



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA CIVIL**

**Comportamiento de la subrasante de suelos con adición de escoria en
pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina – 2016**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR:

Ilary Ccoillo Inca

ASESOR:

Dr. Abel Alberto Muñoz Paucarmayta

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de infraestructura vial

LIMA - PERÚ

2017

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE

SECRETARIA

VOCAL

DEDICATORIA

La presente tesis va dedicada a mis padres Agustín Ccoillo L. y Feliciano Inca Q. Por su amor, comprensión y perseverancia que ha sido mi fuente de motivación para día a día ser mejor, guiando mis pasos en todo momento y velando siempre por mi bienestar.

AGRADECIMIENTO

En primera instancia agradezco a mis formadores de la Universidad Cesar Vallejo, quienes contribuyeron como personas de gran sabiduría con esfuerzo y dedicación al fortalecimiento de mis competencias, en especial a mis padres y hermanos.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Illary Ccoillo con DNI N° 44753430, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, Abril del 2017

Illary Ccoillo Inca

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada “Comportamiento de la subrasante de suelos con adición de escoria en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina - 2016”, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de Ingeniero Civil.

Ccoillo Inca, Illary

ÍNDICE DE TABLA

JURADO CALIFICADOR	II
DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	IV
PRESENTACIÓN	V
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
I. INTRODUCCIÓN	13
1.1 Realidad problemática	16
1.2 Trabajos previos	17
1.3. Teorías relacionadas al tema	23
1.3.2. Las propiedades fundamentales a considerar son:	25
1.3.3. Estabilización de suelos	34
1.4. Formulación del problema	43
1.5 Justificación del estudio	43
1.6 Hipótesis	44
1.7 Objetivos	45
II. MÉTODO	46
2.1. Método de investigación	47
2.2. Tipo y Diseño de investigación	47
2.4. Población y muestra	50
2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	51
2.5.3. Validez:	52
2.6. Métodos de análisis de datos	54
III. ANALISIS Y RESULTADOS	55

3.1. Ubicación de la zona de estudio	56
3.2. Descripción de la zona de estudio	56
3.3. Recopilación de información	56
3.3.1. Trabajos de campo	56
3.3.1.1. Exploración y muestreo de las calicatas	57
3.3.1.2. Muestreo de escoria	58
3.4. Ensayos de laboratorio	58
3.5. Demostración de la influencia de suelos con adición de escoria de altos hornos en el comportamiento de la subrasante en pavimentos flexibles.	59
3.6. Evaluando la influencia de la cantidad incrementada de escoria de altos hornos en el comportamiento de la subrasante en pavimentos flexibles.	62
3.7. Analizando la intervención de las características físicas del suelo en el comportamiento de la subrasante en pavimentos flexibles.	64
3.7.2. Clasificación de suelos.	66
3.7.3. Límites de consistencia	67
3.7.4. Peso específico relativo de sólidos (Gs)	69
3.7.4.1 Calculo	69
3.8. Determinando las propiedades mecánicas de los suelos en la alteración del comportamiento de la subrasante en pavimentos flexibles.	70
3.8.1. Proctor modificado	70
3.8.2. CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO)	72
3.8.3. Porcentaje de expansión	75
3.8.4. RESUMEN DE RESULTADOS	76
IV. DISCUSIONES DE RESULTADOS	77
V. CONCLUSIONES	80
VI. RECOMENDACIONES	82
IV. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	84
ANEXOS	88

ANEXO N° 1. Matriz de consistencia	89
ANEXO N° 2. Validación de instrumentos	90
ANEXO N° 3. Constancia del laboratorio de la Universidad Agraria la Molina	93
ANEXO N° 4 Plano de ubicación general.	94
ANEXO N° 4.1 Plano de ubicación específico.	95
ANEXO N° 5. Panel fotográfico	96
ANEXO N° 6 Perfil estratigráfico de la excavación de calicatas.	105
ANEXO N° 7 Certificados de laboratorio	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I.1: Clasificación de suelos según Tamaño de partículas	26
Tabla I.2: Símbolos de grupo (SUCS)	29
Tabla I.3: Tipología de suelos (SUCS)	29
Tabla I.4: Correlación de tipo de suelo SUCS	30
Tabla I.5: Correlación de tipos de suelos AASHTO	31
Tabla I.6: Categorías de subrasante	32
Tabla I.7: Especificaciones para la prueba de Proctor Modificado	34
Tabla I.8: Generación relativa de residuos en la fabricación de acero (datos estimativos 1997)	38
Tabla I.9: Composición base de las escorias negras y escorias blancas	39
Tabla I.10: Cantidad generada de escorias negras y blancas según el tipo de acero	40
Tabla II.11: Operacionalización de variables	49
Tabla II.12 Validez de ficha para recolección de datos	53
Tabla II.13: Resumen para evaluación de expertos	53
Tabla II.14: Tabla de confiabilidad	54
Tabla III.15: Coordenadas geográficas de las calicatas	57
Tabla III.16: Propiedades físicas, mecánicas de la escoria y suelo	60
Tabla III.17: CBR, suelo arcilloso más 30% de escoria	60
Tabla III.18: Resumen de los resultados de laboratorio	63
Tabla III.19: Porcentaje que pasa por cada malla	64
Tabla III.20: Distribución granulométrico.	65
Tabla III.21: Clasificación SUCS	66
Tabla III.22: Clasificación AASTHO	66
Tabla III.23: Limite de consistencia	67
Tabla III.24: Peso específico relativo de sólidos (Gs)	69
Tabla III.25: Máxima densidad seca (MDS) y optimo contenido de humedad (0CH) del ensayo proctor modificado, suelo más escoria	71
Tabla III.26: Índice CBR del suelo natural más las combinaciones con escoria	72
Tabla III.27: Porcentaje de expansión suelo más escoria	76
Tabla 28: Resumen de las propiedades mecánicas	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2: Sección transversal - Pavimento flexible	25
Figura 3: Curva granulométrica de los suelos	27
Figura1: Pasos a seguir por el acerista para poder reutilizar las escorias negras y las escorias blancas	41
Figura 18: Comparación del valor CBR, sin adición y con adición de escoria	61
Figura 4: CBR sin escoria y con escoria	62
Figura 5: Curva granulométrica del suelo natural, escoria y las combinaciones	65
Figura 6: Límite líquido vs % de escoria	67
Figura 7: Límite plástico vs % de escoria	68
Figura 8: Índice de plasticidad vs % de escoria	68
Figura 9: Peso específico vs % de escoria	70
Figura 10: Máxima Densidad Seca y Óptimo contenido de humedad.	71
Figura 11: Curva Densidad Seca vs CBR suelo natural	73
Figura 12: Curva Densidad Seca vs CBR suelo natural más 10% de escoria	73
Figura 13: Curva Densidad Seca vs CBR suelo natural más 20% de escoria	74
Figura 14: Curva Densidad Seca vs CBR suelo natural más 30% de escoria	74
Figura 15: Curva Densidad Seca vs CBR suelo natural más 20% de escoria	75
Figura 16: índice CBR VS % DE ESCORIA AL 95% (1")	75
Figura 17: % De expansión vs % De escoria	76

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, Comportamiento de la subrasante de suelos con adición de escoria en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina, 2016. Cuyo objetivo fue demostrar la influencia de suelos con adición de escoria de altos hornos en el comportamiento de la subrasante en pavimentos flexibles.

Montejo Fonseca (2002) Al respecto del Comportamiento de la subrasante, propone la evaluación de deformaciones, diseño y resistencia de tal manera IHOBE Gobierno Vasco (1999) define los suelos con adición de escoria de altos hornos, Señala la necesidad de control de cantidad incrementada de escoria de altos hornos, características físicas del suelo, características mecánicas de los suelos. La metodología científica de la investigación fue de tipo aplicada, nivel correlacional, y diseño Cuasi Experimental – con post test y grupos intactos. La población corresponde una longitud total de 4.63 km que representa las vías principales de la universidad agraria la molina a nivel de subrasante y La muestra estuvo conformada por el Pasaje CIPD – FIA-UNALM teniendo una longitud de 0.58 km. El instrumento utilizado fue la Ficha Técnica.

Se llegó a la conclusión que para cada porcentaje propuesto de escoria de 10%, 20%, 30% y 40% en el suelo, se comprueba el aumento de la Máxima Densidad y disminuye el Óptimo Contenido de Humedad del Proctor Modificado. De tal forma se concluye que hay un incremento del índice CBR de 48.43% en 1” al 95% de la máxima densidad seca, así mismo se comprobó la disminución del porcentaje de expansión a 54.69% al adicionar 30% de escoria de arco eléctrico.

Palabra clave: Suelos cohesivos, escoria de fundición, subrasante, Índice CBR, Limite consistencia.

ABSTRACT

The present work of investigation, Behavior of the subgrade of soils with addition of slag in flexible pavements of the Agrarian University la Molina, 2016. Whose objective was to demonstrate the influence of soils with the addition of blast furnace slag in the behavior of the subgrade in flexible pavements

Montejo Fonseca (2002) Concerning Subgrade Behavior, proposes the evaluation of deformations, design and resistance in such a way IHOBE Basque Government (1999) defines soils with the addition of blast furnace slag, points out the need for increased quantity control blast furnace slag, physical characteristics of the soil, mechanical characteristics of the soils. The scientific methodology of the research was of applied type, correlational level, and Quasi Experimental design - with post test and intact groups. The population corresponds a total length of 4.63 km that represents the main routes of the agrarian university the mill at the level of subgrade and the sample was conformed by the Passage CIPD - FIA-UNALM having a length of 0.58 km. The instrument used was the Technical File.

It was concluded that for each proposed slag percentage of 10%, 20%, 30% and 40% in the soil, the increase of the Maximum Density is checked and the Optimal Moisture Content of the Modified Proctor decreases. In this way it is concluded that there is an increase of the CBR index of 48.43% in 1 "to 95% of the maximum dry density, likewise the decrease of the percentage of expansion to 54.69% was verified by adding 30% of electric arc slag.

Keyword: Cohesive soils, smelting slag, subgrade, CBR Index, Limit consistency.

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo de la ingeniería vial existen diversas problemáticas como el costo elevado a la hora de construir los pavimentos de carretera en suelos de baja capacidad de soporte debido a que su diseño demanda mayores espesores de capas. Cada vez más se busca una mejor alternativa de solución para mejorar algunos suelos arcillosos debido a su mala calidad y que en algunos casos no cumplen los requerimientos a ser usados como terreno de fundación o terraplén, para ello se requiere mejorar sus características mecánicas incorporando al material algunos productos adicionales que pueden ser favorable para la construcción vial, ya que en muchos lugares como la selva el número de canteras de material granular son escasos.

En la presente investigación se espera mejorar las características físicas y mecánicas de un suelo arcilloso de baja capacidad de soporte a nivel de subrasante, adicionándole escoria de acería de horno de arco eléctrico que se encuentran ubicados en los depósitos de la corporación Aceros Arequipa en Pisco, y estas ocupan grandes cantidades de hectáreas ya que no tienen ningún uso debido a que son desechos derivados de la refinación y no tienen o tienen una utilidad mínima,

La presente investigación se estructura en siete capítulos donde se desarrollan los diferentes apartados de las mismas.

En el capítulo I “La Introducción” se desarrolla la realidad problemática y se recopila información de los trabajos previos nacionales e internacionales, conjuntamente con las teorías relacionadas al tema, luego se formula y plantea los problemas, objetivos e hipótesis.

En el capítulo II “Método” se plantea el tipo y diseño de la investigación desarrollando la operacionalización de variables, se delimita la población y muestra, finalmente se demuestra la validez y confiabilidad de la investigación.

En el capítulo III “Análisis y resultados” se analizan los resultados obtenidos en el laboratorio y se presentan de acuerdo a los objetivos planteados,

demostrando los cuadros y figuras procesadas e interpretación de los valores obtenidos.

En el capítulo 4 “Discusiones de resultados” se discuten los resultados con los antecedentes y las normas mostrando los cuadros y figuras comparativas de los resultados obtenidos en el laboratorio.

En el capítulo 5 “Conclusiones” se presentan las conclusiones de los resultados de acuerdo a los objetivos planteados

En el capítulo 6 “Recomendaciones” se realizan las recomendaciones a las entidades competentes recogiendo algunas propuestas para posteriores trabajos.

En el capítulo 7 “Referencias bibliográficas” se enumeran las referencias bibliográficas tomadas para la investigación y la normatividad aplicada, finalmente se anexa el instrumento de validación firmado por los tres expertos, paneles fotográficos de los trabajos en campo y laboratorio más los planos en A3 elaborados con el civil 3D, y los resultados de los ensayos de laboratorio.

1.1 Realidad problemática

El crecimiento social y económico de una región se debe principalmente a sus vías de comunicación, a través de ellas se dan las relaciones culturales, sociales, comerciales, etc. Las carreteras como vías de comunicación terrestre necesitan soportar el deterioro y prolongar la durabilidad como cualquier otra estructura para tener un mejor comportamiento y ampliar su vida útil mejorando sus componentes y propiedades físicas del pavimento ya que estas dependerán de una buena cimentación a nivel de sub-rasante. Tradicionalmente las sub-rasantes de baja calidad conformado por suelos arcillosos que presentan una baja resistencia es un problema común en las construcciones de pavimentos ya que estas son sustituidos por materiales granulares, enrocados o cualquier otro relleno que tenga mayor resistencia y eso conlleva a un costo elevado.

La existencia por falta de un mejoramiento en la sub-rasante sobre la que esté cimentado el pavimento conllevará a un deterioro rápido de la estructura del mismo comprometiendo serios problemas a toda la estructura vial.

A nivel internacional según (Alvares Pavón, 2010) Los suelos blandos típicos como ejemplos en Colombia tienen las características siguientes:

Suelos Turbosos (Pt)

- Limos Orgánicos (Humedad Natural alta, Limite Líquido >50. Índice de Plasticidad < 0.73 (Limite líquido - 20). Límite Líquido cambia con el secado al aire.
- Limos inorgánicos con Limite líquido >50 y alta Humedad natural.
- Arcillas con alto Límite Líquido (Limite líquido >50) y Humedad natural cercana al Límite Líquido.

Según el autor menciona que Algunos cambios volumétricos de la capa subrasante, generalmente asociados a variaciones en su contenido de agua (expansiones o contracciones) o a cambios extremos climatológicos de temperatura, pueden absorberse en la estructura de la capa subbase e impedir que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento observándose notablemente los hundimientos, rajaduras, etc.

En el ámbito nacional (M y M Consultores S.R.L, 2006) los estudios geotécnicos realizados por la empresa en la calle Faustino Sánchez Carrión en el tramo comprendido entre la avenida Bolognesi y la avenida Pedro de Osma, en el distrito de Barranco, Lima – Perú. Determinaron las características del perfil de la subrasante. Donde predominan los suelos cohesivos más desfavorables como las arcillas y limos de tipo CL Y ML de plasticidad baja a media, medianamente denso y obteniendo el valor como resultado promedio de CBR de 7%.

Estudios realizado mediante un convenio por la Universidad Nacional de Ingeniería y el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, para la Microzonificación Sísmica y Vulnerabilidad en la ciudad de Lima En el Sector central de La Molina, en las urbanizaciones Haras de La Molina, Rinconada Baja, Portales, Las Lagunas y la **Universidad Nacional Agraria La Molina**, según los estudios realizados y recopilados el perfil de suelo, constituye predominantemente por suelos cohesivos de arcillas, limos y arenas, los cuales llegan hasta 50.00 m de profundidad en promedio. La capacidad portante del suelo en esta zona es baja para una cimentación corrida. (Ministerio de viviendas , 2010 págs. 12, 15).

(Univesidad Agraria la Molina , 2013).Estudios realizados dentro de la universidad en el área investigación, capacitación y proyección social del instituto de biotecnología. Los ensayos de laboratorio determinaron de la zona como suelos de tipo CL con un Angulo de fricción interna 21.01 y un Límite liquido de 46 más un Índice plástico de 25% ya que estos suelos son inestables por la baja resistencia.

1.2 Trabajos previos

1.2.1 Antecedentes nacionales

(Marquina Sierra , 2008) En la investigación titulada *Uso de las escorias obtenidas como subproducto de la elaboración de aceros de la planta n° 2 de*

aceros Arequipa – Pisco para fines de cimentación y pavimentación. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Ricardo Palma de Lima,

Cuyo objetivo fue “investigar y determinar las propiedades de las Escorias de la elaboración de acero y el polvo de Baghouse que se encuentran en la planta de Aceros Arequipa en Pisco, así como determinar cuál es el óptimo porcentaje de combinación entre ambos con el cual se obtienen mejores parámetros para fines de cimentación y pavimentación mediante ensayos de granulometría, Límites de Consistencia, Proctor, CBR, Equivalente de Arena, Gravedad Específica y Corte Directo, de manera de poder diseñar estructuras confiables y con el menor costo posible” (p. 7). Las conclusiones del investigador fueron:

1. Es un excelente agregado para fines de Base y Sub. Base cumpliendo con la mayoría de parámetros de las normas ASTM y del manual de diseño AASHTO para pavimentos exceptuando los parámetros de porcentajes mínimos de finos. Motivo por el cual se planteó como solución la incorporación de agregados finos a fin de poder cumplir dichos parámetros y dale liga a las escorias.
2. Al analizar las Escorias con la presencia de un agregado fino como es el Polvo de Baghouse en diferentes proporciones de 10%, 15% y 20% se observó que se había superado el inconveniente de los porcentajes mínimos de finos pero que a su vez dichas combinaciones no cumplían con los parámetros del Equivalente de Arena, como en el siguiente cuadro. Para una combinación de 10% de Polvo con 90% de Escoria.
3. Al analizar las Escorias con la presencia de un agregado fino como es el Polvo de Baghouse en diferentes proporciones de 10%, 15% y 20% se observó que se había superado el inconveniente de los porcentajes mínimos de finos pero que a su vez dichas combinaciones no cumplían con los parámetros del Equivalente de Arena, como en el siguiente cuadro. Para una combinación de 10% de Polvo con 90% de Escoria.

4. Analizados las Escorias en su estado original y con las respectivas combinaciones con polvo de Baghouse para fines de pavimentación y cimentación se pudieron observar altos valores de CBR tanto para las Escorias en su estado original así como para las combinaciones con el agregado mencionado. Siendo notorio el aumento de los valores de CBR para las muestras con combinaciones de polvo de Baghouse, alcanzando valores de 259% del CBR calculado al 95% del Optima Contenido de Humedad.
5. Por los que el diseño de pavimentos se hizo teniendo en cuenta el empleo de las escorias en su estado natural como Sub-Base y de las combinaciones con polvo como Base, destacando entre estas la combinación de 10% de polvo de Baghouse con 90% de Escorias presentando un ligero ahorro de material de no más de 2 cm. en la Base respecto de las otras combinaciones de 15% y 20% de polvo con Escorias y de 3 a 4 cm [...]” (p.167, 168).

Respecto a la investigación es importante, circunscribir sobre un estudio comparativo acerca del comportamiento de la escoria de acería mejorando su capacidad de soporte a diferencia del material de afirmado convencional y a ello agregándole diferentes proporciones de polvos de Baghouse para darle cohesión a la escoria ya que este carece en una mínima cantidad de finos.

(Pérez Collantes, 2012). *Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos*. Tesis para optar el Grado de Maestro en Ciencias con mención en Ingeniería geotécnica en Universidad Nacional de Ingeniería de Lima.

El objetivo fundamental fue orientada a estabilizar un suelo arcilloso analizando el comportamiento de las características físico mecánicos y químico con la combinación de cenizas de carbón para su uso como subrasante o sub base en pavimentos ya que algunos suelos arcillosos presentan una baja resistencia y no cumple con los requerimientos para un pavimento.

En la investigación concluyó los siguientes resultados.

- Al adicionar las cenizas de volante a un suelo altamente arcilloso y expansivo esta actúa como inhibidor agregándole un promedio mayor de 20%, disminuyendo los efectos de expansión, la gravedad específica, la humedad y la plasticidad.
- Las cenizas de volante y cemento mezclado con la arcilla en un 3% mejora la resistencia del suelo arcilloso desde un 7.7% hasta 51% de CBR al 100% de la MDS del proctor modificado.
- Se reducen los valores del espesor de pavimento al incrementar el valor del CBR del suelo mejorado.

(García Gonzales, 2015). *Determinación de la resistencia de la subrasante incorporando cal estructural en el suelo limo arcilloso del sector 14 mollepampa de Cajamarca, 2015*. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Privada del Norte de Piura.

La finalidad de la tesis fue determinar la resistencia, la variación del índices de plasticidad y la densidad seca máxima del suelo limo arcilloso al incorporar cal estructural en porcentajes de 2%,4%, 6% y 8%. El tipo de investigación de este estudio fue experimental. El estudio de investigación ha tomado como población al sector 14 de mollepampa.

En la presente investigación concluyeron el incremento del CBR al incorporar cal estructural al suelo limo arcilloso que presenta un valor de CBR al 0.1": 5.20%, incorporando 2% de cal un CBR de 5.30%, incorporando 4% de cal un CBR de 6.30%, incorporando 6% de cal un CBR de 7.20%, e incorporando 8% de cal un CBR de 8.05; CBR al 0.2": con un suelo natural un CBR de 5.40%, incorporando 2% de cal un CBR de 5.70%, incorporando 4% de cal un CBR de 6.60%, incorporando 6% de cal un CBR de 7.50%, e incorporando 8% de cal un CBR de 8.30%. Los resultados también arrojaron la disminución del índice de plasticidad conforme se va agregando la cal estructural de 2%, 4%, 6% y 8% al suelo natural

con IP de 11.26% a un 3.64%. También aumenta la densidad seca de tal manera que se obtiene un suelo limo arcilloso mejorado.

1.2.2 Antecedentes internacionales

(Vanesa, 2011) En la tesis doctoral titulada *aprovechamiento de escorias blancas (lfs) y negras (eafs) de acería eléctrica en la estabilización de suelos y en capas de firmes de caminos rurales*. Tesis doctoral con mención a ingeniería civil en la Universidad de Burgos de España.

El objetivo de la presente investigación fue estabilizar suelos arcillosos de baja calidad para prolongar su durabilidad en caminos rurales incorporando la escoria blanca de horno de cuchara la aplicación de la escoria blanca de horno de cuchara. Como segundo objetivo es el empleo de la escoria negra de horno eléctrico de arco en remplazo de la zahorra en firmes manteniendo las propiedades técnicas y la viabilidad económica razonable.

En la investigación tuvo 18 conclusiones las cuales mencionaremos algunas de ellas:

- a) La escoria blanca o básica de horno-cuchara LFS y la escoria negra o ácida de horno eléctrico de arco EAFS procedentes de la fabricación de aceros al carbono y de baja aleación son unos materiales que puede ser utilizado de modo eficiente y sistemático como adiciones en construcción y obra civil.
- b) La composición química y los componentes de la escoria blanca LFS y escoria negra EAFS deben ser evaluados de modo periódico como ensayo de control para garantizar que la escoria posee una calidad definida y homogénea.
- c) La toxicidad potencial de las escorias por lixiviación, debe de ser asimismo evaluada de modo periódico. Estos ensayos deben ser considerados como obligatorios e indispensables en cualquier empleo de escorias o subproductos

industriales. No obstante, las escorias EAFS y LFS ensayadas en la presente Tesis Doctoral no presentaron problemas de lixiviación fuera de los límites máximos permitidos por el Decreto 34/2003 [9], el Decreto 104/2006 [10] y el Decreto 32/2009 [8].

- d) Las escorias negras de HEA son, en general, áridos pesados (densidad superior a 3 g/cm³) y redondeados, con propiedades cercanas a las zahorras empleadas en las bases y subbases de caminos rurales; por ello, pueden ser utilizadas de modo eficiente y sistemático en su construcción, con un apreciable ahorro tanto económico como medioambiental, ya que evitamos de esta manera la sobreexplotación de canteras. El empleo de las EAFS en bases de caminos rurales requiere bien de un riego con gravilla bicapa como capa de revestimiento bien la mezcla con un material que aporte material fino y plasticidad.

Los resultados obtenidos del estudio realizado por el investigador que acabamos de revisar nos demuestran que materiales desechables como la escoria LFS, EAF y suelos inadecuados de baja calidad que son llevados a los vertederos pueden valorarse modificando las propiedades físico y químico para de esta manera darle un uso en las obras viales.

(Copado Beltrán, 2011). *Estabilización de un suelo arcilloso con cal hidratada, para ser utilizadas como capa subrasante de pavimentos en la colonia San Juan Capistrano de Ciudad Obregón, So.* Tesis para optar el título de ingeniero civil en el Instituto Tecnológico de Sonora. Tuvo como finalidad mejorar la estabilización de un suelo arcilloso situado en el sector localizado entre las colonias Casa Blanca y San Juan Capistrano en la Ciudad de Obregon incorporándole el porcentaje óptimo de cal hidratada para luego ser usado como capas de subrasante de acuerdo a las especificaciones de la secretaria de comunicaciones y transportes (SCT).

La investigación concluye que al tener como valor de CBR 2.20% del suelo natural, incrementa a 22% adicionándole cal hidratada en un 2.5%, reduciendo su

plasticidad de 21% a 6%, mientras que el porcentaje de expansión también disminuye de 2.79% a 0.99%

Mediante el método de Eades & Grim el suelo-cal con 6% en peso, alcanza un CBR DE 76.43%, con un índice de plasticidad de 4% e índice de expansión de 0.17%, lo cual esta dosificación se puede usar como sub-base en pavimentos o la reducción de la capa de subrasante.

Finalmente se comprobó un mejor comportamiento, mejor manejabilidad y una reacción química inmediata.

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. Subrasante

(Montejo Fonseca, 2002 pág. 9). “De la calidad de esta capa depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento, sea éste flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas del tránsito. Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen (hinchamiento - retracción). Los cambios de volumen de un suelo de subrasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre éste, por esta razón cuando se construya un pavimento sobre este tipo de suelos deberá tomarse la precaución de impedir las variaciones de humedad del suelo para lo cual habrá que pensar en la impermeabilización de la estructura. Otra forma de enfrentar este problema es mediante la estabilización de este tipo de suelo con algún aditivo, en nuestro medios los mejores resultados se han logrado mediante la estabilización de suelos con cal”.

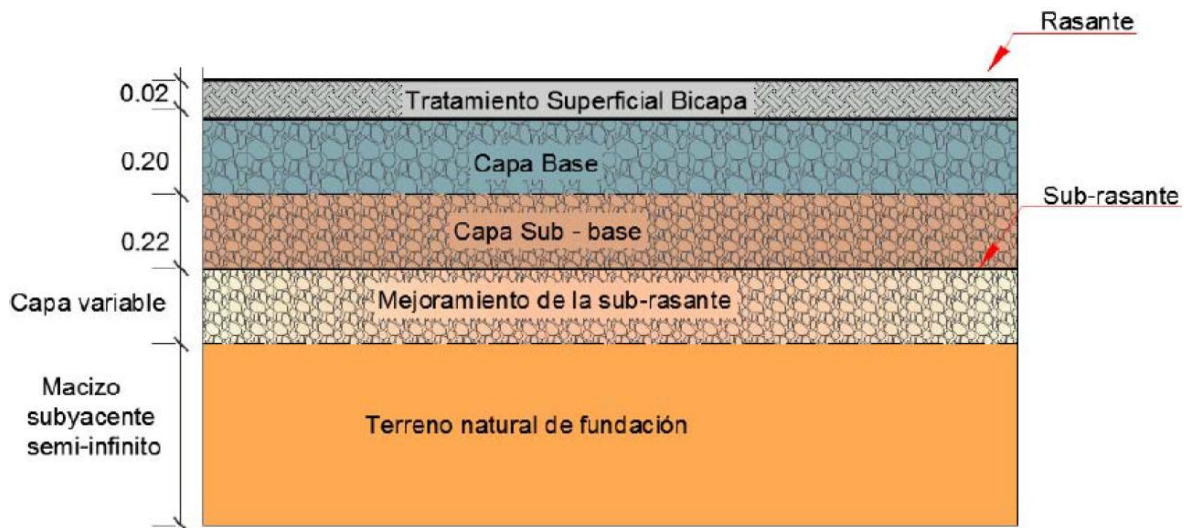
(José, 2002). Mejoramiento de suelo es el proceso que consiste en aumentar la densidad o mejorar las propiedades físico mecánico y químico de un suelo de baja calidad. La subrasantes es la parte esencial en el diseño de pavimentos, la

calidad de esta muchas veces depende en gran parte el espesor que tendrá el pavimento rígido o flexible.

(AASHTO , 1993 pág. 4). La subrasante es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la subrasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es que la subrasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos.

(MTC, 2013 pág. 23). La Subrasante es la superficie o la capa superior terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado. La subrasante es un suelo que en muchos casos puede ser mejorado ya que esta pueda ser afectada por la carga de diseño proveniente del tránsito.

Se considerarán como materiales aptos para las capas de la subrasante suelos con $CBR \geq 6\%$. En caso de ser menor (subrasante pobre o subrasante inadecuada), se procederá a la estabilización de los suelos, para lo cual se analizarán alternativas de solución, de acuerdo a la naturaleza del suelo, como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de cimentación, estabilización química de suelos, estabilización con geosintéticos, elevación de la rasante, cambiar el trazo vial, eligiéndose la más conveniente técnica y económica. En el Capítulo 9 Estabilización de Suelos, se describen diversos tipos de estabilización de suelos. (MTC, 2013 pág. 46).



Fuente: (BAÑÓN BLÁZQUEZ , y otros, 2000)

Figura I.1: Sección transversal - Pavimento flexible

1.3.2. Las propiedades fundamentales a considerar son:

A continuación se menciona los ensayos básicos a considerar para un suelo de fundación son:

- Análisis Granulométrico por Tamizado
- Límites de consistencia del suelo
- Contenido de humedad
- Clasificación SUCS
- Clasificación AASHTO
- California Bearing Ratio (CBR)
- Módulo resiliente de suelos de subrasante
- Ensayos de compactación de suelo

a) Análisis granulométrico por tamizado

El análisis granulométrico representa la distribución de los tamaños de partículas de un suelo, expresado como un porcentaje en relación con el peso total de la muestra seca. Los tamaños de los granos de un suelo se refieren a los diámetros de la partícula lo cual es indivisible mediante la acción moderada de

una fuerza. Las partículas de mayor tamaño se pueden mover con la mano, mientras que las partículas muy finas no pueden ser observadas fácilmente. (MTC, 2013 pág. 36)

Tabla I.1: Clasificación de suelos según Tamaño de partículas

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

Fuente: MTC, Manual de Carreteras

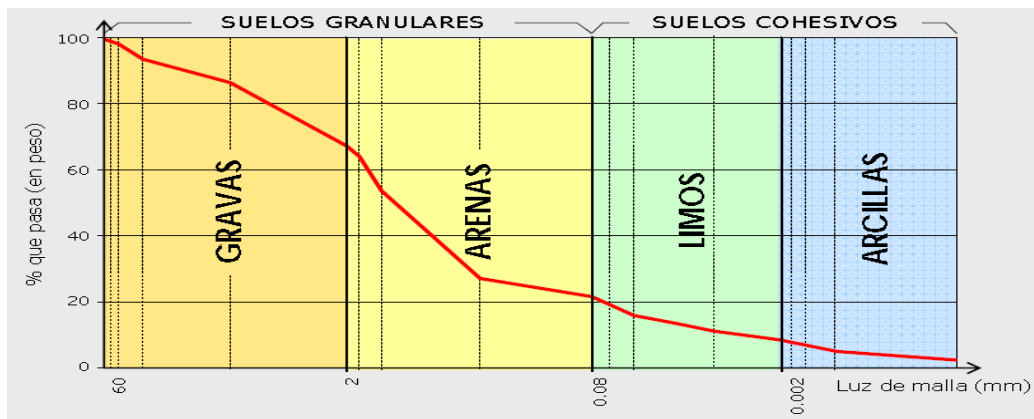
Este ensayo (NLT-104) no es otra que determinar las proporciones de los distintos tamaños de grano existente en el mismo, o dicho de otro modo, su granulometría.

El tamiz es la herramienta fundamental para efectuar este ensayo; se trata de un instrumento compuesto por un marco rígido al que se halla sujeta una malla caracterizada por un espaciado uniforme entre hilos denominado abertura o luz de malla, a través del cual se hace pasar la muestra de suelo a analizar.

Se emplea una serie normalizada de tamices de malla cuadrada y abertura decreciente, a través de los cuales se hace pasar una determinada cantidad de suelo seco, quedando retenida en cada tamiz la parte de suelo cuyas partículas tengan un tamaño superior a la abertura de dicho tamiz.

Existen diversas series normalizadas de tamices, aunque las más empleadas son la UNE 7050 española y la ASTM D-2487/69 americana.

Para determinar la fracción fina de suelo-limos y arcillas- no es posible efectuar el tamizado, por lo que se empleará el método de sedimentación, se procede a pesar las cantidades retenidas en cada uno de los tamices, construyéndose una gráfica semilogarítmica donde se representa el porcentaje en peso de muestra retenida (o el que pasa) para cada abertura de tamiz. (Montejo Fonseca, 2002 pág. 6).



Fuente: (BAÑON BLÁZQUEZ , y otros, 2000)

Figura I.2: Curva granulométrica de los suelos

b) Límite de consistencia del suelo

• Límite líquido

“El límite líquido es el mayor contenido de humedad que puede tener un suelo sin pasar del estado plástico al líquido. El estado líquido se define como la condición en la que la resistencia al corte del suelo es tan baja que un ligero esfuerzo lo hace fluir” (Montejo Fonseca, 2002 pág. 63).

Es el límite de Atterberg, en donde la cohesión del suelo es de aproximadamente de 2KPa; y el suelo pasa del estado semilíquido a un estado plástico moldeable. Para identificar el valor del Límite Líquido (LL) se realiza mediante el ensayo de la cuchara de Casagrande (Malla N°40, ASTM D-4318, MTC E110).

• Límite plástico

En la Cuchara de Casagrande, el suelo se golpea consecutivamente contra la base de la máquina mientras se gira la manivela manualmente, hasta que la zanja previamente realizado en medio de la muestra, se cierra en una longitud de 12 mm (1/2"). Si el cierre de la zanja es a los 25, la humedad del suelo (razón: peso de agua/peso de suelo seco) corresponde al Límite Líquido.

El cálculo del índice de plasticidad es la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico, e indica el grado de contenido de humedad en el cual un suelo permanece en estado plástico antes de cambiar al estado líquido. (Montejo Fonseca, 2002 pág. 63)

c) Contenido de humedad

Obtener la humedad del suelo es de gran utilidad en la construcción civil ya que esta determina la cantidad de agua que contiene un suelo puesto que la resistencia de la subrasante está asociada a la humedad en especial de los finos.

La humedad que se obtiene (ensayo MTC EM 108) y determinara comparar con la humedad óptima del proctor modificado para realizar el ensayo CBR del suelo (ensayo MTC EM 132). El contenido de humedad de un suelo es la relación del cociente del peso de del agua y el peso del suelo seco, esto se expresa en términos de porcentaje. $W = \frac{W_w}{W_s} \times 100$ Ecuación N° 1. Cálculo del contenido de humedad. 19 Donde: W = contenido de humedad expresado en % W_w = peso de agua contenido en el suelo W_s = peso del suelo seco.

d) Clasificación SUCS

De acuerdo a los diferentes tamaños de los granos que se componen el suelo, se obtienen diversas características físicas. Es por ello que para poder identificar, describir y clasificar a los suelos de acuerdo a los tamaños de sus partículas se realiza la clasificación de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (ASTM D-2487).

Tabla I.2: Símbolos de grupo (SUCS)

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobrementemente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite líquido alto (<50)	H

Fuente: MTC, Manual de Carreteras

Tabla I.3: Tipología de suelos (SUCS)

SÍMBOLO	Características generales		
GW	GRAVA (>50% en tamiz # 4 ASTM)	Limpias (Finos < 5%)	Bien graduadas
GP			Pobrementemente graduadas
GM		Con finos (Finos>12%)	Componente limoso
GC			Componente arcilloso
SW	ARENAS (<50% en tamiz # 4 ASTM)	Limpias (Finos < 5%)	Bien graduadas
SP			Pobrementemente graduadas
SM		Con finos (Finos>12%)	Componente limoso
SC			Componente arcilloso
ML	LIMOS	Baja plasticidad (LL<50)	
MH		Alta plasticidad (LL>50)	
CL	ARCILLAS	Baja plasticidad (LL<50)	
CH		Alta plasticidad (LL>50)	
OL	SUELOS ORGÁNICOS	Baja plasticidad (LL<50)	
OH		Alta plasticidad (LL>50)	
Pt	TURBA	Suelos altamente orgánicos	

Fuente: MTC, Manual de Carreteras

Tabla I.4: Correlación de tipo de suelo SUCS

Clasificación de Suelos SUCS
ASTM D - 2487
GW, GP, GM, SW, SP, SM
GM, GP, SM, SP
GM, GC, SM, SC
SP
CL, ML
ML, MH, CH
CL, CH
OH, MH, CH

FUENTE: (MTC, 2013)

e) Clasificación AASHTO

Sistema de clasificación de los suelos (AASHTO M 145) adoptado por la Asociación Americana de Funcionarios de la Carretera Estatal (The American Association of State Highway Officials), en donde los suelos se agrupan en función de su comportamiento como capa de soporte.

La clasificación se basa en siete grupos (A-1, A-2,..., A-7), según su granulometría y plasticidad. Es decir, en función al porcentaje que pasa por los tamices N° 200, N° 40 y N° 10.

Estos siete grupos corresponden a: suelos granulares (hasta el 35% que pasa por el tamiz n° 200) y suelos limo-arcillosos (más del 35% que pasa por el tamiz n° 200).

Tabla I.5: Correlación de tipos de suelos AASHTO

Clasificación de Suelos AASHTO
AASHTO M-145
A-1 ^a
A-1b
A-2
A-3
A-4
A-5
A-6
A-7

Fuente: (MTC, 2013)

f) California Bearing Ratio (CBR)

Prueba de penetración para comprobar las características mecánicas de un suelo, la cual consiste en medir la presión necesaria para que un pistón penetre una muestra de suelo a velocidad constante de 1,27 mm/minuto a 0,1 y 0,2 pulgadas de profundidad.

Esta prueba es desarrollada para medir la capacidad de carga de los suelos en caminos y carreteras. Se considerarán como materiales aptos para las capas de la subrasante suelos con $CBR \geq 6\%$ (ASTM D-1883, MTC E132), en caso sea menor se deberá realizar la estabilización, mejoramiento o reemplazo del suelo.

Para realizar la prueba, la muestra de suelo se compacta en un molde cilíndrico de 15,24 cm de diámetro y 12,7 cm de altura. La humedad de la muestra ha de ser la máxima que tenga la carretera o camino. La prueba dura 10 minutos.

Tabla I.6: Categorías de subrasante

CATEGORÍAS DE SUBRASANTE	CBR
S ₀ : Subrasante Inadecuada	CBR < 3 %
S ₁ : Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S ₂ : Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S ₃ : Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S ₄ : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S ₅ : Subrasante Extraordinaria	CBR ≥ 30%

Fuente: MTC, Manual de Carretera 2013

g) Ensayo de módulo resiliente

Para ejecutar el ensayo de módulo resiliente se utilizará la norma MTC E 128 (AASHTO T274), el Módulo de Resiliencia es una medida de la propiedad elástica de suelos, reconociéndole ciertas características no lineales. El módulo de resiliencia se puede usar directamente en el diseño de pavimentos flexibles; y, para el diseño de pavimentos rígidos o de concreto, debe convertirse a módulo de reacción de la subrasante (valor k). (MTC, 2013)

Para obtener el Módulo Resiliente a partir del CBR, se empleará la siguiente Ecuación que correlaciona el Mr – CBR,

$$Mr \text{ (psi)} = 2555 \times \text{CBR}^{0.64}$$

h) Ensayos de compactación de suelos

(Montejo Fonseca, 2002 págs. 63, 64) Se entiende por compactación todo proceso que aumenta el peso *volumétrico* de un suelo. En general, es conveniente compactar un suelo para incrementar su resistencia al esfuerzo cortante, reducir su compresibilidad y hacerlo más impermeable. Para efectos del control de la compactación durante la construcción, es necesario efectuar pruebas que permiten conocer la máxima densidad y el óptimo contenido de humedad de los diferentes tipos de suelos.

Máxima densidad: Es el máximo peso seco, obtenido cuando el material se mezcla con diferentes porcentajes de agua y se compacta de una manera normal preestablecida.

Óptimo contenido de humedad: Es el porcentaje de agua con el cual se obtiene la máxima densidad para el esfuerzo de compactación especificado.

- **Proctor modificado**

En mecánica de suelos, el ensayo de compactación Proctor es uno de los más importantes procedimientos de estudio y control de calidad de la compactación de un terreno. A través de él es posible determinar la compactación máxima de un terreno en relación con su grado de humedad, condición que optimiza el inicio de la obra con relación al costo y el desarrollo estructural e hidráulico. Existen dos tipos de ensayo Proctor normalizados; el "Ensayo Proctor Normal", y el "Ensayo Proctor Modificado". La diferencia entre ambos estriba en la distinta energía utilizada, debido al mayor peso del pisón y mayor altura de caída en el Proctor modificado. Ambos ensayos se deben al ingeniero que les da nombre, Ralph R. Proctor (1933), y determinan la máxima densidad que es posible alcanzar para suelos o áridos, en unas determinadas condiciones de humedad, con la condición de que no tengan excesivo porcentaje de finos, pues la prueba. El ensayo Proctor modificado, al igual que el Proctor normal, es un

ensayo de compactación de suelos. El Corps of Engineers de la U.S. Army, propuso un ensayo Proctor modificado en el que se aplica mayor energía de compactación por unidad de volumen, obteniéndose unas densidades secas máximas más elevadas y unas humedades óptimas menores que en el ensayo normal. Para obtener la curva humedad-densidad seca, es necesario realizar el ensayo sobre varias muestras del suelo, que nos darán los puntos de dicha curva. Generalmente con cuatro o cinco de estos puntos ya es posible dibujarla, y por tanto, obtener la densidad máxima Proctor y la humedad óptima correspondiente.

Tabla I.7: Especificaciones para la prueba de Proctor Modificado

Concepto	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
Volumen del molde	943.3 cm ³	943.3 cm ³	2124 cm ³
Peso del pisón	44.5 N	44.5 N	44.5 N
Altura de caída del pisón	457.2 mm	457.2 mm	457.2 mm
Número de golpes del pisón por capa de suelo	25	25	56
Número de capas de compactación	5	5	5
Energía de compactación Suelo por usarse	2696 KN-m/m ³ Porción que pasa la malla N°4 (4.57mm). Se usa si 20% o menos por peso de material es retenido en la malla N°4.	2696 KN-m/m ³ Porción que pasa la malla de 9.5mm. Se usa si el suelo retenido en la malla N°4 es más del 20%, y 20% o menos por peso es retenido en la malla de 9.5 mm.	2696 KN-m/m ³ Porción que pasa la malla de 19 mm. Se usa si más de 20% por peso del material es retenido en la malla de 9.5 mm, y menos de 30% por peso es retenido en la malla de 19 mm.

Fuente: 1557-91 de la ASTM.

1.3.3. Estabilización de suelos

(Sanchez, y otros, 2016 pág. 225) Menciona que el mejoramiento de suelos consiste en la manipulación de las propiedades físico mecánico y en muchas de ellas adicionando algún producto de tipo químico. El mejoramiento mecánico rutinariamente es mediante la compactación de suelo o la mezcla de dos materiales, con la finalidad de obtener propiedades deseables

Otro tipo de mejoramiento consiste en la incorporación de material granular como partículas de rocas triturada en el terreno de fundación proporcionando un suelo capaz de soportar el tránsito.

“La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en los suelos de subrasante inadecuado o pobre, en este caso son conocidas como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos. En cambio cuando se estabiliza una subbase granular o base granular, para obtener un material de mejor calidad se denomina como subbase o base granular tratada (con cemento o con cal o con asfalto, etc)”. (MTC, 2013 pág. 107)

1.3.3.1. Criterios geotécnicos para establecer la estabilización de suelos

$CBR \geq 6\%$. En caso de ser menor (subrasante pobre o subrasante inadecuada), o se presenten zonas húmedas locales o áreas blandas, será materia de un Estudio Especial para la estabilización, mejoramiento o reemplazo, donde el Ingeniero Responsable analizará diversas alternativas de estabilización o de solución, como: Estabilización mecánica, Reemplazo del suelo de cimentación, Estabilización con productos o aditivos que mejoran las propiedades del suelo, Estabilización con geosintéticos (geotextiles, geomallas u otros), Pedraplenes, Capas de arena, Elevación entre sus partículas, propiciando con ello que la cohesión sea menor que en el caso de emplear humedades de compactación

bajas. la rasante o cambiar el trazo vial sí las alternativas analizadas resultan ser demasiado costosas y complejas.

Cuando la capa de subrasante sea arcillosa o limosa y, al humedecerse, partículas de estos materiales puedan penetrar en las capas granulares del pavimento contaminándolas, deberá proyectarse una capa de material anticontaminante de 10 cm. de espesor como mínimo o un geotextil, según lo justifique el Ingeniero Responsable.

La superficie de la subrasante debe quedar encima del nivel de la napa freática como mínimo a 0.60 m cuando se trate de una subrasante extraordinaria y muy buena; a 0.80 m cuando se trate de una subrasante buena y regular; a 1.00 m cuando se trate de una subrasante pobre y, a 1.20 m cuando se trate de una subrasante inadecuada. En caso necesario, se colocarán subdrenes o capas anticontaminantes y/o drenantes o se elevará la rasante hasta el nivel necesario.

En zonas sobre los 4,000 msnm, se evaluará la acción de las heladas en los suelos. En general, la acción de congelamiento está asociada con la profundidad de la napa freática y la susceptibilidad del suelo al congelamiento. Sí la profundidad de la napa freática es mayor a la indicada anteriormente (1.20 m), la acción de congelamiento no llegará a la capa superior de la subrasante. En el caso de presentarse en la capa superior de la subrasante (últimos 0.60 m) suelos susceptibles al congelamiento, se reemplazará este suelo en el espesor comprometido o se levantará la rasante con un relleno granular adecuado, hasta el nivel necesario. Son suelos susceptibles al congelamiento, los suelos limosos. Igualmente los suelos que contienen más del 3% de su peso de un material de tamaño inferior a 0.02 mm, con excepción de las arenas finas uniformes que aunque contienen hasta el 10% de materiales de tamaño inferior a los 0.02mm, no son susceptibles al congelamiento. En general, son suelos no susceptibles los que contienen menos del 3% de su peso de un material de tamaño inferior a 0.02 mm. La curva granulométrica de la fracción de tamaño menor que el tamiz de 0.074 mm (Nº 200) se determinará por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios (según Norma MTC E109).

Para establecer un tipo de estabilización de suelos es necesario determinar el tipo de suelo existente. Los suelos que predominantemente se encuentran en este ámbito son: los limos, las arcillas, o las arenas limosas o arcillosas.

Los factores que se considerarán al seleccionar el método más conveniente de estabilización son:

Tipo de suelo a estabilizar

Uso propuesto del suelo estabilizado

Tipo de adición estabilizador de suelos

Experiencia en el tipo de estabilización que se aplicará

Disponibilidad del tipo de adición estabilizador

Disponibilidad del equipo adecuado

Costos comparativos

1.3.3.2. Métodos de estabilización

- ✓ Estabilización mecánica de suelos
- ✓ Estabilización por combinación de suelos
- ✓ Estabilización por sustitución de los suelos
- ✓ Suelos estabilizados con cal
- ✓ Suelos estabilizados con cemento
- ✓ Suelos estabilizados con escoria
- ✓ Estabilización con cloruro de sodio
- ✓ Estabilización con cloruro de calcio
- ✓ Estabilización con cloruro de magnesio
- ✓ Estabilización con productos asfálticos
- ✓ Estabilización con geosintéticos

1.3.2.1. Origen de la escoria

Las escorias son subproductos de la siderurgia y metalurgia, su composición física y química dependen del mineral usado y de la tecnología empleado.

(IHOBE Gobierno Vasco, 1999 pág. 8). La fabricación de acero genera una serie de residuos procedentes del proceso y de la depuración de humos como son las escorias negras y blancas, los polvos de acería y los refractarios.

Tabla I.8: Generación relativa de residuos en la fabricación de acero (datos estimativos 1997)

Tipo residuo	Proceso de origen	Calificación residuo	Generación relativa kg/Tm acero	Generación en CAPV (Tm/a)
Escoria negra	fusión	inerte	110-150	660.000
Escoria blanca	afino	inerte	20-30	175.000
Polvo de acería	...	peligroso	18-28	80.000
Refractario	...	inerte	4-10	36.400
Electrodo	...	inerte	1,3-2	7.800

Fuente: (IHOBE Gobierno Vasco, 1999)

(IHOBE Gobierno Vasco, 1999 pág. 12). La principal materia prima empleada para la fabricación de acero en horno eléctrico es la chatarra de hierro dulce o acero. Como elementos de adición auxiliares se cargan también en los hornos eléctricos pequeñas cantidades de fundición, de mineral de hierro y de ferroaleaciones.

Para la formación de escoria en el horno de arco eléctrico se añade caliza, cal, arena, espato de flúor y coke, y al final del proceso se añade ferrosilicio, ferromanganeso, aluminio, carburo de calcio y silicio-calcio, como elementos desoxidantes y auxiliares del proceso.

La base de la fabricación del acero en el horno eléctrico consta de dos etapas: una denominada metalurgia primaria (en adelante se denominará como etapa de fusión) donde se produce la fusión de las materias primas

(mayoritariamente en hornos de arco eléctrico), dando como resultado un acero líquido, cuya composición debe ser correctamente ajustada, y una etapa secundaria denominada metalurgia secundaria (en adelante denominada como etapa de afino), donde se producen las operaciones de ajuste o afino de la composición del acero líquido a las especificaciones requeridas. Cada una de las etapas de que consta la fabricación de acero en horno de arco eléctrico, etapa de fusión y etapa de afino, genera un tipo diferente de escoria, denominadas respectivamente escoria “negra”, por su color oscuro debido al contenido en óxido ferroso, y escoria “blanca”, por su color blanquecino.

1.3.2.2. Composición de la escoria de horno eléctrico

En la siguiente tabla se muestra la composición química de la escoria negra y escoria blanca.

Tabla I.9: Composición base de las escorias negras y escorias blancas

Escoria negra (%)	Escoria blanca (%)
CaO: 27 – 37	Calcio: 34,5
SiO: 11 – 25	Silicio: 11,7
FeO: 3 – 25	Hierro: 3,2
Fe ₂ O ₃ : 2 – 22	Magnesio: 8,1
MgO: 4 – 11	Aluminio: 2,7
Cr ₂ O ₃ : 0.60 - 4	

Fuente: (IHOBE Gobierno Vasco, 1999)

1.3.2.3. Propiedades de la escoria procesada

Características físicas y mecánicas

- **Escorias negras**

(CEDEX, 2002 pág. 55). Los áridos procedentes de las escorias negras de acería de horno de arco eléctrico tienen una elevada densidad relativa, entre 3.3

y 3.8, muy por encima de los áridos naturales. Esta diferencia hay que tener en cuenta en las dosificaciones y al considerar los costes de transporte.

La absorción de agua de las escorias presenta en general valores superiores al 3.5 % en volúmenes y en algunos casos próximos al 7%. Esta absorción puede influir en la durabilidad si el árido va a estar sometido a ciclos de hielo – deshielo o humedad-sequedad.

Las partículas son duras con coeficiente de desgaste los Ángeles entre 20 % y 25 % e inferiores.

Los lixiviados de estas escorias pueden tener un pH superior a 11 y por tanto, puede presentar problemas de corrosión en las tuberías de aluminio y acero que se coloquen en contacto directo con ellas.

- **Escorias blancas**

Las escorias blancas presentan en su composición silicato tricálcico y bicálcico, aluminoferrito tetracálcico, aluminato tricálcico y ferrito dicálcico.

1.3.2.4. Empleo de la escoria

(Xavier, 2009 pág. 562). La fabricación de aceros genera residuos industriales que representan entre un 15 a 20 % de la producción total de acero, siendo las escorias negras el subproducto industrial más importante en la fabricación de aceros comunes. La chatarra de hierro es la principal materia prima en la fabricación de acero en horno de eléctrico.

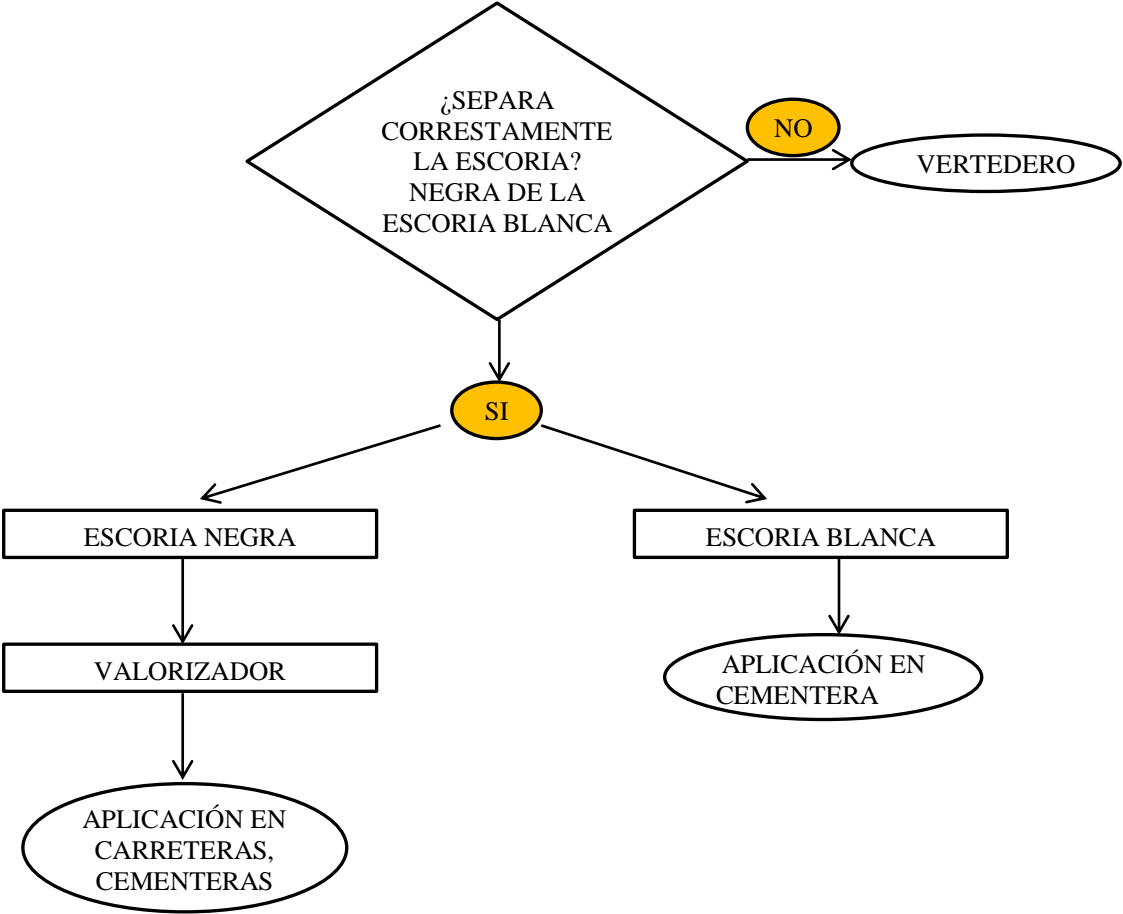
Tabla I.10: Cantidad generada de escorias negras y blancas según el tipo de acero

Acero	Escoria negra (kg/t acero)	Escoria blanca (kg/t acero)
Común	120 - 150	20 - 30
Especial	90 - 110	20

Fuente: (Xavier, 2009)

Siendo la escoria un residuo de la producción de aceros en las siderurgias y metalurgias esta puede ser utilizada en diversos puntos como la agricultura para tratamiento de suelos sulfato-ácidos, también se usa en la construcción como en edificaciones, áridos para mortero, áridos para hormigones cementeras y tiene múltiples usos en las obras viales como en bases y sub-bases de carreteras, explanadas, en capa de rodadura de pavimentos. También son usados comúnmente como aditivo al clinker en las plantas procesadoras de cemento, etc.

En la siguiente figura se muestra los pasos a seguir por el acerista para poder reutilizar las escorias negras y las escorias blancas en la construcción



Fuente: (IHOBE Gobierno Vasco, 1999)

Figura I.3: Pasos a seguir por el acerista para poder reutilizar las escorias negras y las escorias blancas

(Reyes Ortiz, y otros, 2013 pág. 26). El desperdicio de la siderúrgica o escoria de cuchara se forma a partir de la fusión de impurezas de minerales agregados al proceso de producción de aceros, con el fin de separar los óxidos como la ilumina y la sílice que permite hacer la mezcla necesaria para la elaboración del mismo. La extracción de la escoria líquida de cuchara se hace aproximadamente a 1400° C, por ser esta la temperatura a la cual se hace la colada. Se puede obtener escoria granulada con las características de endurecerse al contacto con el agua cuando su enfriamiento es rápido o lento dependiendo del proceso de extracción, se puede obtener escoria granulada con las características de endurecerse al contacto con el agua cuando su enfriamiento es rápido [...]. La escoria de aceración se separa durante y final del proceso, obteniendo desperdicio con características de endurecerse al contacto.

1.4. Formulación del problema

1.4.1 Problema general:

¿De qué manera influyen los suelos con adición de escoria de altos hornos en el comportamiento de subrasante en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina en el 2016?

1.4.2 Problemas específicos:

- ¿De qué manera influye la cantidad incrementada de escoria de altos en el comportamiento de subrasante en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina en el 2016?

- ¿De qué manera influye la intervención de las características físicas del suelo en el comportamiento de la subrasante en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina en el 2016?

- ¿De qué manera influyen las propiedades mecánicas de los suelos en el comportamiento de la subrasante en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina en el 2016?

1.5 Justificación del estudio

1.5.1 Justificación práctica

La presente investigación se justifica técnicamente pues mejorar la estabilidad estructural de una sub-rasante, debido a la existencia de suelos cohesivos de baja calidad en los alrededores del servicios de enseñanza, investigación, capacitación y proyección social del instituto de biotecnología de la Universidad Nacional Agraria de la Molina ya que estas no cumplen con las especificaciones exigidas y presenta un suelo de tipo CL, ML.

1.5.2 Justificación social

En el laboratorio se realizarán briquetas con material convencional, y varias proporciones de la mezcla de escoria, con lo cual demostraremos la posibilidad de reutilización de este subproducto en la construcción de pavimentos tanto desde el punto de vista técnico como medioambiental y económicos, ya que en la misma universidad no existe ningún estudio realizado con escoria para el tipo de material existente.

1.5.3 Justificación teórica

Utilizando dosificaciones respecto al peso seco. Los materiales y sus mezclas serán sometidos a ensayos de Análisis Granulométrico, Gravedad Específica, Límites de Consistencia, Proctor modificado, ensayo de CBR (Californian Bearing Ratio), entre otros, obteniendo resultados que demuestran que para las dosificaciones de escoria de 10%, 20%, 40% y 60% aumenta la capacidad de soporte CBR del suelo para los casos, considerando que para mezclas con porcentaje de escoria se producen mejoras sustanciales en la capacidad de soporte de los suelos

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis general:

Los suelos con adición de escoria de altos hornos influyen en el comportamiento de la subrasante en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina en el 2016.

1.6.2 Hipótesis específicas:

- La cantidad incrementada de escoria de altos hornos incide en el comportamiento de la subrasante en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina en el 2016.

- Al Determinar las características físicas del suelo intervienen en el comportamiento de subrasante en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina en el 2016?
- La determinación de las propiedades mecánicas de los suelos altera el comportamiento de la subrasante en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina en el 2016?

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo general:

Determinar cómo los suelos con adición de escoria de altos hornos influirán en el comportamiento de la subrasante en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina en el 2016.

1.7.2 Objetivos específicos:

- Determinar como la cantidad incrementada de escoria de altos hornos incidirá en el comportamiento de la subrasante en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina en el 2016.
- Determinar como las características físicas del suelo intervendrán en el comportamiento de la subrasante en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina en el 2016.
- Determinar como las propiedades mecánicas los suelos alterarán en el comportamiento de la subrasante en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina en el 2016.

II. MÉTODO

2.1. Método de investigación

“El método científico es el conjunto de estrategias y procedimientos metódicamente secuenciales que tiene como objetivo la comprobación empírica de un planteamiento (hipótesis) y que permitirá la interpretación de la realidad; sin embargo sus conclusiones no pueden tomarse como una verdad absoluta” (Borja Suárez, 2012 pág. 8)

En la presente investigación se denomina como método científico ya que se comprobará las hipótesis planteadas.

2.2. Tipo y Diseño de investigación

2.2.1. Tipo de investigación

La Investigación Aplicada, tiene como objeto el estudio de un problema destinado a la acción. La investigación aplicada puede aportar hechos nuevos [...]” (BAENA P., 2014 pág. 11).

En la presente investigación se define como aplicada ya que teniendo los conocimientos, será aplicada a una unidad de estudio, para solucionar los problemas planteados de la hipótesis, tal como ¿Es factible el comportamiento de la subrasante de suelos con adición de escoria en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina - 2016?

2.2.2. Nivel de investigación

Tiene como finalidad establecer el grado de relación o asociación no causal existente entre dos o más variables. Se caracterizan porque primero se miden las variables y luego, mediante pruebas de hipótesis correlacionales y la aplicación de técnicas estadísticas, se estima la correlación” (OSED A G., y otros, 2015 pág. 156)

El nivel de investigación es correlacional porque establece el grado de relación o asociación no causal existentes entre las dos variables ya que se pretende relacionar y detallar los fenómenos para elaborar la factibilidad técnica de mejorar la resistencia de un suelo con baja capacidad de soporte incorporando la escoria de horno de arco eléctrico.

2.2.3. Diseño de investigación

“El diseño Cuasi Experimental – con post test y grupos intactos. utiliza dos grupos, uno recibe el tratamiento experimental y el otro no. Los grupos son comparados en el post test para abalizar si el tratamiento experimental tuvo un efecto sobre la variable dependiente. [...]” (OSED A G., y otros, 2015 pág. 101)

GE	X	O₁
GC		O₂

En la presente investigación se emplea un diseño Cuasi Experimental – con post test y grupos intactos. Porque se evaluará los fenómenos manipulados por una de las variables en el laboratorio.

2.3. Operacionalización de variable

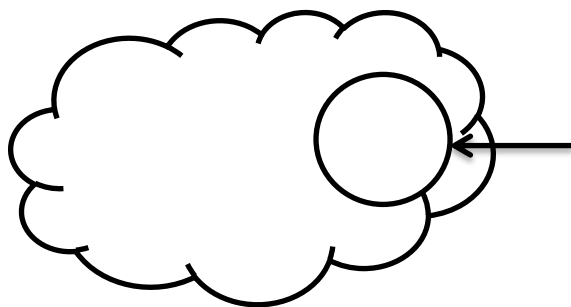
Tabla II.11: Operacionalización de variables

DEFINICIÓN NOMINAL	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	Ítem	Escala
V1: Suelos con adición de escoria de altos hornos.	La escoria un residuo de la producción de aceros en las siderurgias y metalurgias esta puede ser utilizada en diversos puntos como la agricultura para tratamiento de suelos sulfato-ácidos, también se usa en la construcción como en edificaciones, etc (Xavier, 2009 pág. 562)	Para la formación de escoria en el horno de arco eléctrico se añade caliza, cal, arena, espato de flúor y coque, y al final del proceso se añade ferrosilicio, ferromanganeso, aluminio, carburo de calcio y silicio-calcio, como elementos desoxidantes y auxiliares del proceso. (IHOBE Gobierno de vasco, 1999 pág. 12)	D1: Cantidad incrementada de escoria de altos hornos	<ul style="list-style-type: none"> · 10% · 20% · 30% · 40% 	No Aplica, pues el instrumento no fue un cuestionario	No Aplica, pues el instrumento no fue un cuestionario
			D2: Características físicas del suelo.	<ul style="list-style-type: none"> · Granulometría · Limite liquido · Limite plástico 		
			D3: características mecánicas del suelo	<ul style="list-style-type: none"> · Contenido de humedad · Grado de saturación · Peso específico relativo 		
V2: Comportamiento de la subrasante	Capa superior de una explanación cuya finalidad es soportar la estructura de un pavimento (Sanchez, y otros, 2016 pág. 40)	Capa superior de una explanación cuya finalidad es soportar la estructura de un pavimento, también se le denomina como terreno de fundación donde se le puede compactar para mejorar su resistencia, rigidez y estabilidad (Sanchez, y otros, 2016 pág. 40)	D1: Deformaciones	<ul style="list-style-type: none"> · Modulo elástico · Deflexiones verticales 		
			D2: Diseño	<ul style="list-style-type: none"> · Ligero · Semi pesado · Pesado 		
			D3: Resistencia	<ul style="list-style-type: none"> · CBR 0.1" · CBR 0.2" 		

2.4. Población y muestra

2.4.1 Población

Es el conjunto de elementos, seres o cosas que tienen características comunes y cumplen con una serie de especificaciones. (Hernandez Sampieri, y otros, 2010 pág. 174)



Límites de la población

Todos los suelos a nivel de subrasante de las vías principales de la Universidad Agraria, que comprende una longitud total de 4.17 km.

Figura II.6: Representación gráfica de la población

Fuente: (Hernandez Sampieri, y otros, 2010 pág. 174)

Entre las vías principales que conforman los 4.63 km de distancia dentro de la Universidad Agraria la Molina son las Avenidas y pasaje. Av. Víctor Marie, av. Presidente López de Romaña, av, Javier B. de la flor, av. Luis Macagno, av. Joannes A. Wille, av. Julio Gaudon, av. J. Alberto León y el Pasaje CIPD- FIA UNALM.

2.4.2. Muestra

“La muestra es una parte pequeña de la población o un subconjunto de esta, que sin embargo posee las principales características de aquellas.” (OSED A G., y otros, 2015 pág. 158).

El tipo de muestreo es no probabilístico intencional y está situado en el pasaje del Centro de Investigación y Proyectos de Prevención de Desastres para el

Desarrollo (CIPD- FIA UNALM) que consta de 58.44 m. equivalente a 0.1 km de distancia.

2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Se le denomina datos a los elementos fundamentales y básicos de la información que será obtenida.

2.5.1. Técnicas:

(BERNAL, 2010 pág. 257) “La observación, como técnica de investigación científica, es un proceso riguroso que permite conocer, de forma directa, el objeto de estudio para luego describir y analizar las situaciones dadas sobre la realidad estudiada.”

Las técnicas y herramientas con las cuales la investigación quiere obtener el logro de los objetivos específicos planteados; serán mediante la observación y recolección de datos seleccionar, acopiar, ordenar y organizar los datos obtenidos tales como las características físicas y mecánicas ensayadas en el laboratorio de mecánica de suelos.

2.5.2. Instrumentos de recolección de datos:

(Hernandez Sampieri, y otros, 2010 pág. 98) Para obtener los datos precisos es indispensable elaborar un plan de manera organizada con los procedimientos respectivos y obtener valores confiables, estos datos deben tener un objetivo específico ya que mucho depende de esta para realizar una buena investigación. En la presente investigación.

Los instrumentos utilizados para la investigación fueron: Manuales de mecánica de suelos, equipos de laboratorio, información bibliográfica equipos de topografía entre otros. Cada ensayo cuenta con sus respectivos instrumentos de medición los cuales se encuentran normados tanto a nivel nacional (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) como a nivel internacional (AASTHO). Así mismo

las técnicas y herramientas que se quiere usar para la presente investigación y lograr los objetivos planteados; serán:

- Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del suelo en estado natural.
- Tratamiento de las propiedades físicas y mecánicas del suelo con escoria en diferentes porcentajes.
- Interpretación de los resultados.

2.5.3. Validez:

(OSED A G., y otros, 2015 pág. 170) “La validez es un concepto del cual pueden tenerse diferentes tipos de evidencia: a) evidencia relacionada con el contenido, b) evidencia relacionada con el criterio y c) evidencia relacionada con el constructo.”

A continuación en el siguiente cuadro se muestra el resumen de validación del instrumento las mismas que fueron evaluados por los tres expertos de la especialidad.

- Experto 01.- Carlos Alberto, Bravo Aguilar
- Experto 02.- Hermes Alberto, Valdivia Aspilcueta
- Experto 03.- Eriber Washington, Enciso Navarro

Tabla II.12 Validez de ficha para recolección de datos



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

Proyecto de tesis	: COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"			
Investigador	: Illary Ccoillo Inca	Fecha	: 19/04/2017	
			CRITERIO DE EXPERTO	
ITEM	DESCRIPCIÓN	EXP. 01	EXP. 02	EXP. 03
I	ASPECTOS GENERALES	0.71	0.76	0.90
II	CANTIDAD INCREMENTADA DE ESCORIA DE ALTOS HORNOS.	0.96	0.99	0.80
III	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	1.00	1.00	1.00
IV	CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL SUELO.	1.00	1.00	1.00
V	DEFORMACIONES	0.73	0.98	0.80
VI	DISEÑO	0.70	0.73	1.00
VII	RESISTENCIA	1.00	0.99	0.60

Fuente: elaboración propia.

2.5.4. Confiabilidad:

(BERNAL, 2010 pág. 247) "Toda medición o instrumento de recolección de datos debe reunir dos requisitos esenciales: confiabilidad y validez". En la presente investigación.

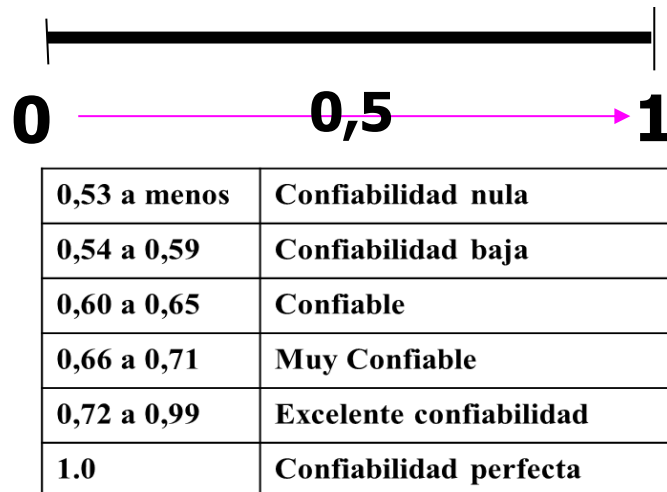
Tabla II.13: Resumen para evaluación de expertos

PROMEDIO (%)	0.87	0.92	0.87
PROMEDIO FINAL DE VALORACIÓN (%)	0.89		

Existen diversas formas de como calcular la confiabilidad de un instrumento, en la presente investigación se tomó como referencia a (OSEDA G., y otros, 2015 pág. 170). Del cuadro podemos deducir que la confiabilidad de la ficha propuesta

se tiene 0.92%, esto indica que obtenemos un valor dentro del rango de 0.72 a 0.99 y se deduce que tiene una excelente confiabilidad.

Tabla II.14: Tabla de confiabilidad



Fuente: (OSEDA G., y otros, 2015 pág. 170)

2.6. Métodos de análisis de datos

El trabajo de investigación consistió en realizar diferentes ensayos de mecánica de suelo según las normas del Ministerio de transportes y Comunicaciones (MTC) y la norma internacional American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Así mismo se empleó el programa Excel y SPSS para el análisis de la estadística descriptiva y los planos se generaron mediante el programa CIVIL 3D.

2.7. Aspectos éticos

En esta investigación se respeta la veracidad de los datos vertidos, y la genuinidad de la información. Así como la oportuna citas y referencias a los autores de las diferentes citas, gráficos e información utilizada con los fines de esta investigación.

III. ANALISIS Y RESULTADOS

3.1. Ubicación de la zona de estudio

La zona de estudio se encuentra situada dentro de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), la cual está ubicada en la ciudad de Lima, distrito de La Molina. Geográficamente se encuentra entre las coordenadas 12 °05´ Latitud Sur y 76° 56´ Longitud Oeste a 251 msnm. El punto específico de la investigación que se realizara está situado en el pasaje CIPD – FIA-UNALM correspondiente a la facultad de Ingeniería Agrícola que tiene una longitud de 58.44 m. Equivalente a 0.1 km de distancia.

3.2. Descripción de la zona de estudio

(Ministerio de viviendas , 2010) El distrito de La Molina presenta una configuración de suelos muy errática y heterogénea ya que en los distintos sectores de la molina esta zonificado como zona I, II, III, IV. la Universidad Nacional Agraria La Molina se encuentra en la zona IV ya que los estudios realizados en esta zona muestran el perfil del suelo predominantemente por suelos arcillosos limosos y arenosos (CL - ML) que llegan hasta 50.00 m de profundidad en promedio, es por ello que en la presente investigación se escogió la zona por ser un suelo de baja calidad.

3.3. Recopilación de información

3.3.1. Trabajos de campo

Los trabajos de campo tanto para la toma de suelos y muestreo de escoria de horno de arco eléctrico se tomó en cuenta la norma MTC E 103 – 2000 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones las mismas que ha sido basada en la norma ASTM C 702. Para las calicatas consistió en realizar un sondeo en la zona de estudio de la Universidad Agraria la Molina, así como determinar la estratigrafía del suelo y el muestreo respectivo. Para la escoria de la misma forma se realizó un sondeo en el punto de depósito de la planta Aceros Arequipa en pico.

3.3.1.1. Exploración y muestreo de las calicatas

Se pudo realizar 2 excavaciones manualmente y se denominaron como código a las calicatas C – 01 y C – 02, Con la ayuda del equipo topográfico se tomaron las coordenadas para cada una de ellas.

Tabla III.15: Coordenadas geográficas de las calicatas

CALICATA	PORF. (m)	COORDENADAS		
		NORTE	ESTE	ESTE
C - 01	1.5	8648348.35	294295.181	251.0
C - 02	1.5	8648362.95	294324.949	251.5

Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizado las calicatas se aplicó el procedimiento de campo visual obteniendo las clasificaciones de suelos (Sistema Unificado de Suelos – SUCS y AASHTO) y luego serán corroborados con los ensayos de laboratorio.

Para obtener los registros de excavaciones, paralelamente a la toma de muestras. Se observó la estratigrafía de las calicatas para su representación gráfica del suelo, determinando la altura de cada variación de suelo y se pudo identificar que para las dos calicatas entre la profundidad de 0.00 a 0.20 m. se encontró un relleno de material limo arenoso húmedo, color marrón con presencia de raíces y gravillas angulosas aisladas (Suelo orgánico), de 0.20 a 1.50 m de profundidad se determinó un suelo arcilloso de mediana plasticidad con arena, color marrón claro, con humedad media, medianamente denso, con gravas aisladas de tamaño máximo a 3/4" (Ver Anexo N° 6 Perfil estratigráfico de la excavación de calicatas).

Se tomaron fotografías in situ a las calicatas con sus respectivos códigos (Ver anexo N° 5, panel fotográfico) luego se tomaron muestras de suelos homogéneas a partir de los 0.20 a 1.50 m de profundidad para las dos calicatas, obteniendo así

muestras representativas del suelo puestos en bolsas de polietileno para luego ser analizados en el laboratorio.

3.3.1.2. Muestreo de escoria

Para el muestreo de escoria de horno de arco eléctrico se realizó un sondeo en el punto de almacenamiento de la planta de Aceros Arequipa en pisco y se tomó muestras de escoria en diferentes puntos de acopio previo cuarteo, obteniendo así una muestra representativa.

La escoria está representada como un material gravoso con poca presencia de finos y para la obtención de una muestra representativa se aplicó el cuarteo por el método B como establece en la MTC E 103 – 2000.

3.4. Ensayos de laboratorio

En la presente investigación de tesis se planteó como objetivo analizar el comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas del suelo en estado natural denominado como sub rasante mediante la combinación con escoria de horno de arco eléctrico.

Continuación mencionaremos los siguientes ensayos de mecánica de suelos que se realizaron para la presente investigación.

- Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422, MTC E107
- Límites de consistencia
 - Límite Líquido ASTM D-4318, MTC E110
 - Límite Plástico ASTM D-4318, MTC E111
- Contenido de humedad ASTM D-2216, MTC E108
- Clasificación SUCS ASTM D-2487
- Clasificación AASHTO M-145
- California Bearing Ratio ASTM D-1883, MTC – E132, ó Módulo resiliente de suelos de subrasante AASHTO T 274, MTC – E128

- Proctor Modificado ASTM D-1557, MTC – E115
- Ensayo de Expansión Libre ASTM D-4546

Para lograr los objetivos de dicha investigación se procedió a realizar los ensayos de laboratorio de las muestras de suelo, determinando las características de dicho material en su estado natural y luego con las proporciones en porcentajes de 10%, 20%, 30% y 40%, con la finalidad de mejorar algunas de sus propiedades de tal forma que se pueda emplear en el uso como sub rasante mejorada y conocer el comportamiento de este material para los fines antes mencionados.

Los ensayos realizados de la calicata C-01 y C-02 presentan características muy similares, por lo tanto para realizar las combinaciones de suelo y escoria, se consideró la calicata C-01. En los siguientes acápites presentaremos indicando la tabla de resultados del suelo en estado natural y con las combinaciones de escoria antes mencionadas.

3.5. Determinación de la influencia de suelos con adición de escoria de altos hornos en el comportamiento de la subrasante en pavimentos flexibles.

En el siguiente cuadro se muestran los resultados obtenidos de la escoria de horno de arco eléctrico y del suelo arcilloso.

Tabla III.16: Propiedades físicas, mecánicas de la escoria y suelo

ENSAYOS	NORMA	Escoria	Suelo natural
Peso específico	NTP 339.131	3.494	2.790
Límite líquido (%)	MTC E 110	24.99	29.61
Límite plástico (%)	MTC E 111	NP	18.15
Índice plástico (%)	MTC E 111	NP	11.46
Clasificación SUCS	NTP 339.135	GP con arena	CL arenoso
Clasificación AASHTO	NTP 339.134	A - 1a (0)	A - 6 (6)
PROCTOR MODIFICADO	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	MTC E 115	...
	OCH (%)	...	1.973
			11.10
CBR al 95% a 0.1" (%)	MTC E 132	...	5.61
Expansión (%)	MTC E 132	...	1.461

Fuente: Elaboración propia

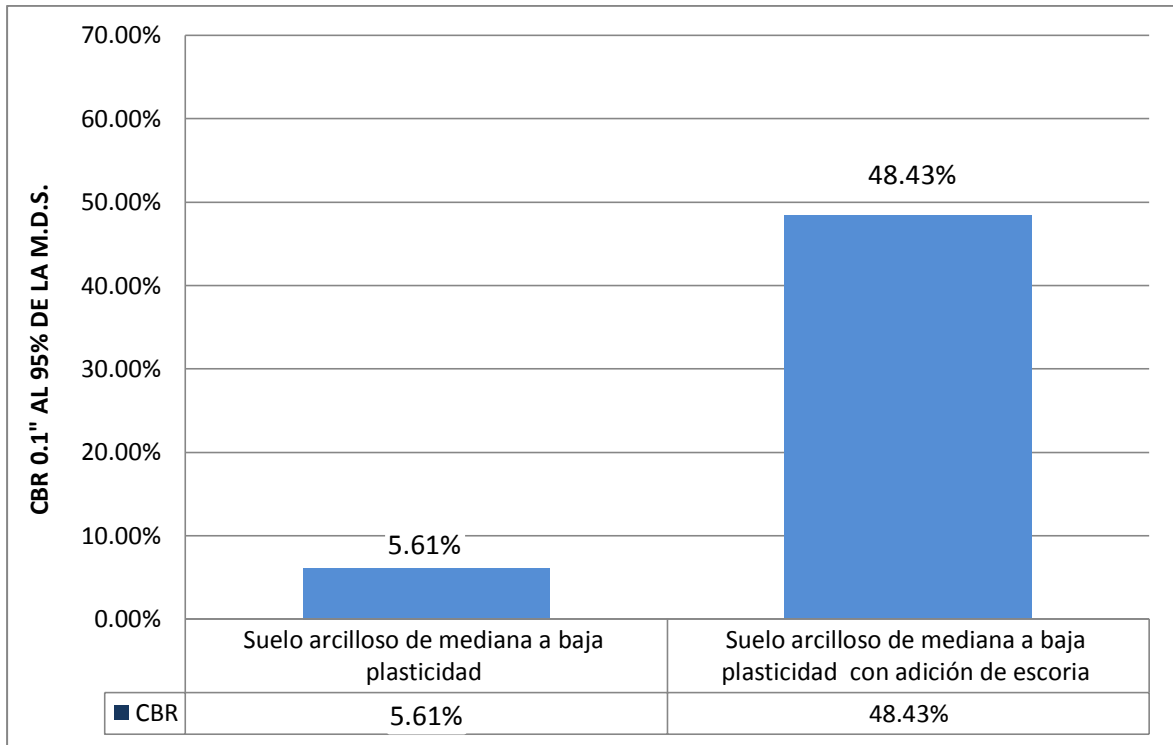
La influencia de suelos con adición de escoria de horno de arco eléctrico incrementa el valor de CBR en el suelo arcilloso con una dosificación de 30% del peso seco, también reduce porcentualmente la expansión en un 54.69%.

Tabla III.17: CBR, suelo arcilloso más 30% de escoria

ENSAYOS	NORMAS	SUELO MAS 30% DE ESCORIA
CBR al 95% a 0.1"	MTC E 132	48.43%
Expansión	MTC E 132	0.799%

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se observa que el valor de CBR en el suelo arcilloso de mediana a baja plasticidad es 5.61% y esta categorizado como un S1: Subrasante pobre, al adicionar la escoria de horno de arco eléctrico en el suelo, el valor del CBR incrementa en un 48.43% lo cual se categoriza un S5: Subrasante Extraordinaria.



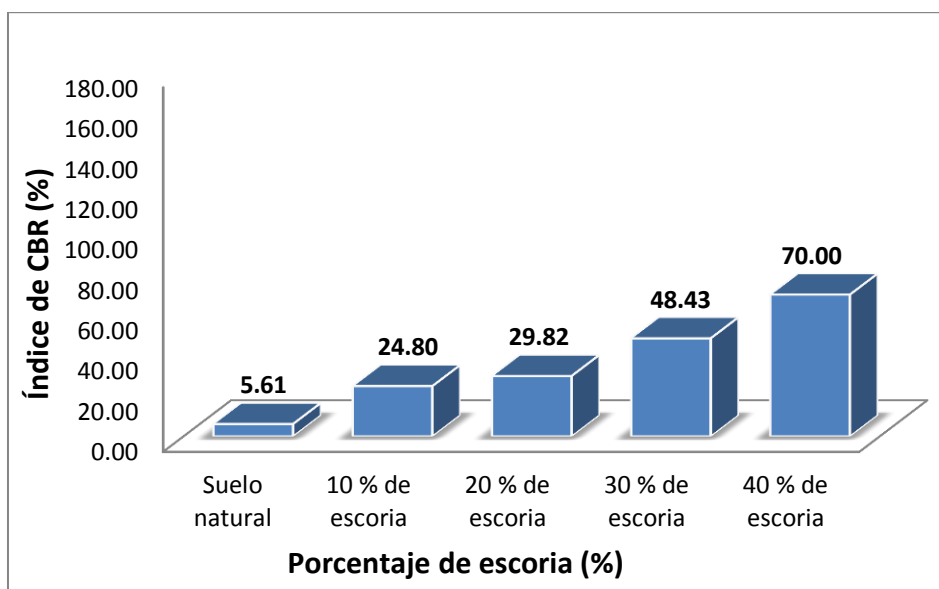
Fuente: Elaboración propia

Figura III.4: Comparación del valor CBR, sin adición y con adición de escoria

3.6. Determinación de la influencia de la cantidad incrementada de escoria de altos hornos en el comportamiento de la subrasante en pavimentos flexibles.

A continuación se muestran valores comparativos de las muestras analizadas al suelo natural denominado subrasante y al suelo natural con adición de escoria a diferentes porcentajes.

Para determinar la cantidad incrementada de escoria se tomó como referencia al manual del MTC



Fuente: Elaboración propia

Figura III.5: CBR sin escoria y con escoria

En la figura anterior se aprecia el incremento de la resistencia del CBR al 95% (1") de la Máxima Densidad Seca. Teniendo como resultado que en el suelo natural presenta un CBR de 5.61%, a medida que se va incrementando la escoria en porcentajes de 10%, 20%, 30% y 40% obtenemos como valor de CBR de 24.80%, 29.82%, 48.43% y 70.00%.

Tabla III.18: Resumen de los resultados de laboratorio

ENSAYOS		NORMA	Escoria	Suelo natural	10 % de escoria	20 % de escoria	30 % de escoria	40 % de escoria
Peso específico		NTP 339.131	3.494	2.790	2.823	2.840	2.875	2.981
Límite líquido (%)		MTC E 110	24.99	29.61	29.37	28.50	27.84	26.66
Límite plástico (%)		MTC E 111	NP	18.15	18.76	19.21	20.08	20.56
Índice plástico (%)		MTC E 111	NP	11.46	10.61	9.29	7.76	6.10
Clasificación SUCS		NTP 339.135	GP con arena	CL arenoso	CL arenoso	SC con grava	SC con grava	SC - SM con grava
Clasificación AASHTO		NTP 339.134	A - 1a (0)	A - 6 (6)	A - 6 (4)	A - 4 (2)	A - 4 (1)	A - 4 (1)
PROCTOR MODIFICADO	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	MTC E 115	...	1.973	2.038	2.101	2.119	2.22
	OCH (%)		...	11.10	10.00	9.55	9.10	7.90
CBR al 95% a 0.1" (%)		MTC E 132	...	5.61	24.80	29.82	48.43	70.00
Expansión (%)		MTC E 132		1.461	1.191	1.107	0.799	0.548

Fuente: Elaboración propia

3.7. Determinación de la intervención de las características físicas del suelo en el comportamiento de la subrasante en pavimentos flexibles.

3.7.1 Análisis granulométrico por tamizado

Este ensayo nos ayudó a determinar la distribución granulométrica de los porcentajes que pasa y porcentajes retenidos por cada malla, para ello se tomó en cuenta las especificaciones técnicas (MTC E 107 – 2000).

Para el procedimiento del ensayo se tomó una muestra representativa se realizaron los ensayos granulométrico por tamizado y se muestran los resultados en el siguiente cuadro y gráficos.

Tabla III.19: Porcentaje que pasa por cada malla

TAMIZES		% QUE PASA					
MALLA	ABERTURA mm.	Escoria	Suelo natural	10 % de escoria	20 % de escoria	30 % de escoria	40 % de escoria
3"	76.20	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2"	50.80	93.5	100.0	99.6	98.7	98.6	98.8
1 ½"	38.10	87.2	100.0	98.3	98.7	97.4	96.5
1"	25.40	77.2	100.0	97.3	96.9	95.0	93.1
¾"	19.05	70.7	100.0	97.0	95.8	93.3	92.1
3/8"	9.525	58.5	99.2	95.6	92.0	87.2	83.5
Nº 4	4.750	44.4	99.0	93.4	86.2	81.2	75.1
Nº 10	2.000	26.2	98.4	90.9	79.0	74.9	67.6
Nº 20	0.850	15.3	96.9	88.6	74.0	70.4	63.2
Nº 40	0.425	10.7	93.3	84.7	69.7	66.4	59.9
Nº 60	0.250	8.3	85.3	77.5	63.5	60.2	54.2
Nº 140	0.106	5.1	64.1	58.3	48.0	45.0	40.7
Nº 200	0.075	4.2	60.2	55.3	45.0	42.2	38.3

Fuente: Elaboración propia.

Es imprescindible que la distribución granulométrica de un suelo tenga mayor porcentaje de grava seguido por el porcentaje de arena y un porcentaje de finos. En el manual de carreteras de suelos, geología, geotecnia y pavimentos del MTC, la presencia de grava en un suelo proporciona una mayor resistencia al corte, las

arenas ocupan los espacios vacíos entre las gravas, y las partículas finas aportan en la cohesión de un suelo. En la siguiente tabla se presenta la distribución granulométrica de la escoria, del suelo natural arcilloso y de las diferentes mezclas de suelo con escoria.

Tabla III.20: Distribución granulométrico.

	Escoria	Suelo natural	10 % de escoria	20 % de escoria	30 % de escoria	40 % de escoria
Coefficiente de Uniformidad:	27.80	-	-	-	-	-
Coefficiente de curvatura	3.02	-	-	-	-	-
Grava (%)	55.6	1.0	6.6	13.8	18.8	24.9
Arena (%)	40.2	38.8	38.1	41.2	39.0	36.8
Finos (%)	4.2	60.2	55.3	45.0	42.2	38.3

Fuente: Elaboración propia

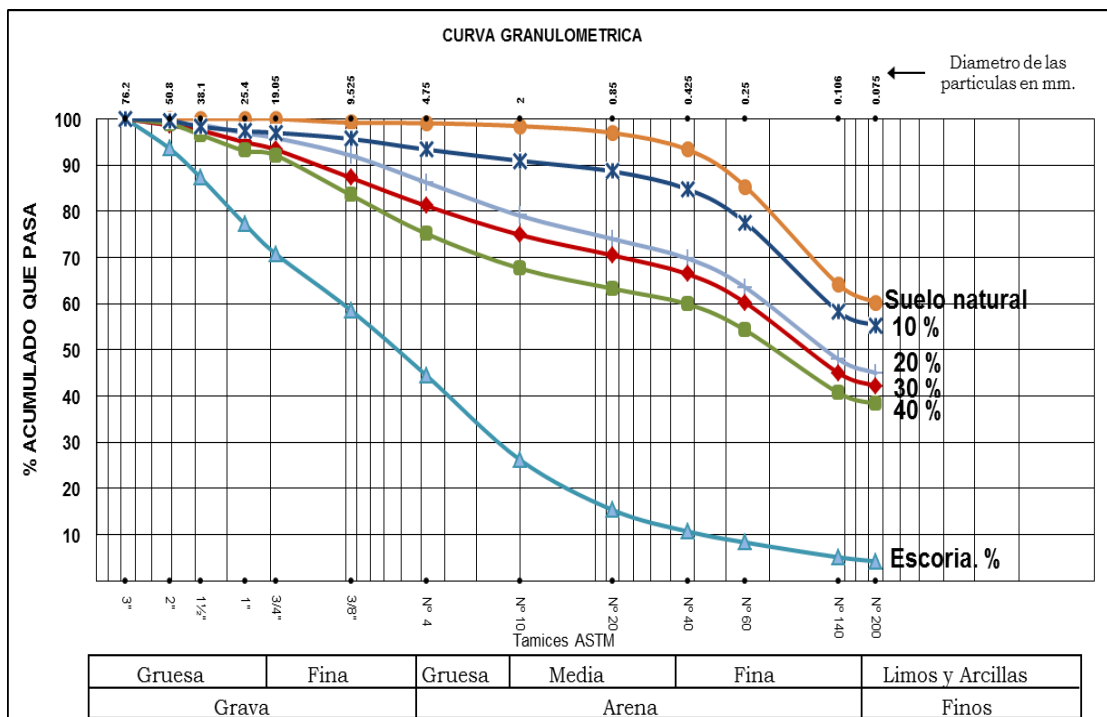


Figura III.6: Curva granulométrica del suelo natural, escoria y las combinaciones

Fuente: Elaboración propia.

3.7.2. Clasificación de suelos.

Según la norma ASTM D-2487 y M-145, se realizó los cálculos de clasificación SUCS y AASTHO la cual se muestra los resultados obtenidos con los diferentes porcentajes de escoria en 10%, 20%, 30% y 40%. También se muestra la clasificación del suelo y escoria en su estado natural.

Tabla III.21: Clasificación SUCS

Proporción	Clasificación SUCS	Tipo de Material Constituyente
Escoria	GP con arena	Grava mal graduada, mezcla de arena - grava con poco o nada de material fino
Suelo natural	CL arenoso	Arcilla inorgánica de plasticidad baja con arena
10 % de escoria	CL arenoso	Arcilla inorgánica de plasticidad baja con arena
20 % de escoria	SC con grava	Arena arcillosa con grava
30 % de escoria	SC con grava	Arena arcillosa con grava
40 % de escoria	SC - SM con grava	Arena arcillosa limosa con grava

Fuente: Elaboración propia

Tabla III.22: Clasificación AASTHO

Proporción	Clasificación AASTHO
Escoria	A - 1a (0)
Suelo natural	A - 6 (6)
10 % de escoria	A - 6 (4)
20 % de escoria	A - 4 (2)
30 % de escoria	A - 4 (1)
40 % de escoria	A - 4 (1)

Fuente: Elaboración propia

3.7.3. Límites de consistencia

En los siguientes cuadros se muestran los resultados de Límite líquido, Límite plástico e Índice de plasticidad del suelo en estado natural y con los valores de los porcentajes de escoria utilizados.

Tabla III.23: Límite de consistencia

Proporción (%)	LL	LP	IP
Escoria	24.99	-	-
Suelo natural	29.61	18.15	11.46
10 % de escoria	29.37	18.76	10.61
20 % de escoria	28.50	19.21	9.29
30 % de escoria	27.84	20.08	7.76
40 % de escoria	26.66	20.56	6.10

Fuente: Elaboración propia.

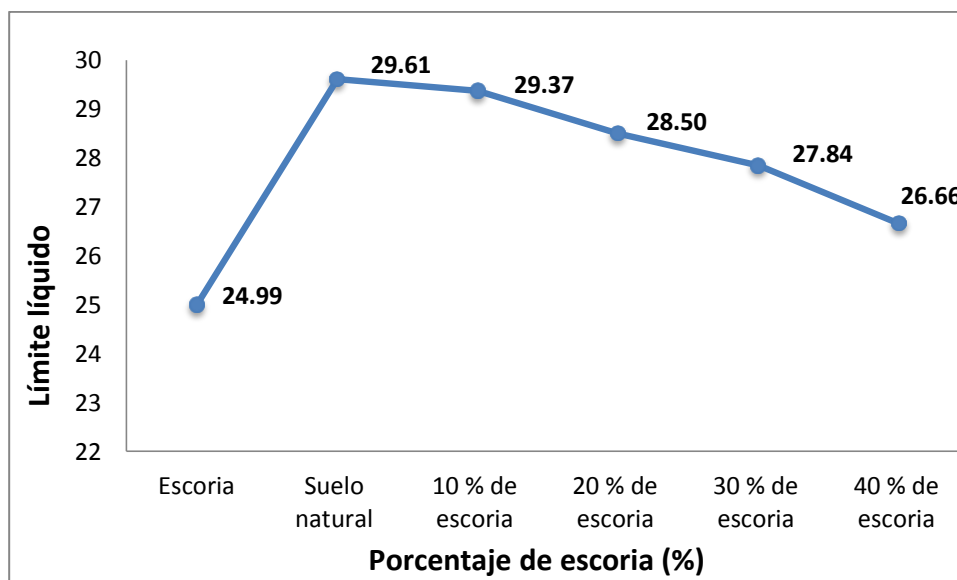


Figura III.7: Límite líquido vs % de escoria

Fuente: Elaboración propia.

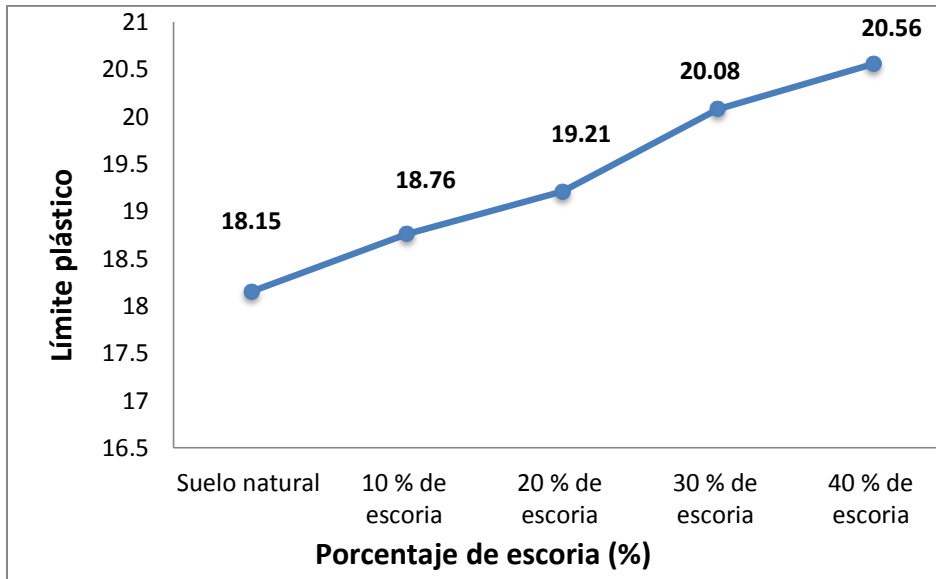


Figura III.8: Límite plástico vs % de escoria

Fuente: Elaboración propia

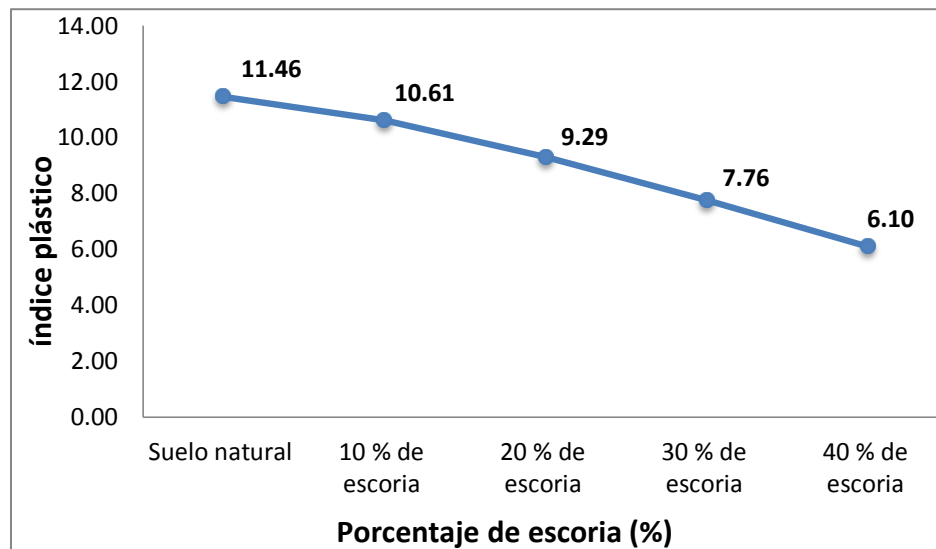


Figura 9: Índice de plasticidad vs % de escoria

Fuente: Elaboración propia

3.7.4. Peso específico relativo de sólidos (Gs)

El ensayo de peso específico se realizó de acuerdo a la norma MTC E 113 y ASTM D – 854. En tabla se muestran los valores obtenidos del laboratorio.

Resumen de resultados del ensayo peso específico de solidos

Tabla III.24: Peso específico relativo de sólidos (Gs)

Proporción (%)	Escoria	Suelo natural	10 % de escoria	20 % de escoria	30 % de escoria	40 % de escoria
Peso específico	3.494	2.790	2.823	2.840	2.875	2.981

Fuente: Elaboración propia.

3.7.4.1 Calculo.

Se realizó el ensayo de peso específico al suelo y escoria en su estado natural tanto como para las combinaciones de 10%, 20%, 30% y 40% Con escoria.

$$Pe = \frac{Wsseco}{Wsseco+(Wfa - Wfas)}$$

Dónde:

Peso suelo seco (Wsseco)

Peso fiola + agua (Wfa)

Peso fiola + agua + suelo (Wfas)

Peso espescifico (Pe)

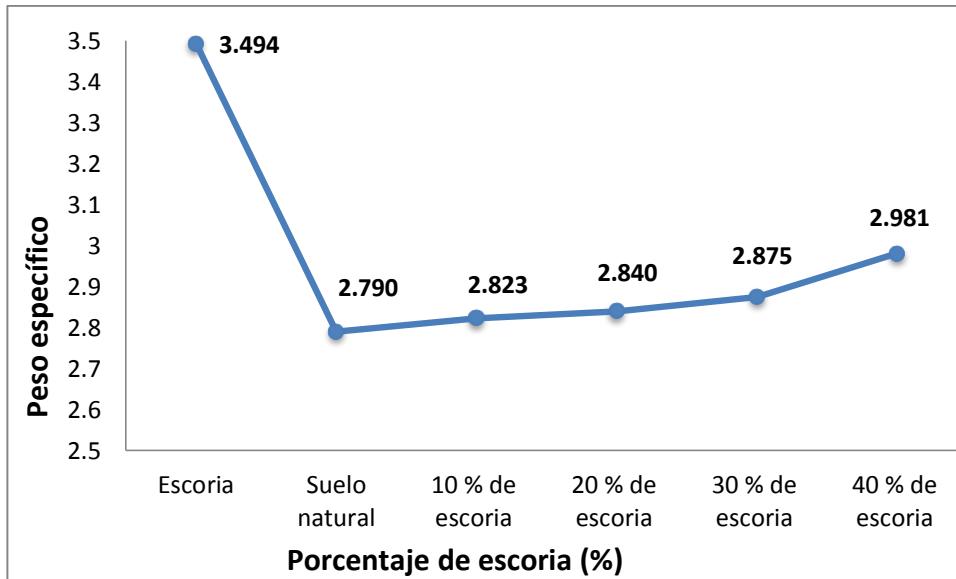


Figura III.10: Peso específico vs % de escoria

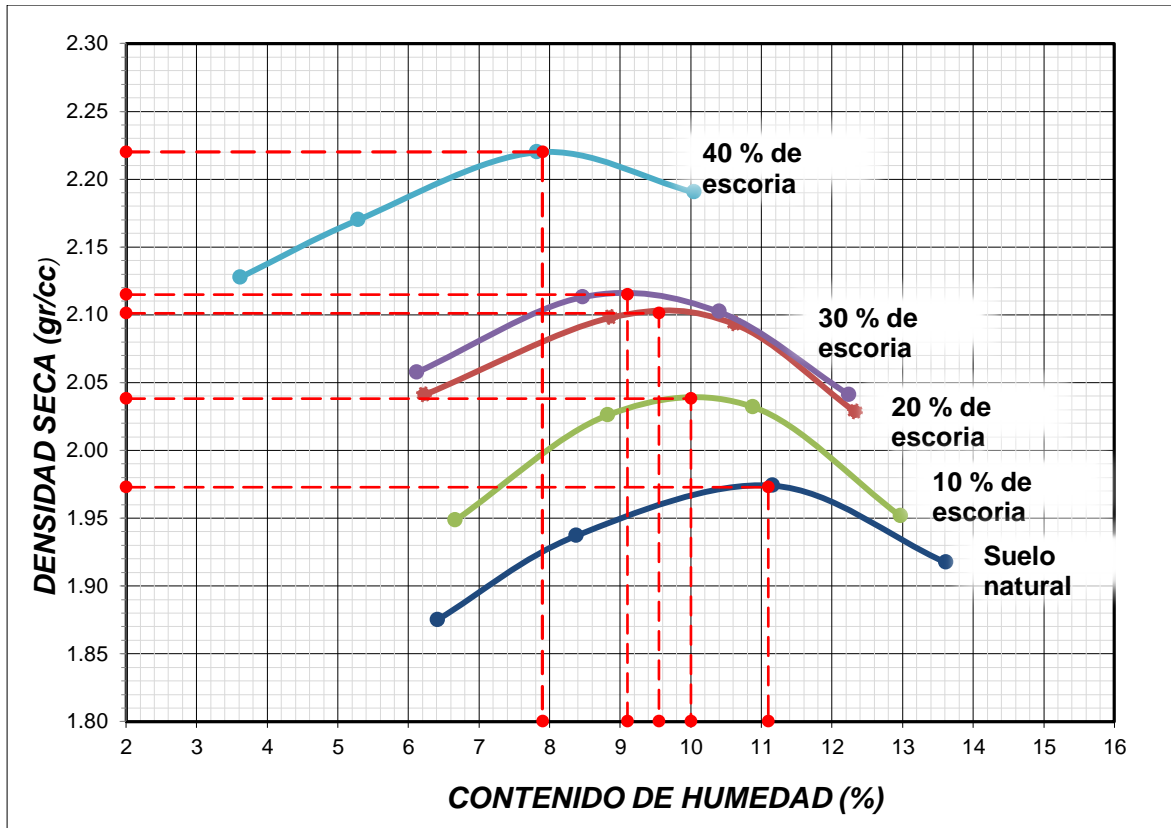
Fuente: Elaboración propia

3.8. Determinación de las propiedades mecánicas de los suelos en la alteración del comportamiento de la subrasante en pavimentos flexibles.

3.8.1. Proctor modificado

Se realizó el ensayo del proctor modificado teniendo en cuenta la norma MTC E 115 y ASTM D1557. Para ello también se tomó en cuenta los porcentajes de cada ensayo granulométrico y definir el método a realizar, Como resultado se obtuvo una máxima densidad seca (MDS) expresado en gr/cm³ y un Óptimo contenido de humedad (OCH) expresado en porcentaje.

En la siguiente figura se muestra las diferentes curvas del proctor modificado y el incremento de la máxima densidad seca más la disminución de la humedad óptima a medida que se va agregando la cantidad de escoria en porcentajes de 10%, 20%, 30% y 40%.



Fuente: Elaboración propia.

Figura III.11: Máxima Densidad Seca y Óptimo contenido de humedad.

En la siguiente tabla se muestra el resumen de resultado del ensayo proctor modificado.

Tabla III.25: Máxima densidad seca (MDS) y optimo contenido de humedad (OCH) del ensayo proctor modificado, suelo más escoria

Proporción	Suelo natural	10 % de escoria	20 % de escoria	30 % de escoria	40 % de escoria
Máxima densidad seca (gr/cm³)	1.973	2.038	2.101	2.119	2.22
OCH (%)	11.10	10.00	9.55	9.10	7.90

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a las normas ASTM D 1557 se determinó el método del proctor modificado. El suelo en su estado natural corresponde al método A, así mismo para las combinaciones de 10%, 20% y 30%. Excepto en la combinación del 40% de escoria que se determinó como el método B, esto es debido a que la escoria es un material granular. Conforme se va agregando las proporciones de escoria indicadas el método del proctor varía.

3.8.2. CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO)

Para el ensayo de CBR se realizó de acuerdo a la norma técnica ASTM D-1883 y MTC – E132.

En la siguiente tabla mostramos los valores y porcentajes de escoria utilizados

Tabla III.26: Índice CBR del suelo natural más las combinaciones con escoria

ENSAYOS	NORMA	Suelo natural	10 % de escoria	20 % de escoria	30 % de escoria	40 % de escoria
CBR al 95% a 0.1" (%)	MTC E 132	5.61	24.80	29.82	48.43	70.00

Fuente: Elaboración propia

En los gráficos siguientes se muestran los valores de Máxima Densidad seca que arroja cada uno de éstos porcentajes, además de los valores de CBR para una penetración de 1" con densidades al 95% de la Máxima Densidad Seca.

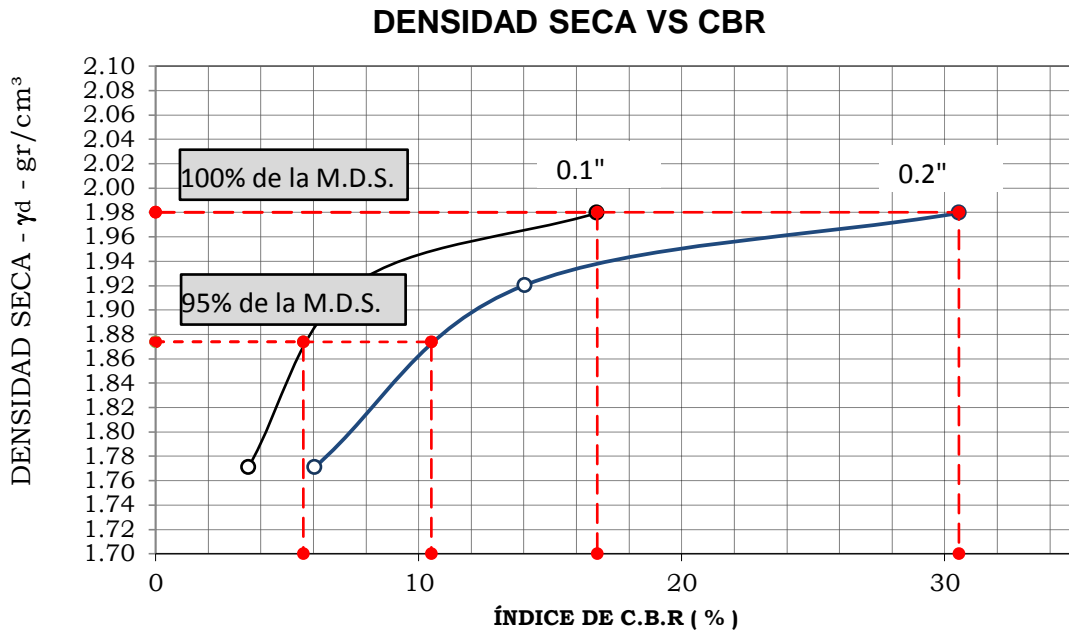


Figura III.12: Curva Densidad Seca vs CBR suelo natural

Fuente: Elaboración propia

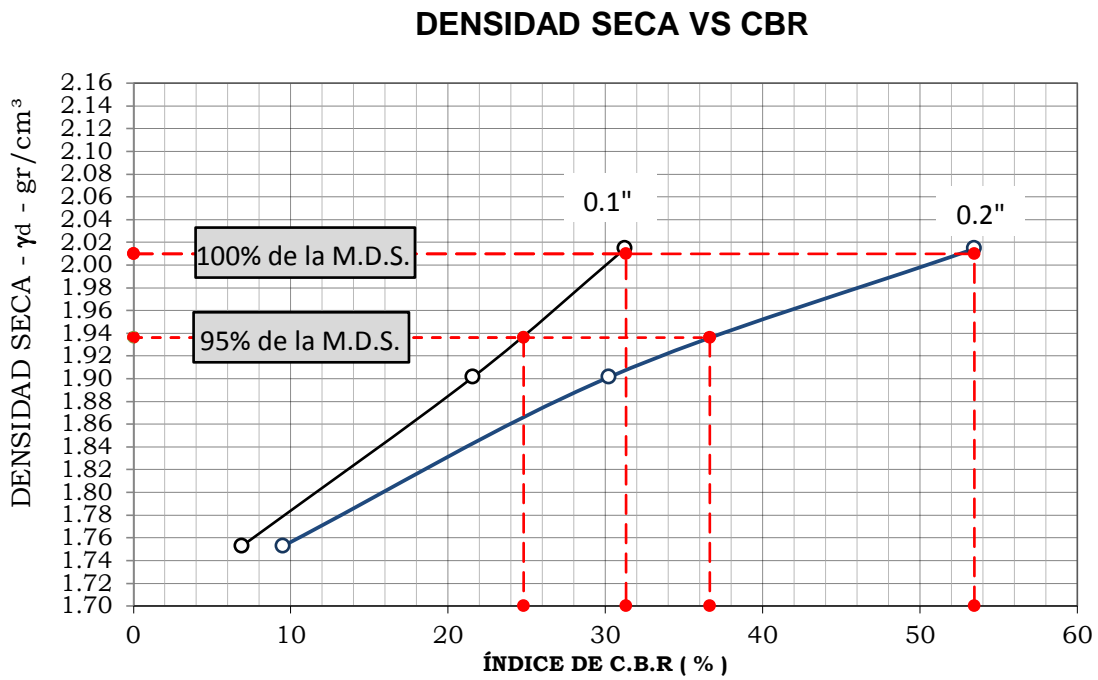


Figura III.13: Curva Densidad Seca vs CBR suelo natural más 10% de escoria

Fuente: Elaboración propia

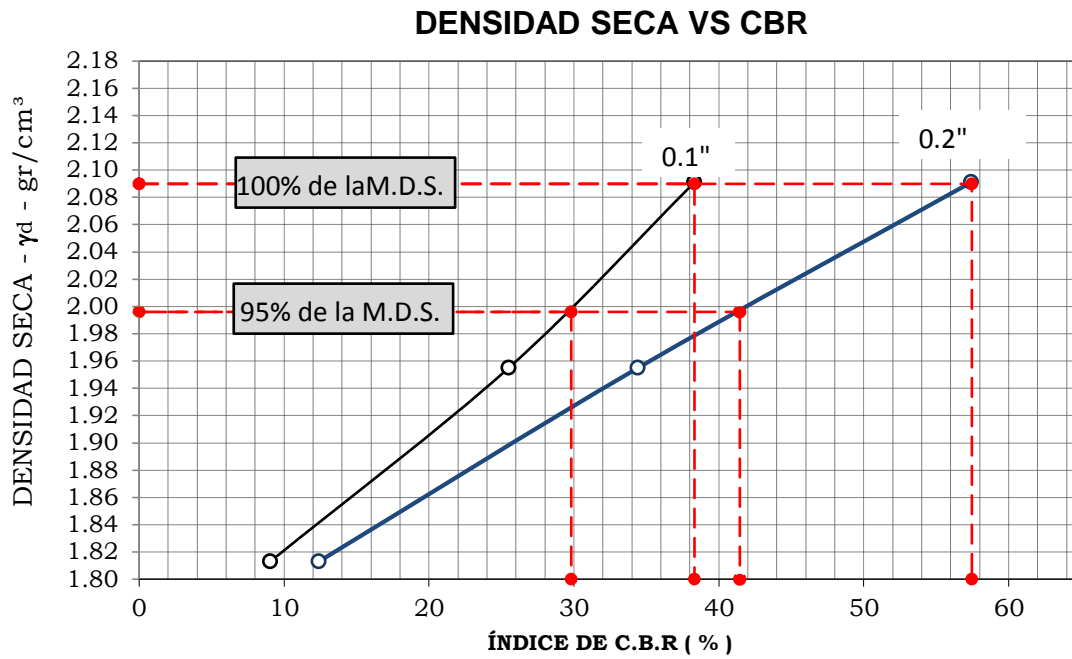


Figura III.14: Curva Densidad Seca vs CBR suelo natural más 20% de escoria
Fuente: Elaboración propia

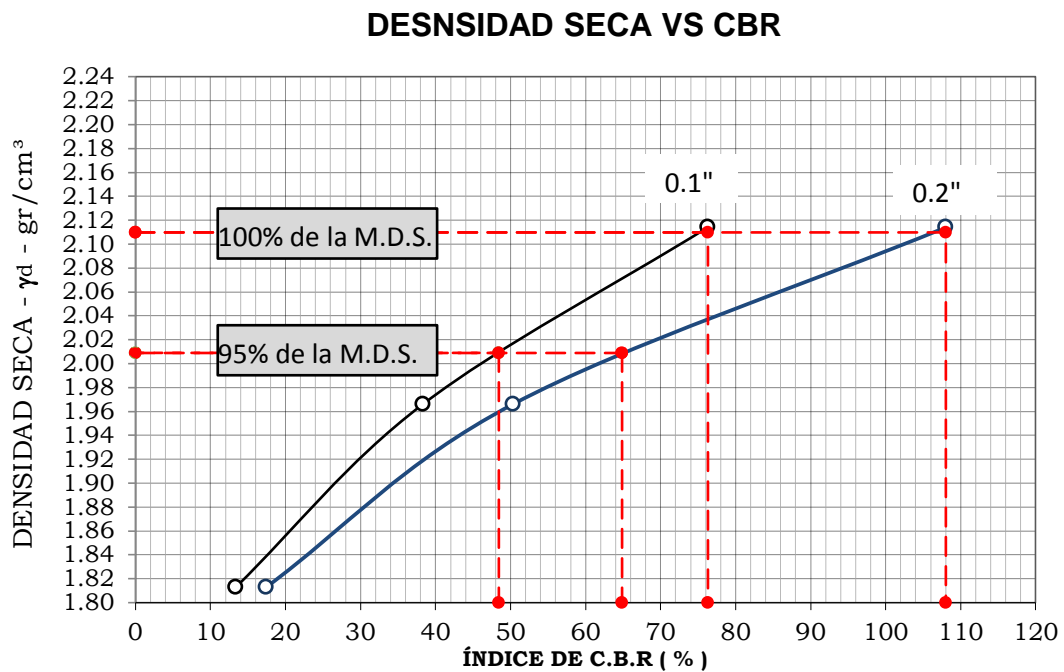


Figura III.15: Curva Densidad Seca vs CBR suelo natural más 30% de escoria
Fuente: Elaboración propia

DENSIDAD SECA VS CBR

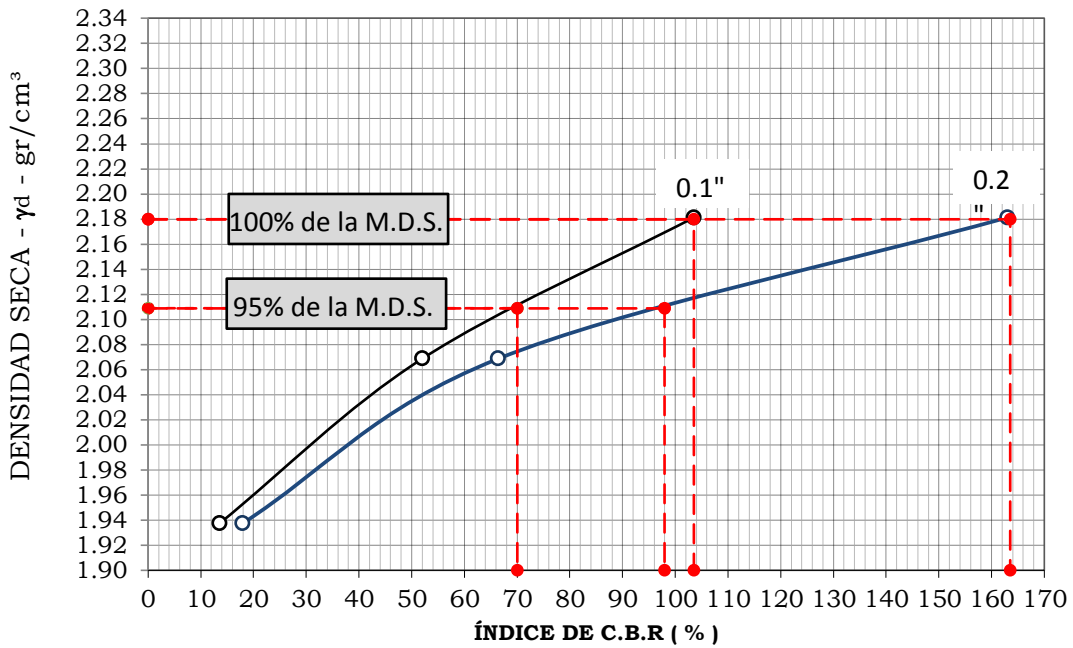


Figura III.16: Curva Densidad Seca vs CBR suelo natural más 20% de escoria

Fuente: Elaboración propia

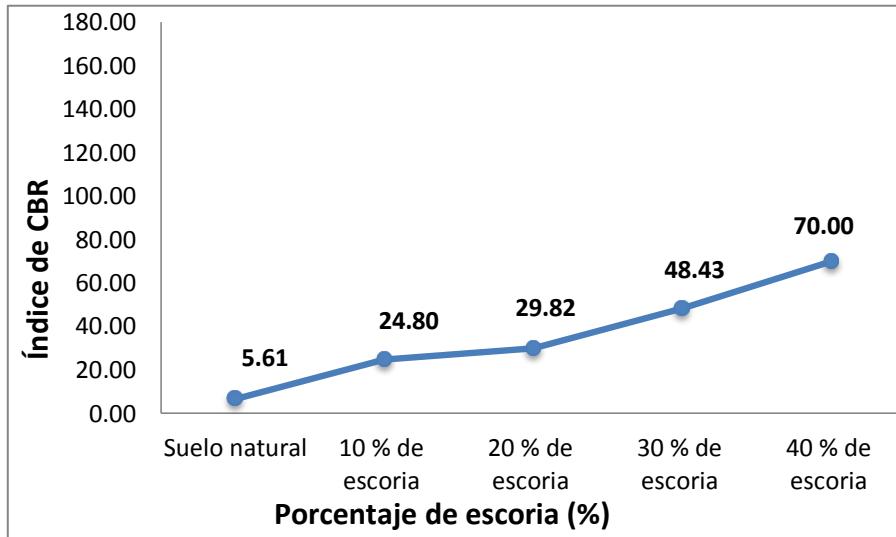


Figura III.17: índice CBR VS % DE ESCORIA AL 95% (1")

Fuente: Elaboración propia.

3.8.3. Porcentaje de expansión

Tabla III.27: Porcentaje de expansión suelo más escoria

Proporción (%)	Suelo natural	10 % de escoria	20 % de escoria	30 % de escoria	40 % de escoria
EXPANSIÓN (%)	1.461	1.191	1.107	0.799	0.548

Fuente: Elaboración propia

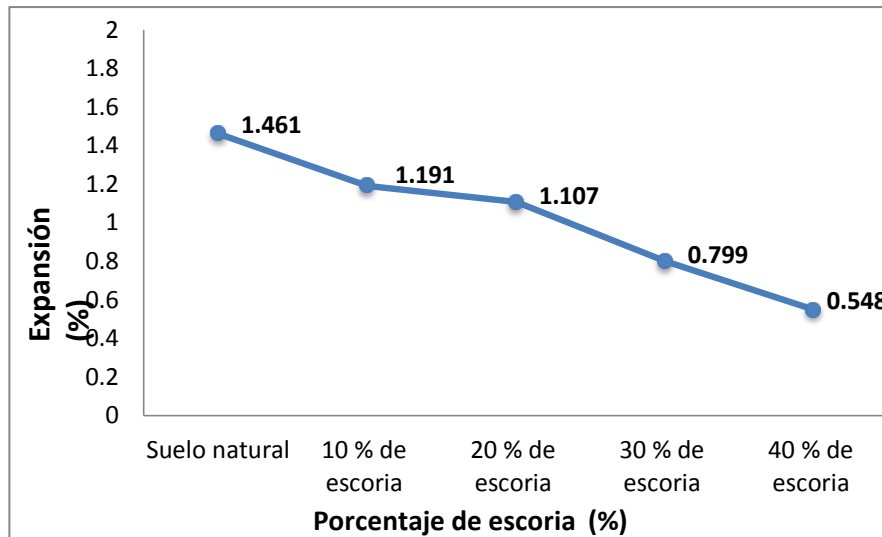


Figura III.18: % De expansión vs % De escoria

Fuente: Elaboración propia

3.8.4. RESUMEN DE RESULTADOS

En la siguiente tabla se presenta el resumen de las propiedades mecánicas del suelo natural más la combinación de escoria.

Tabla 28: Resumen de las propiedades mecánicas

ENSAYOS		Suelo natural	10 % de escoria	20 % de escoria	30 % de escoria	40 % de escoria
PROCTOR MODIFICADO	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	1.973	2.038	2.101	2.119	2.22
	OCH (%)	11.10	10.00	9.55	9.10	7.90
CBR al 95% a 0.1" (%)		5.61	24.80	29.82	48.43	70.00
Expansión (%)		1.461	1.191	1.107	0.799	0.548

Fuente: elaboración propia

IV. DISCUSIONES DE RESULTADOS

- (MTC, 2013 pág. 119) “En los suelos estabilizados con escoria y cal el porcentaje estimado en peso de cal se encuentra dentro de un rango promedio de 1.5% a 3% y de la escoria dentro de un rango promedio entre 35% a 45% en volumen.

Al determinar la influencia de la cantidad incrementada de escoria de altos hornos en el comportamiento de la subrasante en pavimentos flexibles, la norma del Ministerio de Transportes y Comunicaciones recomienda un rango promedio en peso de cal y escoria para estabilizar suelos. Tomando en cuenta esos parámetros promedio en la presente investigación se plateo realizar las combinaciones de los suelos naturales de baja calidad de tipo CL con la escoria entre los porcentajes 10%, 20% y 30% y 40%.

De tal forma se evaluó su comportamiento del Índice CBR al 95% en 1” obteniendo valores de 24.80%, 29.82%, 48.43% y 70.00%. Con esos valores se determina que al adicionar 30% en peso seco de escoria se obtiene una categoría de subrasante extraordinaria con CBR mayor a 30%

- Al incorporar escoria en el suelos natural arcilloso de tipo CL, se obtiene como resultado las características físicas en las diferentes combinaciones de 10%, 20% y 30% y 40, una disminución de índice de plasticidad de 11.46%, 10.61%, 9.29%, 7.76% y 6.10%. también se obtiene como resultado en la clasificación SUCS: CL arenoso, SC con grava, SC con grava, y SC-SM con grava, lo mismo para la clasificación AASHTO: A-6(4), A-4(2), A-4(1), A-4(1). Lo que nos indica que existe un gran cambio en las características físicas del suelo.
- Se pudo determinar las propiedades mecánicas de suelo para los diferentes tratamientos, teniendo así resultado en las proporciones de 10%, 20% y 30% y 40%. El ensayo del proctor modificado nos ayudó a determinar la máxima densidad seca y la humedad óptima de un suelo, en la tabla 23 se muestran los resultados para el suelo natural y las combinaciones de suelo y escoria.

El ensayo CBR nos ayudó a determinar la capacidad de soporte del suelo, como resultado se obtuvo para el suelo natural un Índice CBR de 5.61% a medida que se va incrementando la escoria en porcentajes de 10%, 20%, 30% y 40% obtenemos como valor de CBR de 24.80%, 29.82%, 48.43% y 70.00%. Tal como se muestra en la tabla 24. De la misma forma hay una disminución en la expansión del suelo teniendo como valor del suelo natural 1.461%, y para las combinaciones de suelo más escoria 1.191%, 1.107%, 0.799% y 0.584%.

- (MTC, 2013 pág. 40) “Una vez definido el valor del CBR de diseño, para cada sector de características homogéneas, se clasificará a que categoría de subrasante pertenece el sector o subtramo.

Tomando como referencia el manual de la MTC se determina que al adicionar la escoria en porcentajes de 10%, 20%, 30% y 40%, influye en el comportamiento de la subrasante, obteniendo la calidad de subrasante de la categoría S1: Subrasante Pobre con un valor Índice CBR 5.61% y la norma nos indica que requiere hacer un mejoramiento de (Ver tabla 8 Categorías de subrasante).

V. CONCLUSIONES

1. Se determinó que la influencia de suelos con adición de escoria de altos horno en el suelo arcilloso obteniendo así el incrementando del valor de CBR 48.43% al 95% de la máxima densidad seca con una dosificación de 30% del peso seco, también se reduce porcentualmente la expansión en un 54.69%.
2. Se determinó que la cantidad incrementada de escoria en un 30% en peso seco, se obtiene un suelo mejorado con un índice CBR 48.43% lo cual se categoriza un S5: Subrasante Extraordinaria.
3. Se determinó las características físicas del suelo al adicionar la escoria en el suelo arcilloso, el índice de plasticidad disminuye a medida que se va incrementando los porcentajes de escoria, teniendo así un índice de plasticidad: del suelo natural un IP de 11.46 adicionándole 10% de escoria un IP de 10.61%, incorporando 20% un IP de 9.29% incorporando 30% un IP de 7.76% incorporando 40% un IP de 6.10%
4. Se determinó las propiedades mecánicas de los suelos, el valor del índice CBR del suelo arcilloso es de 5.61% al 95% de la máxima densidad seca. con la adición de escoria incrementa el CBR, a 24.80%, 29.82%, 48.43% y 70.00% en los porcentajes de 10%, 20%, 30% y 40% debido a que la escoria presenta propiedades que aportan en la resistencia de suelo.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda:

1. Al Ministerio de transportes y Comunicaciones; la difusión y aplicación de la escoria de arco eléctrico para suelos arcillosos de baja capacidad portante. Puede ser aplicable para suelos con CBR menor a 6% y que requieran un mejoramiento.
2. Realizar un estudio de mecánica de suelos para conocer las propiedades físicas y mecánicas y poder elegir la alternativa correcta del tipo de mejoramiento de suelo, los suelos arcillosos comúnmente presentan diversos cambios como uno de los fenómenos de expansión ya que esos fenómenos pueden ser muy perjudicial a la estructura del pavimento. Se recomienda el uso de escoria en la adición del suelos arcilloso ya que en la presente investigación realizada presenta la disminución de la expansión en un 54.69%.
3. Adicionando un porcentaje de escoria, dependiendo de las cantidades que contengan los suelos finos para los terrenos de fundación que presenten un CBR menor a 6 % hasta alcanzar un índice CBR adecuado según las necesidades que requiera un determinado proyecto.
4. Lograr el mejoramiento e incrementar las propiedades mecánicas de baja calidad de los suelos y minimizar costos, contribuyendo al cuidado del medio ambiente, reduciendo los grandes depósitos de escorias de las empresas siderúrgicas.

IV. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AASHTO . 1993.** *Metodo de diseño.* 1993.
- ACERO C., Roberto C. 2013.** *Sistema de Gestión de Proyectos basado en Principios del Lean Construction.* Arequipa : Universidad Católica Santa María, 2013.
- Alvares Pavón, Jorge A. 2010.** *Estabilización de subrasants.* s.l. : Instituto Colombiano de Productores de Cemento, 2010.
- BAENA P., Guillermina. 2014.** *Metodología de la Investigación: Serie integral por competencias.* Azcapotzalco : Grupo Editorial Patria S.A. de C.V., 2014. 978-607-744-003-1.
- BAÑON BLÁZQUEZ , LUIS y BEVIÁ GARCÍA, JOSÉ FRANCISCO. 2000.** *Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento.* Alicante : Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A., 2000. 84-607-0123-9.
- BERNAL, César A. 2010.** *Metodología de la Investigación: administración, economía, humanidades y ciencias sociales.* Colombia : Pearson Educación, 2010. 978-958-699-129-2.
- . 2010.** *Metodología de la Investigación: administración, economía, humanidades y ciencias sociales .* Colombia : Pearson Educación , 2010. 978-958-699-129-2.
- Borja Suárez, Manuel. 2012.** *Metodología de la Investigación Científica para ingenieros.* Chiclayo : s.n., 2012.
- CAF. 2010.** *Soluciones e innovaciones tecnológicas de mejoramiento de vías de bajo tránsito.* Caracas : Corporación Andina de Fomento, 2010. 978-980-6810-49-5.
- CEDEX. 2007.** *Actualización de catalogo de residuos utilizables en construcción .* 2007.
- Copado Beltrán, Jose Aloix. 2011.** *Estabilización de un suelo arcilloso con cal hidratada, para ser utilizadas como capa subrasante de pavimentos en la colonia San juan capistrano de Ciudad Obregón, Son.* Obregon, Sonora : Instituto Tecnológico de Sonora, 2011.
- CORTÉZ C., Manuel E. y IGLESIAS L., Miriam. 2004.** *Generalidades sobre Metodología de la Investigación.* Ciudad del Carmen : Uiversidad Autónoma del Carmen, 2004. 968-6624-87-2.
- Estudio de la inestabilidad en escorias negras de horno de arco eléctrico.* **Frías, Moisés, Sánchez de Rojas, María Isabel y Uría, Alejandro. 2002.** 267, madrid : Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2002, Vol. 52. 0465-2746.
- García Gonzales, Anabelén . 2015.** *DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE INCORPORANDO CAL ESTRUCTURAL EN EL SUELO LIMO ARCILLOSO DEL SECTOR 14 MOLLEPAMPA DE CAJAMARCA, 2015.* Cajamarca : Iniversidad Privada del Norte , 2015.

- HERNÁNDEZ S., Roberto, FERNÁNDEZ C., Carlos y BAPTISTA L., Maria. 2010.**
Metodología de la Investigación: Quinta edición. México D.F. : McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2010. 978-607-15-0291-9.
- HERNÁNDEZ S., Roberto, FERNÁNDEZ C., Carlos y BAPTISTA L., Pilar. 2006.**
Metodología de la Investigación. Iztapalapa : McGRAWHILL/INTERAMERICANA EDITORES, SA DE C.V, 2006. 90-10-5753-8.
- Hernández Sampieri, Roberto, Fernández Collado, Carlos y Baptista Lucio, Pilar . 1998.**
Metodología de la investigación. MEXICO : 2, illustrated, 1998. 9701018990, 9789701018996.
- Hernandez Sampieri, Roberto, Fernandez Collado, Carlos y Batista Lucio, Maria del Pilar. 2010.** *Metodología de la investigación.* Mexico : McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES,S.A. DE C.V., 2010. ISBN: 9786071502919 .
- IHOBE Gobierno Vasco. 1999.** *Libro Blanco de Minimización de Residuos y Emisiones de Escorias de Aceria .* 1999.
- José, Cespedes Abanto. 2002.** *LOS PAVIMENTOS EN LAS VIAS TERRESTRES Calles, Carreteras, Aeropistas.* Cajamarca : Universidad Nacional de Cajamarca, 2002.
- Marquina Sierra , Marcos Adrian. 2008.** *Uso de las escorias obtenidas como sub producto de la elaboración de acero de la planta n° 2 de Aceros Arequipa - Pisco para fines de cimentación y pavimentacion.* lima : Universidad Ricardo Palma, 2008.
- Ministerio de viviendas . 2010.** *MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA EN EL DISTRITO DE DE LA MOLINA.* Lima : s.n., 2010.
- MONJE Á., Carlos A. 2011.** *Metodología de la Investigación Cuantitativa y Cualitativa: Guía didáctica.* Colombia : Universidad Surcolombiana, 2011.
- Montejo Fonseca, Alfonso. 2002.** *INGENIERÍA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS.* Bogotá : Universidad Católica de Colombia, 2002. 958-96036-2-9.
- MTC. 2013.** *MANUAL DE CARRETERAS Suelos, Geología, geotécnica y Pavimentos.* 2013.
- OSEDA G., Dulio, y otros. 2015.** *Metodología de la Investigación.* Huancayo : Editorial Pirámide, 2015. ISBN N° 568479854256.
- Pérez Collantes, Rocío del Carmen. 2012.** *ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZAS DE CARBÓN PARA SU USO COMO SUBRASANTE MEJORADA Y/O SUB BASE DE PAVIMENTOS.* Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2012.
- Reyes Ortiz, Oscar Javier y Fernando Camacho , Javier. 2013.** *Efecto del desperdicio de una siderúrgica en bases y subbases granulares.* Bogotá : Universidad Militar Nueva Granada, 2013. Vol. 13. 01248170.

- Sanchez, Sabogal y Sandra, Ximena. 2016.** *PAVIMENTO ASFÁLTICOS DE CARRETERAS: Guía práctica para los estudios y diseños.* Bogotá : Escuela colombiana de ingeniería , 2016. 9789588726250.
- 2010.** *SOLUCIONES E INNOVACIONES TECNOLÓGICAS DE MEJORAMIENTO DE VIAS DE BAJO TRÁNSITO.* s.l. : Corporación Andina de Fomento, 2010. 978-980-6810-49-5.
- Univesidad Agraria la Molina . 2013.** *MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DE LOS SERVICIOS DE ENSEÑANZA, INVESTIGACION, CAPACITACION Y PROYECCION SOCIAL DEL INSTITUTO DE BIOTECNOLOGIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA – LIMA.* Lima : s.n., 2013.
- Vanesa, Ortega López. 2011.** *APROVECHAMIENTO DE ESCORIAS BLANCAS (LFS) Y NEGRAS (EAFS) DE ACERÍA ELÉCTRICA EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS Y EN CAPAS DE FIRMES DE CAMINOS RURALES.* Burgos : Universidad de Burgos , 2011.
- Xavier, Elias. 2009.** *Valoración de residuos procedentes de grandes industrias .* España : Díaz de Santo , 2009. 9788479788353.

ANEXOS

ANEXO N° 1. Matriz de consistencia

TITULO: COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICION DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA EN 2016.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR
<p>PROBLEMA GENERAL:</p> <p>¿De qué manera influye la cantidad incrementada de escoria de altos en el comportamiento de subrasante en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina en el 2016?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL:</p> <p>Determinar cómo los suelos con adición de escoria de altos hornos influirán en el comportamiento de la subrasante en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina en el 2016.</p>	<p>HIPOTESIS GENERAL:</p> <p>Los suelos con adición de escoria de altos hornos influyen en el comportamiento de la subrasante en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina en el 2016.</p>	<p>Vi: Suelos con adición de escoria de altos hornos.</p>	<p>D1: Cantidad incrementada de escoria de altos hornos</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10% • 20% • 30% • 40% <p>D2: Características físicas del suelo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Granulometría • Limite liquido • Limite plástico 	
<p>PROBLEMAS ESPECIFICOS:</p> <p>¿De qué manera influye la cantidad incrementada de escoria de altos en el comportamiento de subrasante en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina en el 2016?</p>	<p>OBJETIVO ESPECÍFICOS:</p> <p>Determinar como la cantidad incrementada de escoria de altos hornos incidirá en el comportamiento de la subrasante en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina en el 2016.</p>	<p>HIPOTESIS ESPECIFICOS:</p> <p>La cantidad incrementada de escoria de altos hornos incide en el comportamiento de la subrasante en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina en el 2016.</p>		<p>D3: características mecánicas del suelo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contenido de humedad • Grado de saturación • Peso específico relativo 	
<p>¿De qué manera influye la intervención de las características físicas del suelo en el comportamiento de</p>	<p>Determinar como las características físicas del suelo intervendrán en el comportamiento de la</p>	<p>Al analizar las características físicas del suelo intervienen en el comportamiento de la subrasante en pavimentos</p>	<p>Vd: Comportamiento de la subrasante</p>	<p>D1: Deformaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ligero • Semi pesado • Pesado <p>D2: Diseño</p>	

ANEXO N° 2. Validación de instrumentos



VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

Proyecto de tesis : COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"
Investigador : Illary Ccoillo Inca **Fecha :** 16 / 09 / 2017

1.- ASPECTOS DE EVALUACIÓN

ITEM	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN					
		Validez nula	Validez baja	Válida	Muy válida	Excelente validez	Validez perfecta
		0.00-0.53	0.54-0.59	0.60-0.65	0.66-0.71	0.72-0.99	1.00
I	ASPECTOS GENERALES				0.71		
II	CANTIDAD INCREMENTADA DE ESCORIA DE ALTOS HORNOS					0.96	
III	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO						1.00
IV	CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL SUELO.						1.00
V	DEFORMACIONES					0.73	
VI	DISEÑO				0.70		
VII	RESISTENCIA						1.00

2.- PROMEDIO DE VALORACIÓN

VALOR PROMEDIO (%)	0,87
--------------------	------

3.- DATOS DEL EXPERTO

NOMBRES	Carlos Alberto	FIRMA: CARLOS ALBERTO BRAVO AGUILAR INGENIERO CIVIL Reg. del Colegio de Ingenieros N° 37303
APELLIDOS	Bravo Aguilar	
CIP N°	37303	
CENTRO LAB.	Universidad Agraria la Molina	
CEL./EMAIL		

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

Proyecto de tesis : COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"
Investigador : Ilary Ccoillo Inca **Fecha :** 17 / 04 / 2017


1.- ASPECTOS DE EVALUACIÓN

ITEM	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN					
		Validez nula 0.00-0.53	Validez baja 0.54-0.59	Válida 0.60-0.65	Muy válida 0.66-0.71	Excelente validez 0.72-0.99	Validez perfecta 1.00
I	ASPECTOS GENERALES					0.76	
II	CANTIDAD INCREMENTADA DE ESCORIA DE ALTOS HORNOS					0.99	
III	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO						1.00
IV	CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL SUELO.						1.00
V	DEFORMACIONES					0.98	
VI	DISEÑO					0.73	
VII	RESISTENCIA						0.99

2.- PROMEDIO DE VALORACIÓN

VALOR PROMEDIO (%)	0.92
--------------------	------

3.- DATOS DEL EXPERTO

NOMBRES	Hermes Alberto	FIRMA: 
APELLIDOS	Valdivia Aspilcueta	
CIP N°	23658	
CENTRO LAB.	lab. Mecanica de Suelos UNALM	
CEL./EMAIL	mecanicadesuelos_unalm@yahoo.com	

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

Proyecto de tesis : COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"
Investigador : Illary Ccoillo Inca **Fecha :** 04/10/2017

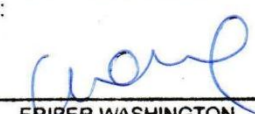
1.- ASPECTOS DE EVALUACIÓN

ITEM	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN					
		Validez nula	Validez baja	Válida	Muy válida	Excelente validez	Validez perfecta
		0.00-0.53	0.54-0.59	0.60-0.65	0.66-0.71	0.72-0.99	1.00
I	ASPECTOS GENERALES					0.90	
II	CANTIDAD INCREMENTADA DE ESCORIA DE ALTOS HORNOS					0.80	
III	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO						1.00
IV	CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL SUELO.						1.00
V	DEFORMACIONES					0.80	
VI	DISEÑO						1.00
VII	RESISTENCIA			0.60			

2.- PROMEDIO DE VALORACIÓN

VALOR PROMEDIO (%)	0.87
--------------------	------

3.- DATOS DEL EXPERTO

NOMBRES	Erber Washington	FIRMA:  ERIBER WASHINGTON ENCISO NAVARRO ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA Y GEOTECNIA Reg. CIP N° 146684
APELLIDOS	Enciso Navarro	
CIP N°	146684	
CENTRO LAB.	CIAL CONTRATISTAS SAC	
CEL./EMAIL	966100346 /xienciso@gmail.com	

ANEXO N° 3. Constancia del laboratorio de la Universidad Agraria la Molina



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA

DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL
Y CONSTRUCCIÓN



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

CONSTANCIA

El que suscribe Ing. Hermes Valdivia Aspilcueta, Jefe del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

CERTIFICA

Que el Sr. Illary Ccoillo Inca identificado con DNI N° 44753430, ha ejecutado los ensayos de laboratorio (Análisis granulométrico por tamizado, Ensayo C.B.R., Proctor modificado, peso específico, límites de consistencia y contenido de humedad), para el proyecto “COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA - 2016”.

El presente certificado se suscribe para los fines que el interesado crea conveniente.

La Molina, 26 de junio de 2017

Atentamente;

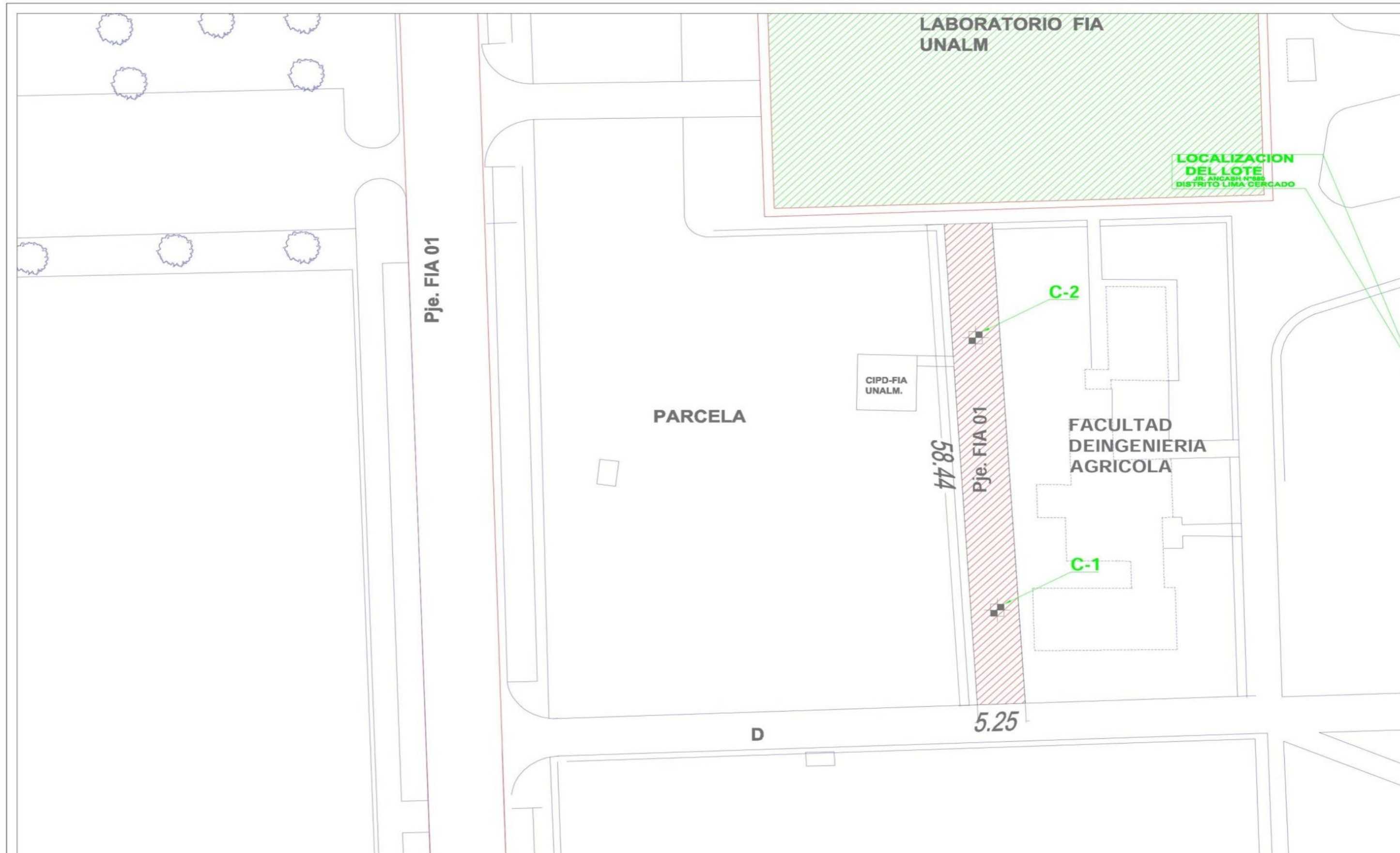


Ing. Hermes Valdivia Aspilcueta
Jefe del Laboratorio de Mecánica de Suelos
UNALM

ANEXO N° 4 Plano de ubicación general.



ANEXO N° 4.1 Plano de ubicación específico.



ANEXO N° 5. Panel fotográfico



FOTO 01: Vista panorámica del muestreo representativo de la escoria de acería de horno eléctrico.



FOTO 2: Vista panorámica de la zona de estudio donde se realizarán las calicatas correspondientes.



FOTO 3: Identificando la calicata C – 01 y determinando su profundidad.



FOTO 4: Identificando la calicata C – 02 y determinando su profundidad.



FOTO 5: Cuarteo del suelo natural para obtener una muestra representativa y realizar los ensayos respectivos.



FOTO 6: Realizando el cuarteo de la escoria para obtener una muestra representativa.



FOTO 7: Realizando los ensayos granulométricos de la escoria, fracción grueso y fracción fino.



FOTO 8: Realizando los ensayos granulométricos del suelo natural.



FOTO 9: Saturación de la muestra combinado con las proporciones de escoria para límite líquido y límite plástico pasante por la malla n° 40.



FOTO 10: Realizando los ensayos de límite líquido y límite plástico.



FOTO 11: Realizando el ensayo del peso específico de todas las muestras combinadas con las proporciones de escoria, pasante por la malla n° 4.



FOTO 12: Mezcla de las muestras de suelo con un porcentaje de agua para realizar el proctor modificado.



FOTO 13: En la imagen se aprecia agregando la última capa de muestra de suelo en el molde de 4 pulg. Del ensayo de proctor modificado.



FOTO 14: Realizando la compactación del ensayo CBR



FOTO 15: En la imagen se aprecia la saturación de las muestras y la lectura de la expansión del CBR.



FOTO 16: Colocación de las muestras de CBR en forma horizontal durante 15 min para luego ser realizado el ensayo de penetración.



FOTO 17: Realizando el ensayo de penetración.



FOTO 18: Muestras ensayadas después de la penetración de CBR.

ANEXO N° 6 Perfil estratigráfico de la excavación de calicatas.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DCR-LMS /2017

PERFIL ESTRATIGRÁFICO

Proyecto de : "COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA tesis UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"

Ubicación : Pje CIPD – FIA-UNALM, Distrito la Molina, Poviancia Lima, Departamento Lima

Calicata : C - 01

Coordenadas N : 8663748.0

Profundidad : 1.50 m

E : 287787.0

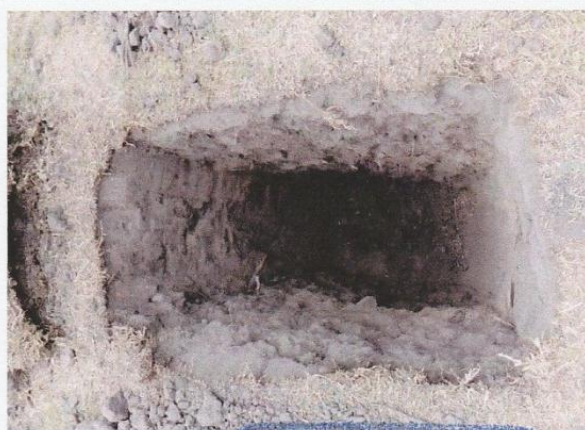
Muestra : M - 1

Z : 251.0

Fecha : 15/03/2017

Realizado por : Illary Ccoillo I.

PROF. (m)	MUESTRA	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm ³)		GRÁFICO	SUCS	AASHTO	DESCRIPCIÓN
			Dh	Ds				
0.00	-	-	-	-		-	-	0.00 - 0.20 m. Relleno de material limo arenoso húmedo, color marrón con presencia de raíces y gravillas angulosas aisladas (Suelo orgánico)
0.20								
0.40								
0.60								
0.80	M-1	6.62	1.82	1.71		CL con arena	A-6 (7)	0.20 - 1.50 m. Arcilla de mediana plasticidad con arena, color marrón claro, con humedad media, medianamente denso, con gravas aisladas de tamaño máximo a 3/4".
1.00								
1.20								
1.40								
1.50								



Ing. Hermes Valdivia Aspícueta
Jefe del Lab. De Mec. De Suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES

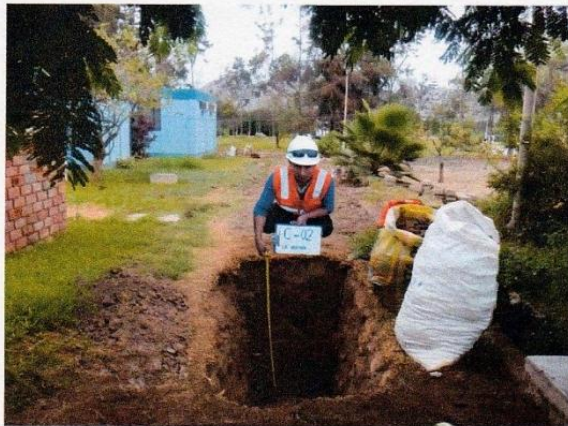
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DCR-LMS /2017

PERFIL ESTRATIGRÁFICO

Proyecto de tesis : "COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"
Ubicación : Pje CIPD – FIA-UNALM, Distrito la Molina, Poviancia Lima, Departamento Lima
Calicata : C - 02 **COORDENADAS** N : 8663714.9
Profundidad : 1.50 m E : 287789.4
Muestra : M - 1 Z : 251.5
Fecha : 15/03/2017 **Realizado por** : Illary Ccoillo I.

(m)	PROF.	MUESTRA	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm ³)		GRÁFICO	SUCS	AASHTO	DESCRIPCIÓN
				Dh	Ds				
0.00		-	-	-	-	[Gráfico de arena]	-	-	0.00 - 0.20 m. Relleno de material limo arenoso húmedo, color marrón con presencia de raíces y gravillas angulosas aisladas (Suelo orgánico)
0.20						[Gráfico de arcilla]			
0.40						[Gráfico de arcilla]			
0.60						[Gráfico de arcilla]			
0.80		M-1	7.05	1.81	1.69	[Gráfico de arcilla]	CL con arena	A-6 (7)	0.20 - 1.50 m. Arcilla de mediana plasticidad con arena, color marrón claro, con humedad media, medianamente denso, con gravas aisladas de tamaño máximo a 3/8".
1.00						[Gráfico de arcilla]			
1.20						[Gráfico de arcilla]			
1.40						[Gráfico de arcilla]			
1.50						[Gráfico de arcilla]			



Ing. Hermes Valdivia Asplicueta
 Jefe del Lab. De Mec. De Suelos

ANEXO N° 7 Certificados de laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y

DESARROLLO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DOT-DS-LMS/2017

FICHA DE RECOPIACION DE DATOS

Proyecto de tesis : "COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"

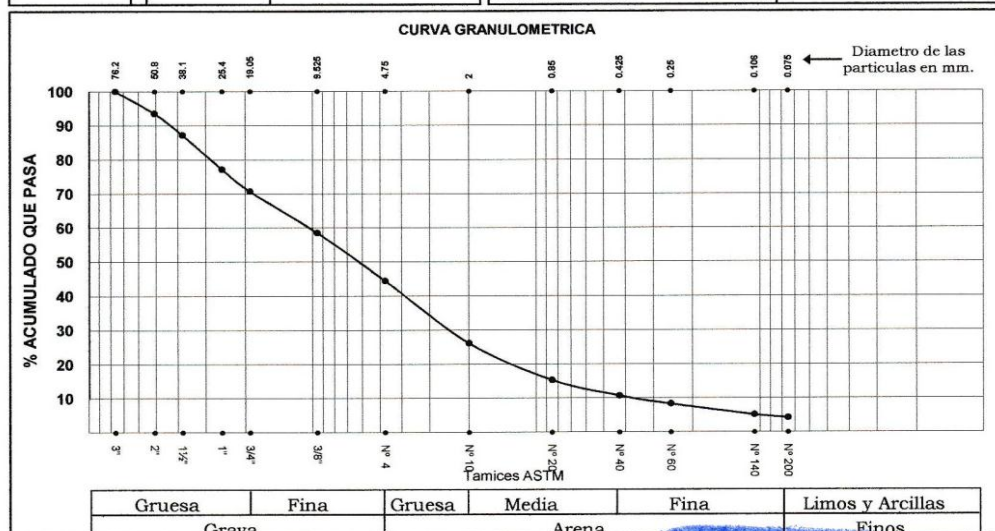
Ubicación : Corporación Aceros Arequipa km 234 Panamericana Sur, Provincia: Pisco, Departamento: Ica

Muestra : Escoria natural

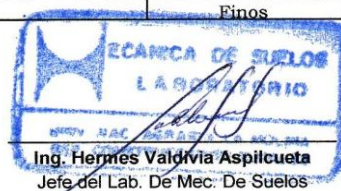
Calicata : - **Fecha** : 22/04/2017

Profundidad : Representativo **Realizado por** : Illary Ccoillo I.

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO NTP 339.128 / ASTM - D 422			LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM - D 427 / D 4318	
MALLA	ABERTURA mm.	% QUE PASA	ASTM - D 427 / D 4318	
3"	76.20	100.0	Limite liquido (%)	24.99
2"	50.80	93.5	Limite plastico (%)	NP
1 1/2"	38.10	87.2	Indice plastico (%)	NP
1"	25.40	77.2	Resultados: ASTM - D 2487 / D 3282	
3/4"	19.05	70.7	Coefficiente de :	
3/8"	9.525	58.5	-Uniformidad	27.80
N° 4	4.750	44.4	-Curvatura	3.02
N° 10	2.000	26.2	Material :	
N° 20	0.850	15.3	-Grava %	56
N° 40	0.425	10.7	-Arena %	40
N° 60	0.250	8.3	-Finos %	4
N° 140	0.106	5.1	Clasificacion :	
N° 200	0.075	4.2	-AASHTO	A-1a (0)
			-SUCS	GP con arena
			Nombre de grupo:	
			CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D 2216	
			Humedad natural (%)	0.58



NOTA:





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DCR-LMS /2017

DETERMINACIÓN DE PESO ESPECÍFICO - NTP 339.131

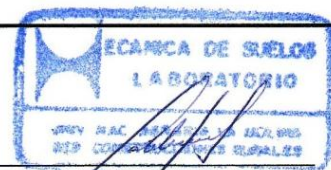
Proyecto de tesis	"COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"		
Ubicación	Corporación Aceros Arequipa km 234 Panamericana Sur, Provincia: Pisco, Departamento: Ica		
Muestra	Escoria natural		
Calicata	: -	Fecha	: 21/04/2017
Profundidad	: Representativo	Realizado por	: Illary Ccoillo I.

Ensayo	1	2	3	
N° fiola	14	6	4	
Peso suelo seco	50.00	50.00	50.00	
Temp °C	29.9	30.4	30.5	
Peso fiola + agua + suelo	704.91	699.27	696.11	
Peso fiola + agua	669.34	663.55	660.33	
Peso espespecifico	3.465	3.501	3.516	
Peso espespecifico promedio	3.494			

$Pe = \frac{Wsseco}{Wsseco + (Wfa - Wfas)}$:	3.494
---	---	-------

Donde :
 Peso suelo seco (Wsseco)
 Peso fiola + agua (Wfa)
 Peso fiola + agua + suelo (Wfas)
 Peso espespecifico (Pe)

OBSERVACIONES



Ing. Hermes Valdivia Aspilcueta
 Jefe del Lab. De Mec. De Suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y

DESARROLLO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DOT-DS-LMS/2017

FICHA DE RECOPIACION DE DATOS

Proyecto de tesis : "COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"

Ubicación : Pje CIPD – FIA-UNALM, Distrito la Molina, Poviancia Lima, Departamento Lima

Muestra : Suelo natural

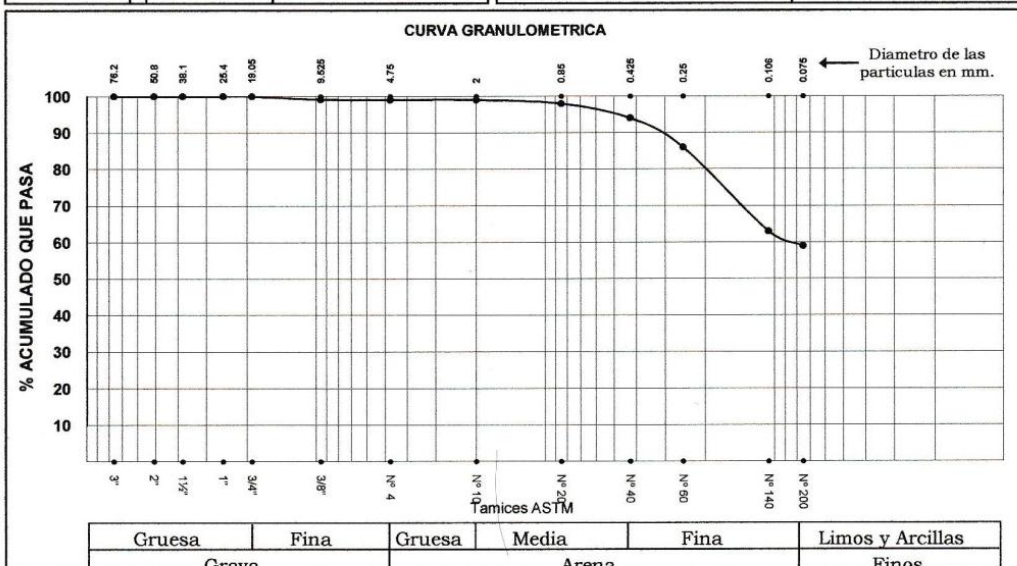
Calicata : C - 02

Fecha : 20/04/2017

Profundidad : 0.20 - 1.50 m

Realizado por : Illyary Ccoillo I.

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO NTP 339.128 / ASTM - D 422			LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM - D 427 / D 4318	
MALLA	ABERTURA mm.	% QUE PASA	Limite liquido (%)	31.74
3"	76.20		Limite plastico (%)	17.61
2"	50.80		Indice plastico (%)	14.13
1 1/2"	38.10		Resultados: ASTM - D 2487 / D 3282	
1"	25.40		Coefficiente de :	
3/4"	19.05	100.0	-Uniformidad	
3/8"	9.525	99.2	-Curvatura	
Nº 4	4.750	99.0	Material :	
Nº 10	2.000	99.0	-Grava %	1
Nº 20	0.850	98.0	-Arena %	40
Nº 40	0.425	94.0	-Finos %	59
Nº 60	0.250	86.0	Clasificacion :	
Nº 140	0.106	63.0	-AASHTO	A-6 (6)
Nº 200	0.075	59.0	-SUCS	CL arenoso
			Nombre de grupo:	
CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D 2216				
			Humedad natural (%)	7.05



NOTA:





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DCR-LMS /2017

**ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG
NTP. 339.129 (ASTM D4318)**

Proyecto de tesis : "COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"

Ubicación : Pje CIPD – FIA-UNALM, Distrito la Molina, Póvncia Lima, Departamento Lima

Muestra : Suelo natural

Profundidad : 0.20 - 1.50 m **Realizado por** : **Illary Ccoillo I.**

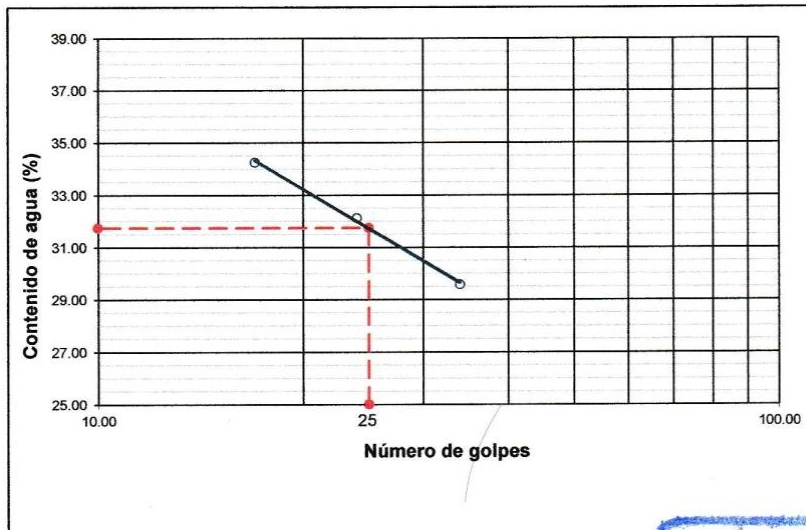
Calicata : C - 02 **Fecha** : **21/04/2017**

LÍMITE LÍQUIDO

ENSAYO	NUMERO DE GOLPES	PESO TARA (gr.)	PESO TARA +SUELO HUMEDO (gr.)	PESO TARA +SUELO SECO (gr.)	PESO DE AGUA (gr.)	PESO DE SUELO SECO (gr.)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	34.00	12.34	36.52	31.00	5.52	18.66	29.58
2	24.00	11.17	39.87	32.89	6.98	21.72	32.14
3	17.00	13.20	29.66	25.46	4.20	12.26	34.26

LÍMITE PLÁSTICO

ENSAYO	MASA DEL VIDRIO (gr.)	MASA DE VIDRIO +SUELO HUMEDO (gr.)	MASA DE VIDRO MAS SUELO SECO (gr.)	MASA DE AGUA (gr.)	MASA DEL SUELO SECO (gr.)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	15.43	43.56	39.36	4.20	23.93	17.55
2	9.65	42.23	37.34	4.89	27.69	17.66



LL =	31.74
LP =	17.61
IP =	14.13



ING. HERMES VALDIVIA ASPILCUETA
JEFE DEL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y

DESARROLLO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DOT-DS-LMS/2017

FICHA DE RECOPIACION DE DATOS

Proyecto de tesis : "COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"

Ubicación : Pje CIPD – FIA-UNALM, Distrito la Molina, Poviancia Lima, Departamento Lima

Muestra : Suelo natural

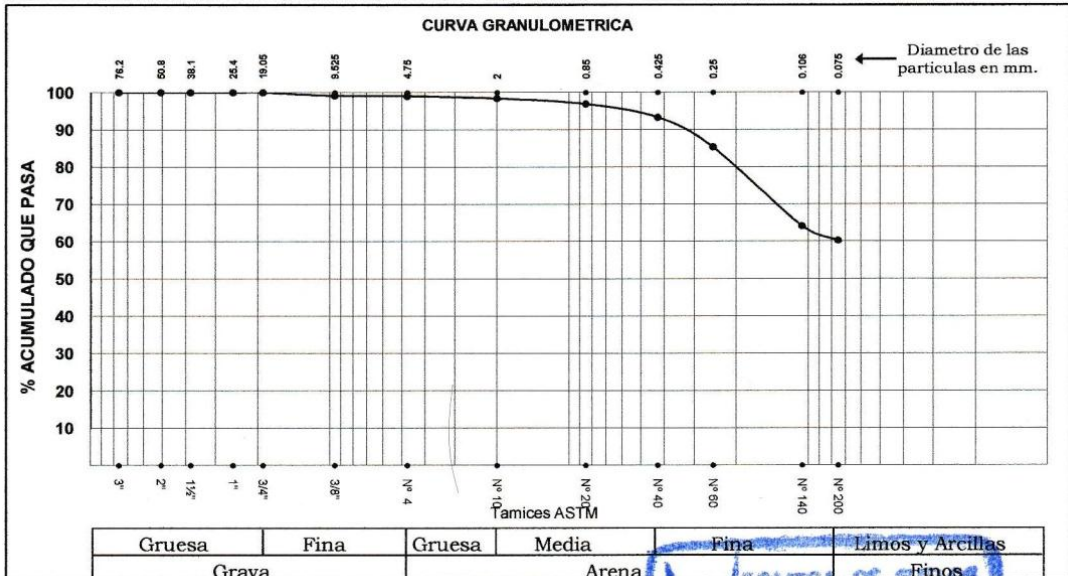
Calicata : C - 01

Fecha : 20/04/2017

Profundidad : 0.20 - 1.50 m

Realizado por : Illary Ccoillo I.

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO NTP 339.128 / ASTM - D 422			LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM - D 427 / D 4318	
MALLA	ABERTURA mm.	% QUE PASA	ASTM - D 427 / D 4318	
3"	76.20		Limite liquido (%)	29.61
2"	50.80		Limite plastico (%)	18.15
1 1/2"	38.10		Indice plastico (%)	11.46
1"	25.40		Resultados: ASTM - D 2487 / D 3282	
3/4"	19.05	100.0	Coefficiente de :	
3/8"	9.525	99.2	-Uniformidad	
Nº 4	4.750	99.0	-Curvatura	
Nº 10	2.000	98.4	Material :	
Nº 20	0.850	96.9	-Grava (%)	1
Nº 40	0.425	93.3	-Arena (%)	39
Nº 60	0.250	85.3	-Finos (%)	60
Nº 140	0.106	64.1	Clasificacion :	
Nº 200	0.075	60.2	-AASHTO	A-6 (6)
			-SUCS	CL arenoso
			Nombre de grupo:	
			CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D 2216	
			Humedad natural (%)	6.62



NOTA:

Ing. Hermes Valdivia Aspilcueta
 Jefe del Lab. De Mec. De Suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DCR-LMS /2017

**ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG
NTP. 339.129 (ASTM D4318)**

Proyecto de tesis : "COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"

Ubicación : Pje CIPD – FIA-UNALM, Distrito la Molina, Poviancia Lima, Departamento Lima

Muestra : Suelo natural

Profundidad : 0.20 - 1.50 m **Realizado por** : **Ilary Ccoillo I.**

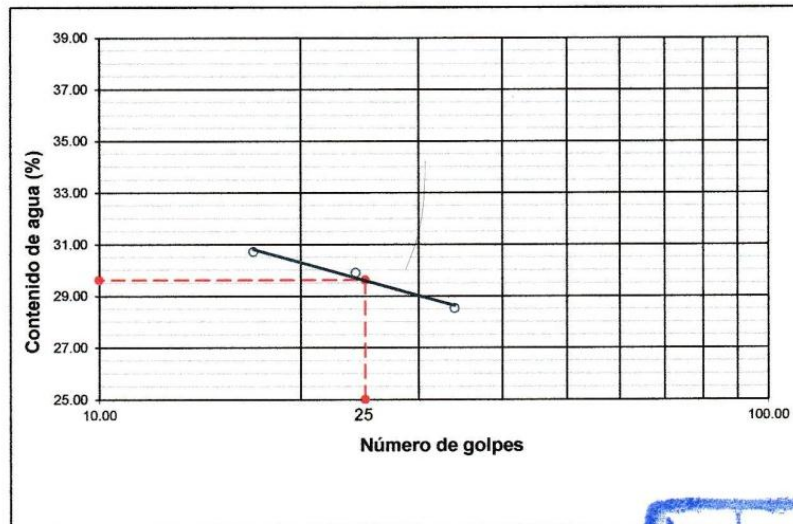
Calicata : C - 01 **Fecha** : 21/04/2017

LÍMITE LÍQUIDO

ENSAYO	NUMERO DE GOLPES	PESO TARA (gr.)	PESO TARA +SUELO HUMEDO (gr.)	PESO TARA +SUELO SECO (gr.)	PESO DE AGUA (gr.)	PESO DE SUELO SECO (gr.)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	34.00	6.98	39.55	32.32	7.23	25.34	28.53
2	24.17	9.77	41.53	34.22	7.31	24.45	29.90
3	17.00	8.72	40.17	32.78	7.39	24.06	30.71

LÍMITE PLÁSTICO

ENSAYO	MASA DEL VIDRIO (gr.)	MASA DE VIDRIO +SUELO HUMEDO (gr.)	MASA DE VIDRIO MAS SUELO SECO (gr.)	MASA DE AGUA (gr.)	MASA DEL SUELO SECO (gr.)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	13.01	53.01	46.91	6.10	33.90	17.99
2	12.04	49.77	43.93	5.84	31.89	18.31



LL = 29.61

LP = 18.15

IP = 11.46



ING. HERMES VALDIVIA ASPILCUETA
JEFE DEL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DCR-LMS /2017

DETERMINACIÓN DE PESO ESPECÍFICO - NTP 339.131

Proyecto de tesis	: "COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"		
Ubicación	: Pje CIPD – FIA-L Distrito la Molina, Poviaia Lima, Departamento Lima		
Muestra	: Suelo natural		
Profundidad	: 0.20 - 1.50 m	Realizado por	: Illary Ccoillo I.
Calicata	: C - 01	Fecha	: 21/04/2017

Ensayo	1	2	3	
N° fiola	14	4	6	
Peso suelo seco	50.00	50.00	50.00	
Temp °C	30.0	30.0	30.1	
Peso fiola + agua + suelo	701.39	692.47	695.73	
Peso fiola + agua	669.34	660.42	663.6	
Peso especifico	2.786	2.786	2.798	
Peso especifico promedio	2.790			

$Pe = \frac{Wsseco}{Wsseco + (Wfa - Wfas)}$:	2.790
---	---	-------

Donde :
 Peso suelo seco (Wsseco)
 Peso fiola + agua (Wfa)
 Peso fiola + agua + suelo (Wfas)
 Peso especifico (Pe)

OBSERVACIONES



Ing. Hermes Valdivia Aspilcueta
 Jefe del Lab. De Mec. De Suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y

DESARROLLO SOSTENIBLE

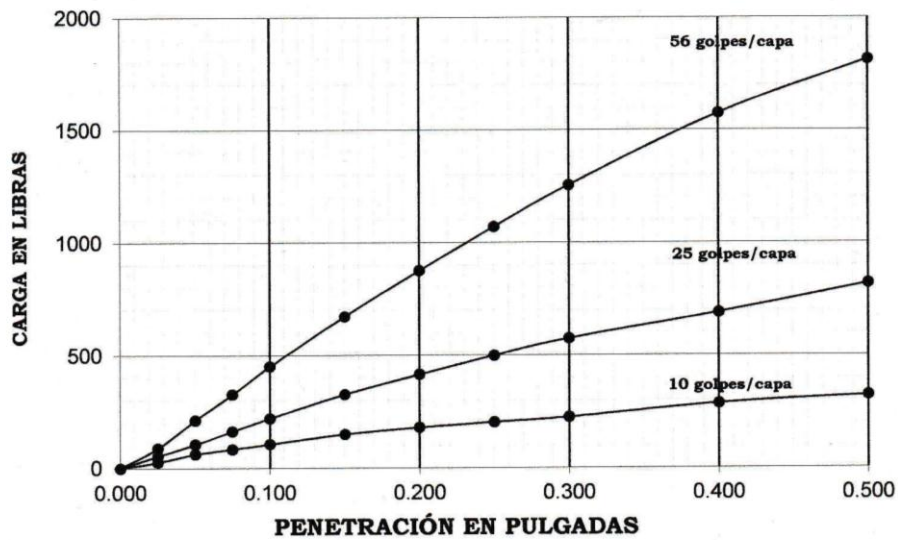
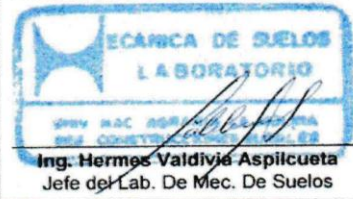
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO DE C.B.R. ASTM D - 1883

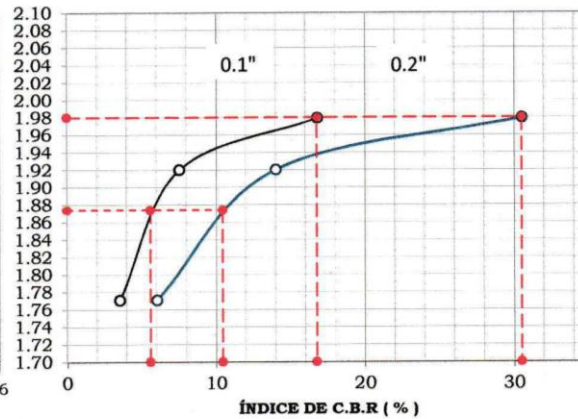
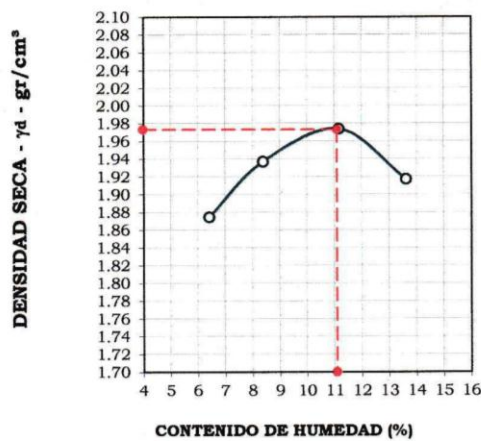
FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS

Proyecto de tesis : "COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016" Ubicación : Pje CIPD – FIA-UNALM, Distrito la Molina, Poviancia Lima, Departamento Lima Calicata : C - 01 Muestra : Suelo natural Profundidad : 0.20 - 1.50 m	Expediente: DOT-DS-LMS/2016 Realizado por : Ilary Ccoillo I. Fecha: 24/04/2017
--	--

Densidad Seca Máxima	:	1.973	gr/cm ³
Humedad Óptima	:	11.10	%
C.B.R. 0.1" - 95 % D.S.M.	:	5.61	%
C.B.R. 0.1" - 100 % D.S.M.	:	16.78	%
C.B.R. 0.2" - 95 % D.S.M.	:	10.48	%
C.B.R. 0.2" - 100 % D.S.M.	:	30.54	%
Expansión	:	1.461	%



Proctor Modificado MTC - 115 - 2000 "A"





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y

DESARROLLO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

DOT-DS-LMS/2017

FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS

Proyecto de tesis : "COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"

Ubicación : Pje CIPD – FIA-UNALM, Distrito la Molina, Poviancia Lima, Departamento Lima

Muestra : 10 % de escoria

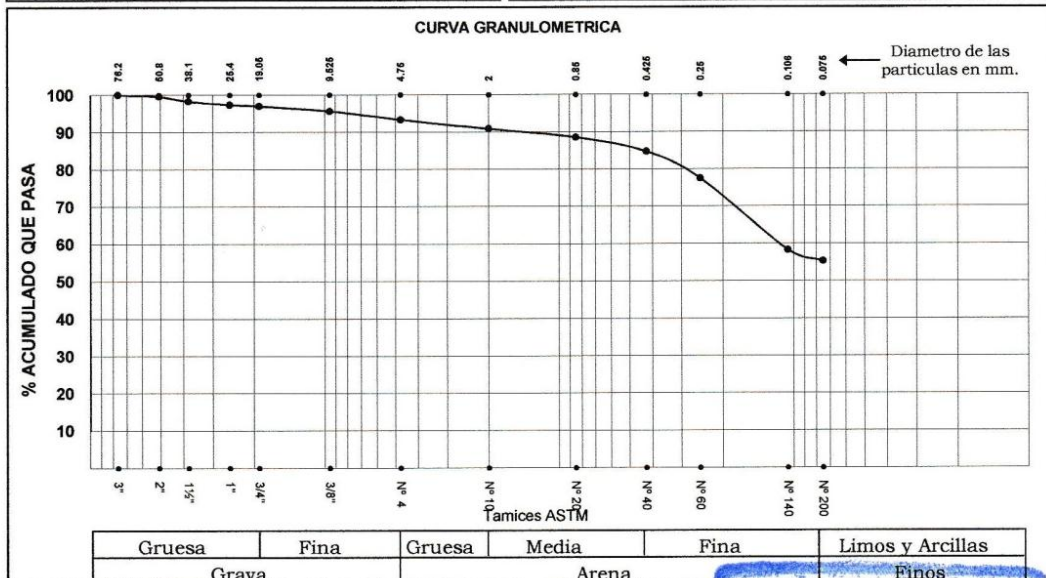
Calicata : C - 01

Realizado por : Illary Ccoillo I.

Profundidad : 0.20 - 1.50 m

Fecha : 25-04-17

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO NTP 339.128 / ASTM - D 422			LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM - D 427 / D 4318	
MALLA	ABERTURA mm.	% QUE PASA	Limite líquido (%)	29.37
3"	76.20	100.0	Limite plastico (%)	18.76
2"	50.80	99.6	Indice plastico (%)	10.61
1 1/2"	38.10	98.3	Resultados: ASTM - D 2487 / D 3282	
1"	25.40	97.3	Coeficiente de :	
3/4"	19.05	97.0	-Uniformidad	
3/8"	9.525	95.6	-Curvatura	
Nº 4	4.750	93.4	Material :	
Nº 10	2.000	90.9	-Grava %	7
Nº 20	0.850	88.6	-Arena %	38
Nº 40	0.425	84.7	-Finos %	55
Nº 60	0.250	77.5	Clasificación :	
Nº 140	0.106	58.3	-AASHTO	A-6 (4)
Nº 200	0.075	55.3	-SUCS	CL arenoso
Nombre de grupo:				
CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D 2216				
Humedad natural (%)				1.14



NOTA:

Ing. Hermes Valdivia Aspilueta
 Jefe del Lab. De Mec: De Suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DCR-LMS /2017

**ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG
NTP. 339.129 (ASTM D4318)**

Proyecto de tesis : "COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"

Ubicación : Pje CIPD – FIA-UNALM, Distrito la Molina, Poviancia Lima, Departamento Lima

Muestra : 10 % de escoria

Profundidad : 0.20 - 1.50 m

Realizado por : Illary Ccoillo I.

Calicata : C - 01

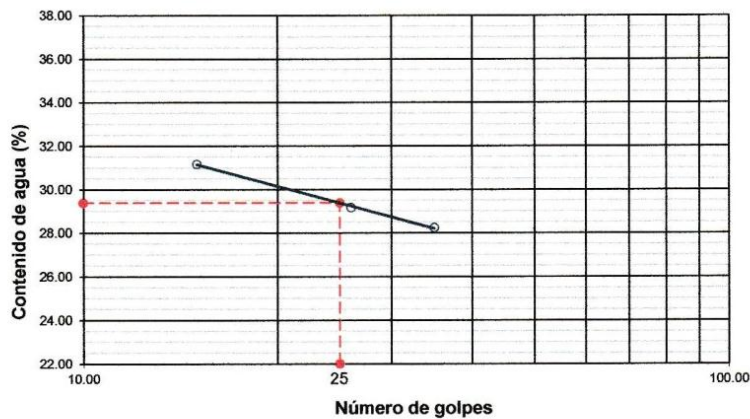
Fecha : 26/04/2017

LÍMITE LÍQUIDO

ENSAYO	NUMERO DE GOLPES	PESO TARA (gr.)	PESO TARA +SUELO HUMEDO (gr.)	PESO TARA +SUELO SECO (gr.)	PESO DE AGUA (gr.)	PESO DE SUELO SECO (gr.)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	35.00	7.94	39.63	32.65	6.98	24.71	28.25
2	26.00	6.08	34.33	27.95	6.38	21.87	29.17
3	15.00	10.59	38.53	31.89	6.64	21.30	31.17

LÍMITE PLÁSTICO

ENSAYO	MASA DEL VIDRIO (gr.)	MASA DE VIDRIO +SUELO HUMEDO (gr.)	MASA DE VIDRO MAS SUELO SECO (gr.)	MASA DE AGUA (gr.)	MASA DEL SUELO SECO (gr.)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	18.95	48.45	43.82	4.63	24.87	18.62
2	19.45	51.33	46.26	5.07	26.81	18.91



LL = 29.37

LP = 18.76

IP = 10.61



ING. HERMES VALDIVIA ASPILCUETA
JEFE DEL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
DCR-LMS /2017

DETERMINACIÓN DE PESO ESPECÍFICO - NTP 339.131

Proyecto de tesis	"COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"		
Ubicación	: Pje CIPD – FIA-UNALM, Distrito la Molina, Poviancia Lima, Departamento Lima		
Muestra	: 10 % de escoria		
Profundidad	: 0.20 - 1.50 m	Realizado por	: Illary Ccoillo I.
Calicata	: C - 01	Fecha	: 04/05/2017

Ensayo	1	2	3	
N° fiola	14	4	6	
Peso suelo seco	50.00	50.00	50.00	
Temp °C	24.7	24.6	24.5	
Peso fiola + agua + suelo	702.33	693.52	696.57	
Peso fiola + agua	670.03	661.23	664.3	
Peso espezifico	2.825	2.823	2.820	
Peso espezifico promedio	2.823			

$Pe = \frac{Wsseco}{Wsseco + (Wfa - Wfas)}$:	2.823
---	---	--------------

Donde :
 Peso suelo seco (Wsseco)
 Peso fiola + agua (Wfa)
 Peso fiola + agua + suelo (Wfas)
 Peso espezifico (Pe)

OBSERVACIONES



Ing. Hermés Valdivia Aspilcueta
Jefe del Lab. De Mec. De Suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y

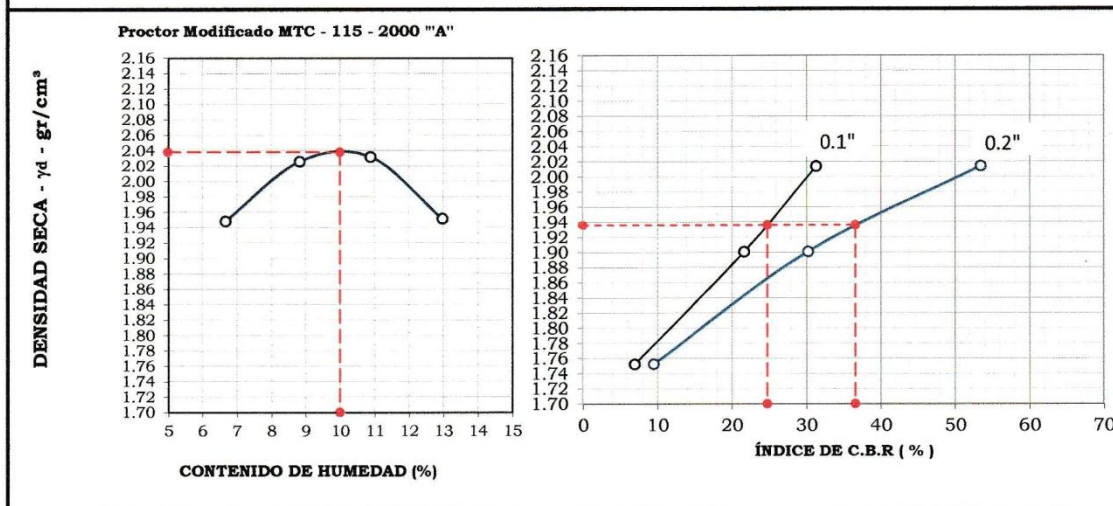
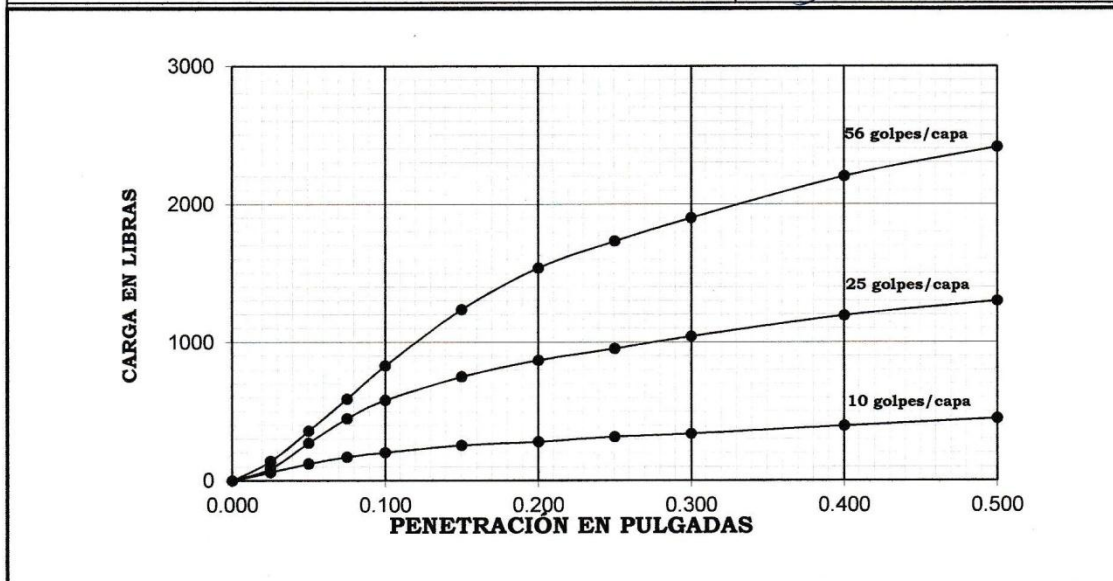
DESARROLLO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO DE C.B.R. ASTM D - 1883

FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS		
Proyecto de tesis	"COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"	Expediente: DOT-DS-LMS/2016
Ubicación	Pje CIPD – FIA-UNALM, Distrito la Molina, Poviancia Lima, Departamento Lima	Realizado por : Ilary Ccoillo I.
Calicata	C - 01	Fecha: 02/05/2017
Muestra	10 % de escoria Profundidad : 0.20 - 1.50 m	

Densidad Seca Máxima	:	2.038 gr/cm ³	
Humedad Óptima	:	10.00 %	
C.B.R. 0.1" - 95 % D.S.M.	:	24.80 %	
C.B.R. 0.1" - 100 % D.S.M.	:	31.24 %	
C.B.R. 0.2" - 95 % D.S.M.	:	36.65 %	
C.B.R. 0.2" - 100 % D.S.M.	:	53.46 %	
Expansión	:	1.191 %	





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y

DESARROLLO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DOT-DS-LMS/2017

FICHA DE RECOPIACION DE DATOS

Proyecto de tesis : "COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"

Ubicación : Pje CIPD – FIA-UNALM, Distrito la Molina, Póvincia Lima, Departamento Lima

Muestra : 20 % de escoria

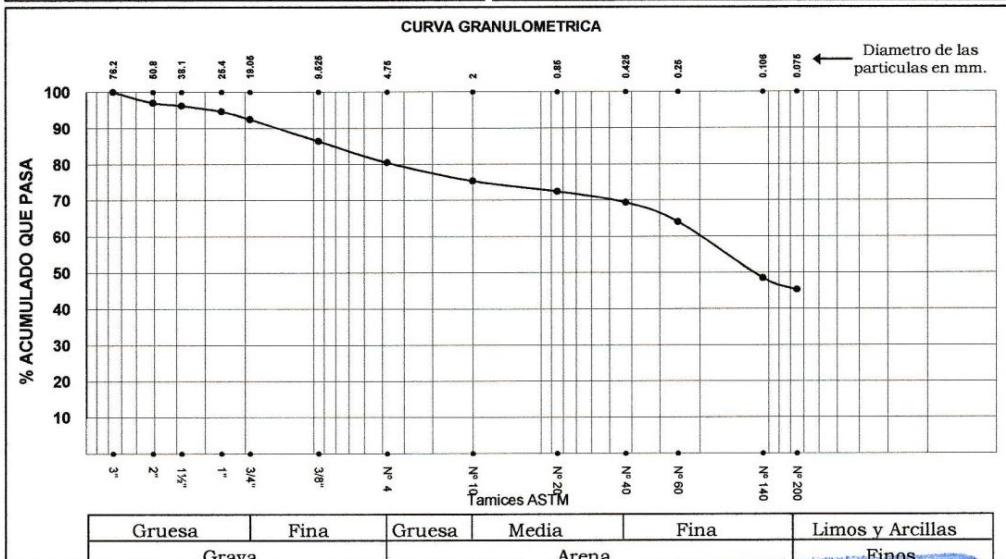
Calicata : C - 01

Realizado por : Illary Ccoillo I.

Profundidad : 0.20 - 1.50 m

Fecha : 28/04/2017

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO NTP 339.128 / ASTM - D 422			LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM - D 427 / D 4318	
MALLA	ABERTURA mm.	% QUE PASA	Limite liquido (%)	28.50
3"	76.20	100.0	Limite plastico (%)	19.21
2"	50.80	97.0	Indice plastico (%)	9.29
1 1/2"	38.10	96.2	Resultados: ASTM - D 2487 / D 3282	
1"	25.40	94.6	Coefficiente de:	
3/4"	19.05	92.5	-Uniformidad	
3/8"	9.525	86.4	-Curvatura	
Nº 4	4.750	80.5	Material:	
Nº 10	2.000	75.4	-Grava %	19
Nº 20	0.850	72.5	-Arena %	35
Nº 40	0.425	69.4	-Finos %	45
Nº 60	0.250	64.0	Clasificacion:	
Nº 140	0.106	48.4	-AASHTO	A-4 (2)
Nº 200	0.075	45.2	-SUCS	SC con grava
Nombre de grupo:				
CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D 2216				
Humedad natural (%)			1.75	



NOTA:

Ing. Hermes Valdivia Asplicueta
 Jefe del Lab. De Mec. De Suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DCR-LMS /2017

**ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG
NTP. 339.129 (ASTM D4318)**

Proyecto de tesis : "COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"

Ubicación : Pje CIPD – FIA-UNALM, Distrito la Molina, Poviancia Lima, Departamento Lima

Muestra : 20 % de escoria

Profundidad : 0.20 - 1.50 m

Realizado por : Illary Ccoillo I.

Calicata : C - 01

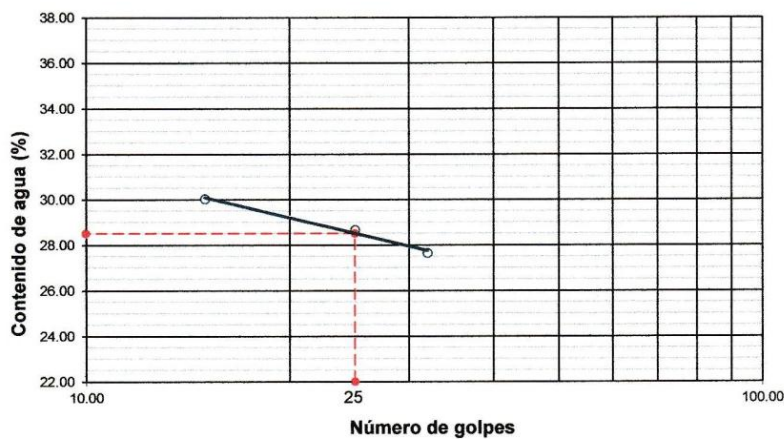
Fecha : 29/04/2017

LÍMITE LÍQUIDO

ENSAYO	NUMERO DE GOLPES	PESO TARA (gr.)	PESO TARA +SUELO HUMEDO (gr.)	PESO TARA +SUELO SECO (gr.)	PESO DE AGUA (gr.)	PESO DE SUELO SECO (gr.)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	32.00	6.50	34.20	28.20	6.00	21.70	27.65
2	25.00	4.01	33.41	26.86	6.55	22.85	28.67
3	15.00	6.51	33.27	27.09	6.18	20.58	30.03

LÍMITE PLÁSTICO

ENSAYO	MASA DEL VIDRIO (gr.)	MASA DE VIDRIO +SUELO HUMEDO (gr.)	MASA DE VIDRO MAS SUELO SECO (gr.)	MASA DE AGUA (gr.)	MASA DEL SUELO SECO (gr.)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	13.11	67.56	58.81	8.75	45.70	19.15
2	21.48	45.98	42.02	3.96	20.54	19.28



LL = 28.50
LP = 19.21
IP = 9.29



ING. HERMÉS VALDIVIA ASPILCUETA
JEFE DEL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DCR-LMS /2017

DETERMINACIÓN DE PESO ESPECÍFICO - NTP 339.131

Proyecto de tesis	"COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"		
Ubicación	: Pje CIPD – FIA-UNALM, Distrito la Molina, Poviancia Lima, Departamento Lima		
Muestra	: 20 % de escoria		
Profundidad	: 0.20 - 1.50 m	Realizado por	: Illary Ccoillo I.
Calicata	: C - 01	Fecha	: 04/05/2017

Ensayo	1	2	3	
N° fiola	14	4	6	
Peso suelo seco	50.00	50.00	50.00	
Temp °C	28.1	28.0	28.4	
Peso fiola + agua + suelo	702.11	693.03	696.26	
Peso fiola + agua	669.62	660.76	663.83	
Peso especifico	2.856	2.820	2.846	
Peso especifico promedio	2.840			

$$Pe = \frac{Wsseco}{Wsseco + (Wfa - Wfas)} : 2.840$$

Donde :
Peso suelo seco (Wsseco)
Peso fiola + agua (Wfa)
Peso fiola + agua + suelo (Wfas)
Peso especifico (Pe)

OBSERVACIONES

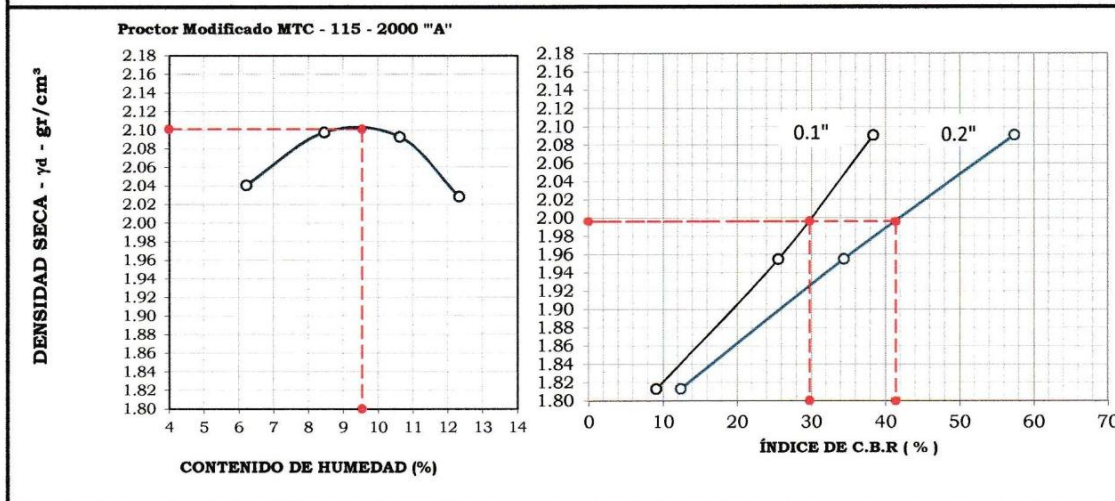
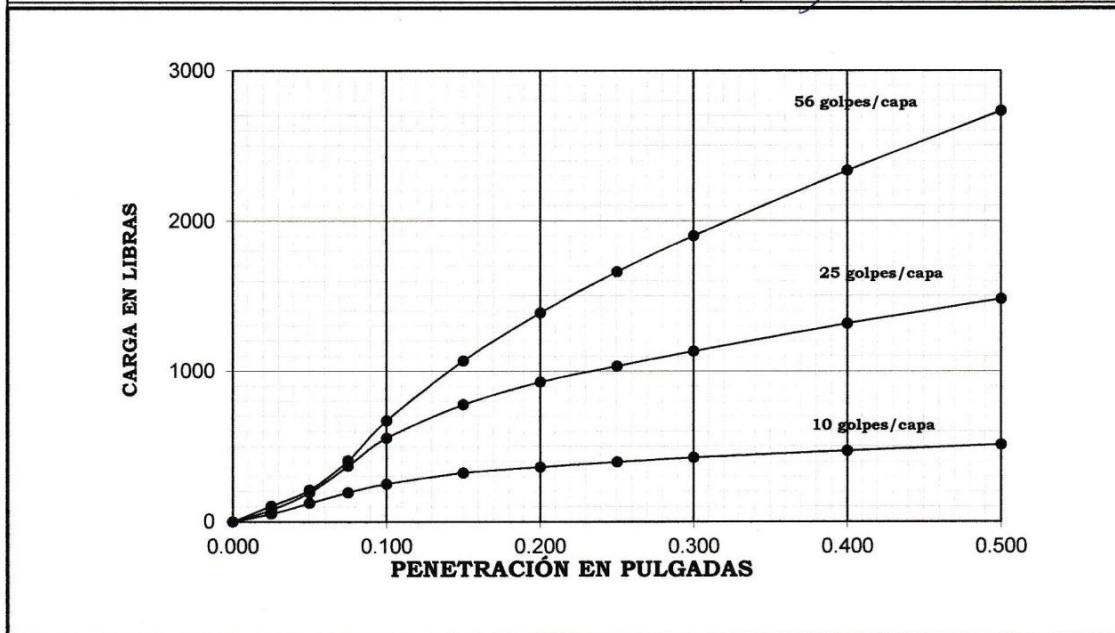


Ing. Hermes Valdivia Aspilcueta
Jefe del Lab. De Mec. De Suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y
 DESARROLLO SOSTENIBLE
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
ENSAYO DE C.B.R. ASTM D - 1883

FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS			
Proyecto de tesis :	"COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"	Expediente:	DOT-DS-LMS/2016
Ubicación :	Pje CIPD – FIA-UNALM, Distrito la Molina, Poviancia Lima, Departamento Lima	Realizado por :	Ilary Ccoillo I.
Calicata :	C - 01	Fecha:	07/05/2017
Muestra :	20 % de escoria Profundidad : 0.20 - 1.50 m		
Densidad Seca Máxima :	2.101 gr/cm ³		
Humedad Óptima :	9.55 %		
C.B.R. 0.1" - 95 % D.S.M. :	29.82 %		
C.B.R. 0.1" - 100 % D.S.M. :	38.32 %		
C.B.R. 0.2" - 95 % D.S.M. :	41.44 %		
C.B.R. 0.2" - 100 % D.S.M. :	57.42 %		
Expansión :	1.007 %		





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y

DESARROLLO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DOT-DS-LMS/2017

FICHA DE RECOPIACION DE DATOS

Proyecto de tesis : "COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"

Ubicación : Pje CIPD – FIA-UNALM, Distrito la Molina, Povinaia Lima, Departamento Lima

Muestra : 30 % de escoria

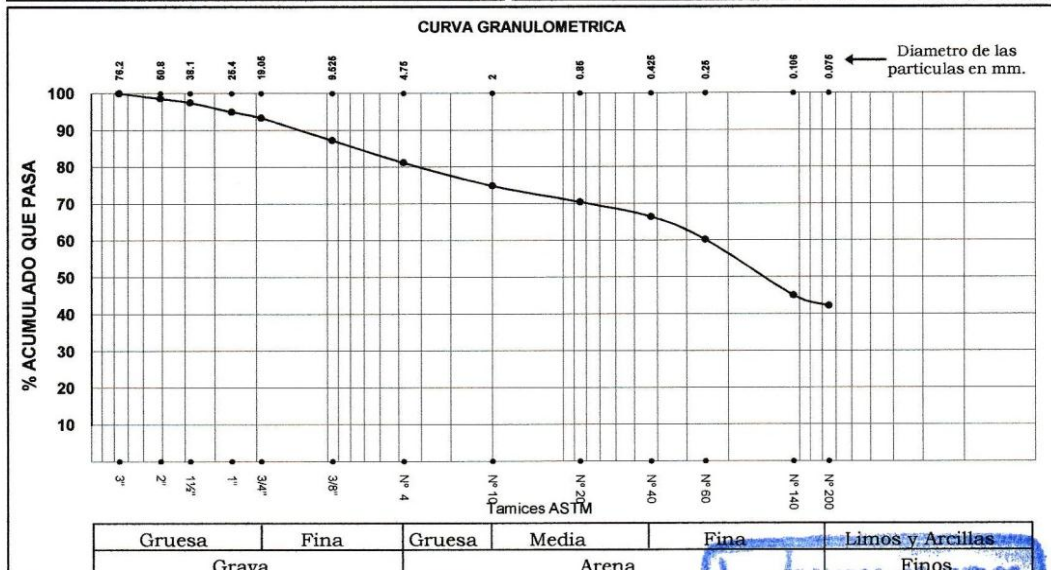
Calicata : C - 01

Realizado por : Illary Ccoillo I.

Profundidad : 0.20 - 1.50 m

Fecha : 29/04/2017

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO NTP 339.128 / ASTM - D 422			LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM - D 427 / D 4318	
MALLA	ABERTURA mm.	% QUE PASA	Limite liquido (%)	27.84
3"	76.20	100.0	Limite plastico (%)	20.08
2"	50.80	98.6	Indice plastico (%)	7.76
1 1/2"	38.10	97.4	Resultados: ASTM - D 2487 / D 3282	
1"	25.40	95.0	Coeficiente de:	
3/4"	19.05	93.3	-Uniformidad	
3/8"	9.525	87.2	-Curvatura	
Nº 4	4.750	81.2	Material:	
Nº 10	2.000	74.9	-Grava %	19
Nº 20	0.850	70.4	-Arena %	39
Nº 40	0.425	66.4	-Finos %	42
Nº 60	0.250	60.2	Clasificacion:	
Nº 140	0.106	45.0	-AASHTO	A-4 (1)
Nº 200	0.075	42.2	-SUCS	SC con grava
			Nombre de grupo:	
CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D 2216				
			Humedad natural (%)	0.95



NOTA:



Ing. Hermes Valdivia Aspilcueta
Jefe del Lab. De Mec. De Suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DCR-LMS /2017

**ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG
NTP. 339.129 (ASTM D4318)**

Proyecto de tesis : "COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"

Ubicación : Pje CIPD – FIA-UNALM, Distrito la Molina, Poviancia Lima, Departamento Lima

Muestra : 30 % de escoria

Profundidad : 0.20 - 1.50 **Realizado por** : **Illary Ccoillo I.**

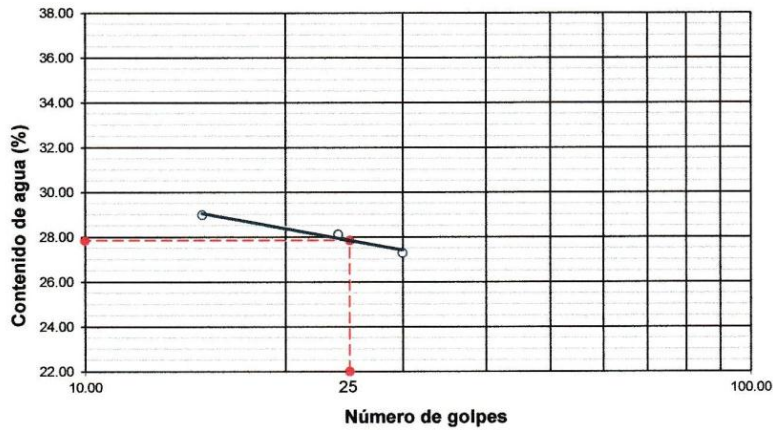
Calicata : C - 01 **Fecha** : 29/04/2017

LÍMITE LÍQUIDO

ENSAYO	NUMERO DE GOLPES	PESO TARA (gr.)	PESO TARA +SUELO HUMEDO (gr.)	PESO TARA +SUELO SECO (gr.)	PESO DE AGUA (gr.)	PESO DE SUELO SECO (gr.)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	30.00	9.95	37.42	31.53	5.89	21.58	27.29
2	24.00	9.93	39.64	33.12	6.52	23.19	28.12
3	15.00	6.86	35.25	28.87	6.38	22.01	28.99

LÍMITE PLÁSTICO

ENSAYO	MASA DEL VIDRIO (gr.)	MASA DE VIDRIO +SUELO HUMEDO (gr.)	MASA DE VIDRO MAS SUELO SECO (gr.)	MASA DE AGUA (gr.)	MASA DEL SUELO SECO (gr.)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	14.30	63.77	55.47	8.30	41.17	20.16
2	20.56	52.65	47.30	5.35	26.74	20.01



LL = 27.84

LP = 20.08

IP = 7.76



ING. HERMES VALDIVIA ASPILCUETA
JEFE DEL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
DCR-LMS /2017

DETERMINACIÓN DE PESO ESPECÍFICO - NTP 339.131

Proyecto de tesis : "COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"

Ubicación : Pje CIPD – FIA-UNALM, Distrito la Molina, Poviaia Lima, Departamento Lima

Muestra : 30 % de escoria

Profundidad : 0.20 - 1.50 m **Realizado por** : Illary Ccoillo I.

Calicata : C - 01 **Fecha** : 04/05/2017

Ensayo	1	2	3	
N° fiola	14	B	7	
Peso suelo seco	50.00	50.00	50.00	
Temp °C	24.7	24.6	24.8	
Peso fiola + agua + suelo	703.35	680.61	702.69	
Peso fiola + agua	670.75	648.00	670.07	
Peso especifico	2.874	2.875	2.877	
Peso especifico promedio	2.875			

$$Pe = \frac{Wsseco}{Wsseco + (Wfa - Wfas)} : 2.875$$

Donde :
 Peso suelo seco (Wsseco)
 Peso fiola + agua (Wfa)
 Peso fiola + agua + suelo (Wfas)
 Peso especifico (Pe)

OBSERVACIONES



Ing. Hermes Valdivia Aspilcueta
 Jefe del Lab. De Mec. De Suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

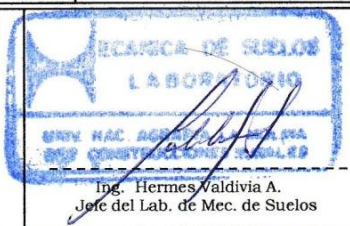
DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y

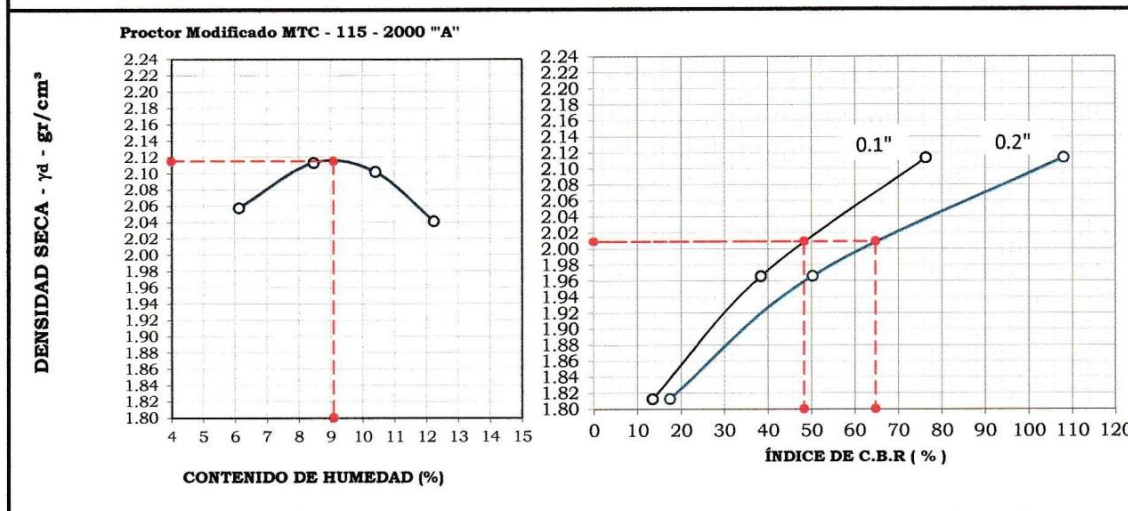
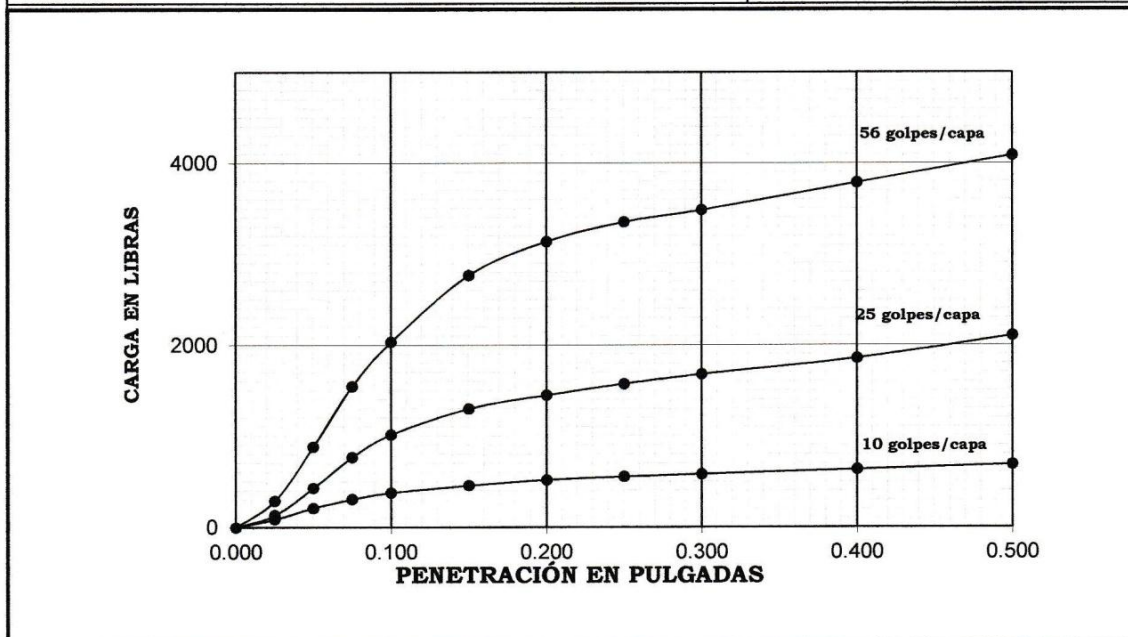
DESARROLLO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO DE C.B.R. ASTM D - 1883

FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS

<p>Proyecto de tesis : "COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"</p> <p>Ubicación : Pje CIPD – FIA-UNALM, Distrito la Molina, Poviancia Lima, Departamento Lima</p> <p>Calicata : C - 01</p> <p>Muestra : 30 % de escoria Profundidad : 0.20 - 1.50 m</p>	<p>Expediente: DOT-DS-LMS/2016</p> <p>Realizado por : Ilary Ccoillo I.</p> <p>Fecha: 15/05/2017</p>
<p>Densidad Seca Máxima : 2.119 gr/cm³</p> <p>Humedad Óptima : 9.10 %</p> <p>C.B.R. 0.1" - 95 % D.S.M. : 48.43 %</p> <p>C.B.R. 0.1" - 100 % D.S.M. : 76.31 %</p> <p>C.B.R. 0.2" - 95 % D.S.M. : 64.88 %</p> <p>C.B.R. 0.2" - 100 % D.S.M. : 108.05 %</p> <p>Expansión : 0.799 %</p>	





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y

DESARROLLO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DOT-DS-LMS/2017

FICHA DE RECOPIACION DE DATOS

Proyecto de tesis : "COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"

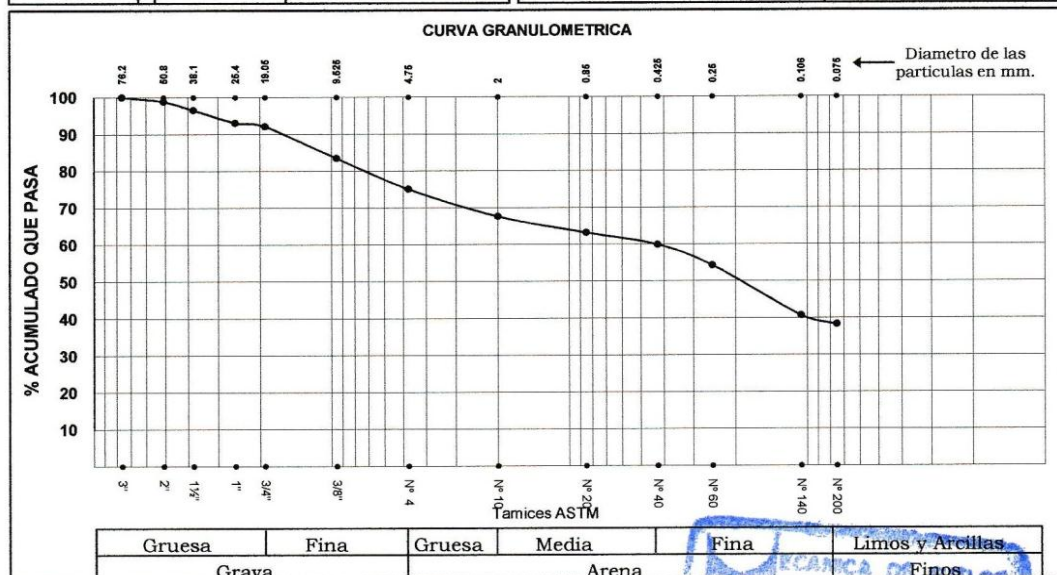
Ubicación : Pje CIPD – FIA-UNALM, Distrito la Molina, Povinaia Lima, Departamento Lima

Muestra : 40 % de escoria

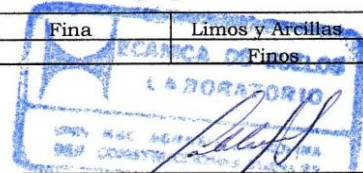
Calicata : C - 01 **Realizado por** : Illary Ccoillo I.

Profundidad : 0.20 - 1.50 m **Fecha** : 01/05/2017

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO NTP 339.128 / ASTM - D 422			LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM - D 427 / D 4318	
MALLA	ABERTURA mm.	% QUE PASA	ASTM - D 427 / D 4318	
3"	76.20	100.0	Limite liquido (%)	26.66
2"	50.80	98.8	Limite plastico (%)	20.56
1 1/2"	38.10	96.5	Indice plastico (%)	6.10
1"	25.40	93.1	Resultados: ASTM - D 2487 / D 3282	
3/4"	19.05	92.1	Coefficiente de:	
3/8"	9.525	83.5	-Uniformidad	
Nº 4	4.750	75.1	-Curvatura	
Nº 10	2.000	67.6	Material:	
Nº 20	0.850	63.2	-Grava %	25
Nº 40	0.425	59.9	-Arena %	37
Nº 60	0.250	54.2	-Finos %	38
Nº 140	0.106	40.7	Clasificacion:	
Nº 200	0.075	38.3	-AASHTO	A-4 (1)
			-SUCS	SC-SM con grava
			Nombre de grupo:	
			CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D 2216	
			Humedad natural (%)	0.67



NOTA:



Ing. Hermes Valdivia Aspilcueta
Jefe del Lab. De Mec. De Suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DCR-LMS /2017

**ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG
NTP. 339.129 (ASTM D4318)**

Proyecto de tesis : "COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"

Ubicación : Pje CIPD – FIA-UNALM, Distrito la Molina, Poviaicia Lima, Departamento Lima

Muestra : 40 % de escoria

Profundidad : 0.20 - 1.50 m **Realizado por** : **Illary Ccoillo I.**

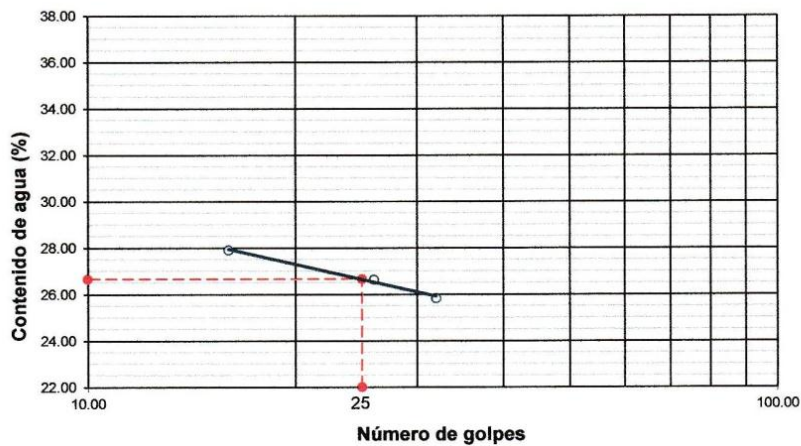
Calicata : C - 01 **Fecha** : **02/05/2017**

LÍMITE LÍQUIDO

ENSAYO	NUMERO DE GOLPES	PESO TARA (gr.)	PESO TARA +SUELO HUMEDO (gr.)	PESO TARA +SUELO SECO (gr.)	PESO DE AGUA (gr.)	PESO DE SUELO SECO (gr.)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	32.00	13.34	42.41	36.44	5.97	23.10	25.84
2	26.00	6.00	33.43	27.66	5.77	21.66	26.64
3	16.00	6.12	34.67	28.44	6.23	22.32	27.91

LÍMITE PLÁSTICO

ENSAYO	MASA DEL VIDRIO (gr.)	MASA DE VIDRIO +SUELO HUMEDO (gr.)	MASA DE VIDRO MAS SUELO SECO (gr.)	MASA DE AGUA (gr.)	MASA DEL SUELO SECO (gr.)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	12.98	54.35	47.29	7.06	34.31	20.58
2	12.52	48.67	42.51	6.16	29.99	20.54



LL = 26.66

LP = 20.56

IP = 6.10



ING. HERMES VALDIVIA ASPILCUETA
JEFE DEL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES RURALES

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

DCR-LMS /2017

DETERMINACIÓN DE PESO ESPECÍFICO - NTP 339.131

Proyecto de tesis	"COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"		
Ubicación	: Pje CIPD – FIA-UNALM, Distrito la Molina, Poviancia Lima, Departamento Lima		
Muestra	: 40 % de escoria		
Profundidad	: 0.20 -1.50 m	Realizado por	: Illary Ccoillo I.
Calicata	: C - 01	Fecha	: 04/05/2017

Ensayo	1	2	3	
N° fiola	14	4	6	
Peso suelo seco	50.00	50.00	50.00	
Temp °C	28.6	28.7	28.9	
Peso fiola + agua + suelo	702.79	693.86	696.98	
Peso fiola + agua	669.55	660.63	663.77	
Peso especifico	2.983	2.982	2.978	
Peso especifico promedio				2.981

$Pe = \frac{Wsseco}{Wsseco + (Wfa - Wfas)}$: 2.981
---	---------

Donde :
 Peso suelo seco (Wsseco)
 Peso fiola + agua (Wfa)
 Peso fiola + agua + suelo (Wfas)
 Peso especifico (Pe)

OBSERVACIONES



Ing. Hermes Valdivia Aspiicueta
 Jefe del Lab. De Mec. De Suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 DEPARTAMENTO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y
 DESARROLLO SOSTENIBLE
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
ENSAYO DE C.B.R. ASTM D - 1883

FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS		
Proyecto de tesis :	"COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE DE SUELOS CON ADICIÓN DE ESCORIA EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA - 2016"	Expediente: DOT-DS-LMS/2016
Ubicación :	Pje CIPD – FIA-UNALM, Distrito la Molina, Poviancia Lima, Departamento Lima	Realizado por : Ilary Ccoillo I.
Calicata :	C - 01	Fecha: 18/05/2017
Muestra :	40 % de escoria Profundidad : 0.20 - 1.50 m	
Densidad Seca Máxima :	2.220 gr/cm ³	
Humedad Óptima :	7.90 %	
C.B.R. 0.1" - 95 % D.S.M. :	70.00 %	
C.B.R. 0.1" - 100 % D.S.M. :	103.52 %	
C.B.R. 0.2" - 95 % D.S.M. :	98.00 %	
C.B.R. 0.2" - 100 % D.S.M. :	163.56 %	
Expansión :	0.548 %	Jefe del Lab. de Mec. de Suelos

