓN**

Luis Fabián Riofrío R.  
**PROFESIONAL EN FORMACIÓN**



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL

DETERMINACIÓN DEL VALOR DE ABRASIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTÍCULAS MENORES A 37.5 mm  
MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

PROYECTO : 'CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL DE SUBRASANTE EN ZONAS NO URBANIZADAS DE LA CIUDAD  
DE LOJA, EN OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL'

OBRA: ESTUDIO DE MATERIAL DE MEJORAMIENTO      NORMA: AASHTO T 96 - 02  
LOCALZ: CANTERA "JUAN JOSÉ CASTILLO"      MUESTRA: MATERIAL DE CANTERA  
SOLIC: LUIS FABIÁN RIOFRIO R      REALIZADO: LUIS FABIÁN RIOFRIO R  
FECHA: NOVIEMBRE 2014

GRADACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO SEPARADA POR TAMIZADO

Tamices en mm				Masa de la muestra de ensayo en gramos			
Pasa		Retenido		Gradación			
mm	in	mm	in	A	B	C	D
37.5	(11/2)	25	( 1 )	1252.09			
25	( 1 )	19	(3/4)	1252.83			
19	(3/4)	12.5	(1/2)	1251.43			
12.5	(1/2)	9.5	(3/8)	1251.54			
9.5	(3/8)	6.3	(1/4)				
6.3	(1/4)	4.75	(N° 4)				
4.75	(N° 4)	2.36	( N°8)				
Total (gr)				5007.89			

Numero de esferas:	12	Masa de la carga abrasiva:	4956 gr
Masa total de la muestra seleccionada antes del ensayo (A):	5007.89	gr	
Masa de la muestra despues de 500 revoluciones (B):	2108.3	gr	
Valor de abrasión despues de 500 revoluciones (V):	57.9	%	

Valor de Abrasión en Porcentaje	V=	58%	Según el capitulo 401_2.02 de la norma MOP - 001-F 2002, el porcentaje máximo de desgaste debe ser 50.0 %.
---------------------------------	----	-----	--

Observacion: El ensayo fue realizado por el tesista bajo la dirección del director de tesis. El valor de abrasión esta muy cercano al máximo permitido por la norma por lo que se recomienda el mejoramiento con la mezcla material de rio.

Ing. Ángel Tapia Chávez  
DIRECTOR DE PROYECTO DE  
FIN DE TITULACIÓN

Luis Fabián Riofrío R.  
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

## Combinación de material de la cantera J. J. Castillo y material del río Malacatos



### DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL LABORATORIOS UTPL

#### ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

**PROYECTO** : "CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DE SUBRASANTE EN ZONAS NO URBANIZADAS DE LA CIUDAD DE LOJA, APLICADAS A OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL "

**NORMA** : ASTM D 4318, AASHTO T-27

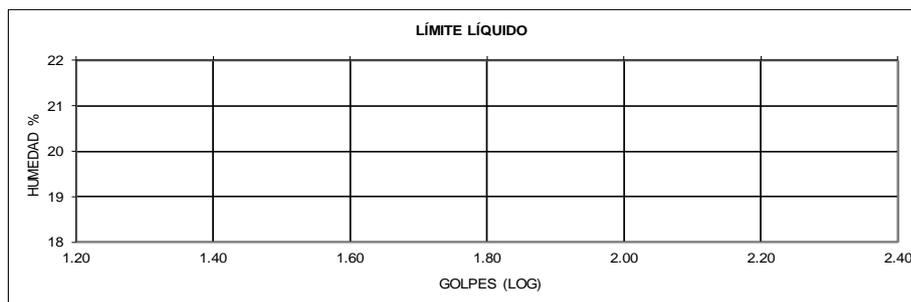
**OBRA** : MATERIAL DE MEJORAMIENTO COMBINADO **MUESTRA** : 1

**REALIZA**: LUIS FABIAN RIOFRIO

**SOLICITADO**: DIRECTOR DE TESIS

**FECHA** : NOVIEMBRE 2014

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		488.22 453.19	456.89 425.85	63.31 60.56	8.0 7.5	8
2.- LÍM. LÍQUIDO						NP
3.- LÍMITE PLÁSTICO						NP
4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN		
PESO IN= 5140.00 (H/S)		S		GRAVA	69	
PESO INICIAL DE CÁLCULO:		5140.00		ARENA	20	
				FINOS	11	
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 0.00 LP = 0.00 IP = 0.00		
2"(50,8 mm)	0.0	0	100	<b>CLASIFICACIÓN</b> SUCS : GM AASHTO: A-1-a IG(86): 0 IG(45): 0		
1 1/2(38.1mm)	84.7	2	98			
1"(25.4mm)	1,020.9	20	80			
3/4"(19.0mm)	1,775.9	35	65			
1/2"(12.50mm)	2,616.2	51	49			
3/8"(9.5mm)	3,077.7	60	40			
Nº4 (4.76mm)	3,536.6	69	31			
Nº10 (2.00mm)	3,869.6	75	25			
Nº40 (0.425mm)	4,166.7	81	19			
Nº200 (0.075mm)	4,568.1	89	11			



CLASIFICACIÓN AASHTO: Fragmentos de piedra grava y arena (A-1-a)

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

Ing. Angel Tapia Chávez  
DIRECTOR DE PROYECTO DE FIN

Luis Fabián Riofrío R.  
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



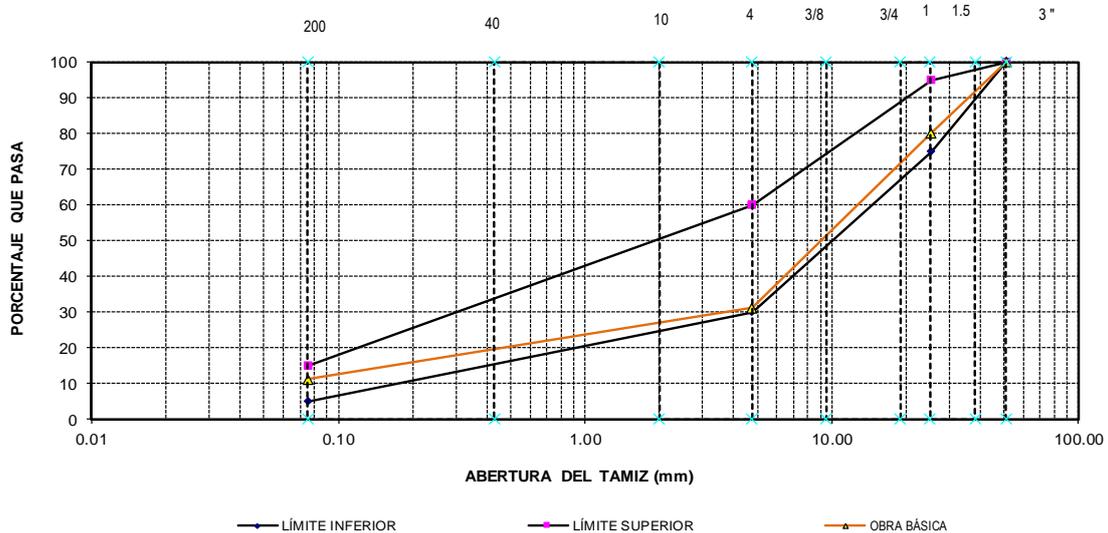
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL**

**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN**

**PROYECTO :** "CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DE SUBRASANTE EN ZONAS NO URBANIZADAS APLICADAS A OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL.  
**OBRA :** ESTUDIOS DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO      **NORMA:** ASTM D 422,  
**LOCALIZAC:** MATERIAL DE MEJORAMIENTO COMBINADO  
**SOLICITADO :** LUIS FABIAN RIOFRÍO  
**FECHA:** NOVIEMBRE 2014

Tamiz mm	Peso Acumulado	% Retenido	% Que Pasa	ESPECIFICACIÓN	
				Inferior	Superior
2"(50,8 mm)	0	0	100	100	100
1 1/2"(38.1mm)	84.7	2	98		
1"(25.4mm)	1020.9	20	80	75	95
3/4"(19.0mm)	1775.9	35	65		
1/2"(12.50mm)	2616.2	51	49		
3/8"(9.5mm)	3077.7	60	40		
Nº4 (4.76mm)	3536.6	69	31	30	60
Nº10 (2.00mm)	3869.61	75	25		
Nº40 (0.425mm)	4166.66	81	19		
Nº200 (0.075mm)	4568.12	89	11	5	15
FONDO	5157.2	100	0		
Total	5140.0				

**CURVA GRANULOMÉTRICA MATERIAL DE MEJORAMIENTO TIPO - B**



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

Ing. Angel Tapia Chávez  
**DIRECTOR DE PROYECTO  
 DE FIN DE TITULACIÓN**

Luis Fabián Riofrío R.  
**PROFESIONAL EN FORMACIÓN**



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL

DETERMINACIÓN DEL VALOR DE ABRASIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTÍCULAS MENORES A 37.5 mm  
MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

PROYECTO : 'CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL DE SUBRASANTE EN ZONAS NO URBANIZADAS DE LA CIUDAD DE LOJA, EN OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL'

OBRA: ESTUDIO DE MATERIAL DE MEJORAMIENTO      NORMA: AASHTO T 96 - 02  
LOCALZ: MATERIAL MEJORADO - COMBINACIÓN      REALIZADO: LUIS FABIÁN RIOFRIO R  
SOLIC: LUIS FABIÁN RIOFRIO R  
FECHA: NOVIEMBRE 2014

GRADACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO SEPARADA POR TAMIZADO

Tamices en mm				Masa de la muestra de ensayo en gramos			
Pasa		Retenido		Gradación			
mm	in	mm	in	A	B	C	D
37.5	(11/2)	25	( 1 )	1254			
25	( 1 )	19	(3/4)	1252.6			
19	(3/4)	12.5	(1/2)	1256.7			
12.5	(1/2)	9.5	(3/8)	1256.1			
9.5	(3/8)	6.3	(1/4)				
6.3	(1/4)	4.75	(N° 4)				
4.75	(N° 4)	2.36	( N°8)				
Total (gr)				5019.4			

Numero de esferas:	12	Masa de la carga abrasiva:	4956 gr
Masa total de la muestra seleccionada antes del ensayo (A):	5019.4	gr	
Masa de la muestra despues de 500 revoluciones (B):	2908.9	gr	
Valor de abrasión despues de 500 revoluciones (V):	42.0	%	

Valor de Abrasión en Porcentaje	V=	42%	Según el capitulo 401_2.02 de la norma MOP - 001-F 2002, el porcentaje máximo de desgaste debe ser 50.0 %.
---------------------------------	----	-----	--

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

Ing. Ángel Tapia Chávez  
DIRECTOR DE PROYECTO DE FIN DE  
TITULACIÓN

Luis Fabián Riofrío R.  
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR

**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 BORJA"

**OBRA:** ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE

**LOCALIZACIÓN:** MATERIAL MEJORAMIENTO COMBINADO

**NORMA:** T 180-D

**SOLICITADO:** DIRECTOR DE PROYECTO DE FIN DE TITULACIÓN

**REALIZADO:** LUIS FABÍAN RIOFRÍO

**MUESTRA:** 1

**FECHA:** NOVIEMBRE 2014

NORMA ENSAYO:	T-180-D	
GOLPES/CAPA:	56	
No. DE CAPAS:	5	
PESO MARTILLO:	4.5	Kg.
ALT. DE CAÍDA:	46.0	cm.

DATOS DEL MOLDE	1	
DIÁMETRO:	15.23	cm.
ALTURA:	11.57	cm
VOLUMEN :	2,108	cm <sup>3</sup>
PESO :	6,250	gramos

DATOS PARA LA CURVA:

PUNTO No.:	1	2	3	4
Peso comp.:	10,797	11,040	11,205	11,155
Peso suelo:	4,547	4,790	4,955	4,905
Dens. Hum :	2,157	2,273	2,351	2,327

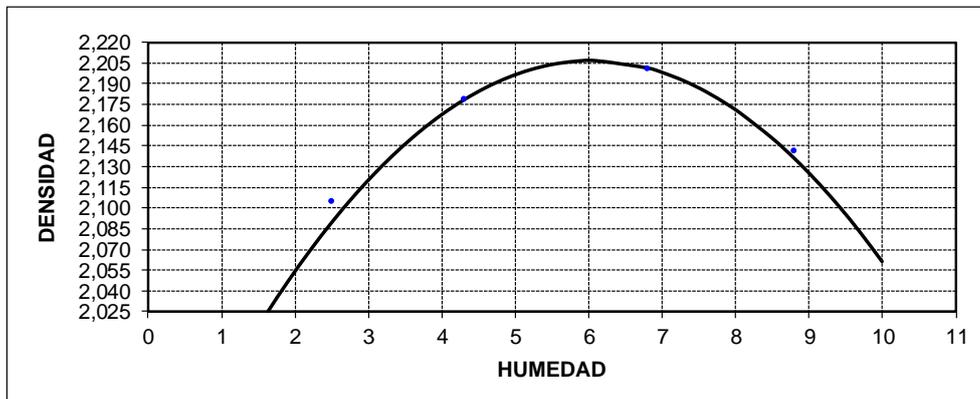
CONTENIDOS DE HUMEDAD:

W. hum.:	545.69	534.66	611.10	557.42	511.11	480.70	545.90	567.62
W. seco:	534.41	522.69	589.29	535.80	482.71	453.13	507.03	526.69
W. caps:	58.66	67.11	55.09	60.39	57.78	57.02	59.55	56.92
w (%) :	2.37	2.63	4.08	4.55	6.68	6.96	8.69	8.71
promedio	2.50		4.32		6.82		8.70	
Dens. Seca:	2,105		2,179		2,201		2,141	

RESULTADOS:

DENSIDAD SECA MÁXIMA =  
CONT. DE AGUA OPTIMO =

2,206 Kg/m<sup>3</sup>  
6.04 %



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

Ing. Ángel Tapia Chávez  
DIRECTOR DEL PROYECTO DE  
FIN DE TITULACIÓN

Luis Fabián Riofrío R.  
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL**  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - UTPL

**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 BORJA"

**OBRA :** MATERIAL DE MEJORAMIENTO COMBINADO  
**SOLICITADO:** DIRECTOR DE PROYECTO DE FIN DE TITULACIÓN  
**REALIZADO:** LUIS FABIÁN RIOFRÍO R.  
**FECHA:** NOVIEMBRE-2014

NUMERO DEL MOLDE Nº	4	5	6
DIÁMETRO DEL MOLDE: (cm)	15.12	15.19	15.18
ALTURA DEL MOLDE: (cm)	12.72	12.34	12.73
ALTURA DEL ALZA: (cm)	5.07	5.07	5.07

**NORMA:** ASTM 1883  
**MUESTRA:** 1

ÍNDICE DE SOPORTE CALIFORNIA " C. B. R. "

MOLDE Nº	4		5		6	
	56		25		10	
Nº DE GOLPES POR CAPA						
CONDICIÓN DE MUESTRA	ANTES SATURAR.	DESP. SATURAR.	ANTES SATURAR.	DESP. SATURAR.	ANTES SATURAR.	DESP. SATURAR.
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + MOLDE gr.	12202	12261	12264	12350	11900	12048
PESO DEL MOLDE + BASE gr.	6787	6787	7073	7073	6860	6860
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA gr.	5415	5474	5191	5277	5040	5188
VOLUMEN DE MUESTRA cm <sup>3</sup>	2283.92	2283.92	2236.25	2236.25	2303.89	2303.89
DENSIDAD HÚMEDA gr/cm <sup>3</sup>	2.371	2.397	2.321	2.360	2.188	2.252

HUMEDAD	ARRIBA	ABAJO										
	AB3	MS33	5	G18	MS20	MS1080	GB5	2	MS17	MS2	O3	Go2.3
RECIPiente Nº												
PESO DEL RECIPiente gr.	57.01	56.05	64.98	71.24	69.58	65.15	70.78	66.70	68.57	70.67	64.09	67.09
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + REC. gr.	294.67	292.59	361.04	384.01	374.19	344.72	429.97	404.93	381.02	362.22	403.14	420.83
PESO DE LA MUESTRA SECA + REC. gr.	281.39	279.50	343.81	364.06	357.69	328.99	407.45	384.50	363.56	345.71	378.19	395.22
PESO DE AGUA gr.	13.28	13.09	17.23	19.95	16.5	15.73	22.52	20.43	17.46	16.51	24.95	25.61
PESO DE MUESTRA SECA gr.	224.38	223.45	278.83	292.82	288.11	263.84	336.67	317.8	294.99	275.04	314.1	328.13
CONTENIDO DE HUMEDAD gr.	5.92	5.86	6.18	6.81	5.73	5.96	6.69	6.43	5.92	6.00	7.94	7.80
HUMEDAD PROMEDIO %	5.89		6.50		5.84		6.56		5.96		7.87	
DENSIDAD SECA gr/cm <sup>3</sup>	2.239		2.251		2.193		2.215		2.065		2.087	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA

MOLDE Nº	4	5	6
PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE DESPUÉS DE SATURACIÓN	12261	12350	12048
PESO MUESTRA HÚMEDA + MOLDE ANTES DE SATURACIÓN	12202	12264	11900
PESO DE AGUA ABSORBIDA	59	86	148
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA	1.09	1.66	2.94

DATOS DE ESPONJAMIENTO

FECHA	TIEMPO	MOLDE Nº 10			MOLDE Nº 11			MOLDE Nº 12		
		LECTURA DIAL	CAMBIO DE	ESPONJAM.	LECTURA DIAL	CAMBIO DE	ESPONJAM.	LECTURA DIAL	CAMBIO DE	ESPONJAM.
Y	EN	mm x 10 <sup>-2</sup>	LONGITUD mm	%	mm x 10 <sup>-2</sup>	LONGITUD mm	%	mm x 10 <sup>-2</sup>	LONGITUD mm	%
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	4	0.04	0.03	4	0.04	0.03	4	0.04	0.03
	3	5	0.05	0.04	7	0.07	0.06	6	0.06	0.05
	4	6	0.06	0.05	9	0.09	0.07	7	0.07	0.05
	5	9	0.09	0.07	14	0.14	0.11	17	0.17	0.13

DATOS ENSAYO DE PENETRACIÓN

PENETR. EN	CARGAS TIPO	MOLDE Nº 10			MOLDE Nº 11			MOLDE Nº 12		
		LECTURA DIAL	PRESIÓN	C.B.R. CORREG.	LECTURA DIAL	PRESIÓN	C.B.R. CORREG.	LECTURA DIAL	PRESIÓN	C.B.R. CORREG.
plg	lb/plg <sup>2</sup>	plg x 10 <sup>-4</sup>	lb/plg <sup>2</sup>	lb/plg <sup>2</sup>	plg x 10 <sup>-4</sup>	lb/plg <sup>2</sup>	lb/plg <sup>2</sup>	plg x 10 <sup>-4</sup>	lb/plg <sup>2</sup>	lb/plg <sup>2</sup>
0.025		44.0	148.69		38.00	128.42		12.0	40.55	
0.050		97.0	327.80		82.00	277.11		27.0	91.24	
0.075		150.0	506.91		126.00	425.81		40.0	135.18	
0.100	1000	202.0	682.65	77.50	162.00	547.47	59.00	53.0	179.11	18.00
0.150		308.0	1040.86		241.00	814.44		72.0	243.32	
0.200	1500	415.0	1402.46	95.00	311.00	1051.00	72.00	88.0	297.39	21.33
0.250		509.0	1720.13		376.50	1272.36		105.0	354.84	
0.300	1900	580.0	1960.07		438.00	1480.19		121.0	408.91	
0.400	2300	740.0	2500.78		552.50	1867.14		150.0	506.91	
0.500	2600	885.0	2990.80		650.00	2196.63		168.0	567.74	

Ing. Ángel Tapia Chávez  
DIRECTOR DE PROYECTO DE FIN  
DE TITULACIÓN

Luis Fabián Riofrío R.  
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

### **ANEXO III: MAPAS DE ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA**

## **ANEXO FOTOGRAFICO**

Fotografía 1: Recolección de muestras en campo.



Fuente: El autor.

Fotografía 2: Ejecución del ensayo D.C.P.



Fuente: El autor.