



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL DE PRÉSTAMO DE CANTERA TRATADO CON CEMENTO PORTLAND PARA SU UTILIZACIÓN COMO SUB-BASE EN LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS.”

TRABAJO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

MODALIDAD: INVESTIGACIÓN DIAGNÓSTICA O PROPOSITIVA

AUTORES:

GARCÍA MUÑOZ KENNIA GEOMARA

MOREIRA ALCÍVAR JEAN CARLOS

TUTORA:

ING. MARIA ISABEL ZAMBRANO MEZA

PORTOVIEJO-MANABÍ-ECUADOR

DEDICATORIA

A mis padres:

Nery y Kelmy por brindarme apoyo y confianza necesaria para lograr esta meta. A ellos mi inspiración y mi fuerza, ésta es una de las tantas recompensas por todo el sacrificio para culminar con éxito.

A mis hermanas:

Kelmy y Kenya, por su amor y compañía incondicional, alentándome para nunca dejar algo a medias.

En especial Jean Carlos Basurto, compañero de aula y de todas las vivencias compartidas durante estos años, siendo una de mis motivaciones para culminar esta etapa pensando siempre en un mejor futuro.

A mi compañero de tesis, Jean Carlos Moreira, porque juntos logramos culminar con éxito y satisfacción.

A todos mis compañeros y amigos quienes compartieron conmigo tantas experiencias inolvidables a lo largo de mi etapa universitaria.

Kennia Geomara García Muñoz

DEDICATORIA

Al finalizar el trabajo de titulación inicia un camino que llevará al éxito, es por eso que este logro lo dedico:

A mis padres:

Víctor y Marlene, que gracias a su sacrificio y constancia logré terminar este proceso con satisfacción, ellos mi inspiración de superación y pilar fundamental para poder seguir superándome.

A mis hermanos:

María, Yadira, José, Gina y María Dolores que quienes siempre me han dado el aliento necesario para cumplir cada una de mis metas.

A mis sobrinos, pequeños seres que demuestran lo importante que es la sonrisa, a mis abuelos, aquellos que me dieron el maravilloso regalo de la familia, a pesar de que tres de ellos no están físicamente conmigo, pero me acompañan en espíritu; a mis tíos y tías porque cada uno de sus consejos me inspiraron para nunca rendirme; gracias a todos ellos hoy puedo decir que conozco el verdadero significado de unión familiar.

A mis amigos;

Kyara, Gema, Goretty, Kenia y Alex, que han sido los hermanos que Dios me puso en el camino, por brindarme su amistad incondicional en los momentos de adversidad.

A mi compañera de tesis Kennia, por el éxito conseguido en el trabajo superando cada obstáculo presentado en el camino; a todos mis compañeros de aula.

A la familia Intriago Intriago, Don Enrique, Sra. Teresa, Jean Carlos; John y Joseph; por la hospitalidad y la amabilidad que me han brindado, durante estos años de estudio, en los cuales su hogar se volvió como mi segundo hogar.

Jean Carlos Moreira Alcívar

AGRADECIMIENTO

A Dios, por todas las bendiciones a lo largo de nuestra formación profesional.

A nuestros padres, por sus incansables sacrificios y por el apoyo brindado día tras día permitiendo este logro, siendo ellos nuestra principal motivación en nuestra superación profesional.

A la Universidad Técnica de Manabí, a la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas por la acogida que nos brindó en sus instalaciones, formándonos como profesionales en la Ingeniería Civil.

Al personal colaborador del Departamento de Mecánica de Suelo, Rocas y Asfaltos por su orientación y predisposición en la realización de este proyecto de titulación.

A nuestra tutora, Ing. María Isabel Zambrano, por brindarnos la oportunidad de realizar esta investigación que no tan solo nos sirve para nuestra superación profesional sino también un aporte a la comunidad universitaria.

Al Ing. Eduardo Ortiz, que en calidad de revisor de nuestro trabajo de titulación nos proporcionó conceptos técnicos importantes para la culminación de este proyecto.

Al Doctor Eduardo Tejeda, por brindarnos sus conocimientos mediante capacitaciones previas a la elaboración de nuestro proyecto, siendo una orientación primordial en nuestra formación.

Al personal docente y administrativo de la Facultad, porque a lo largo de nuestra etapa universitaria estuvo predispuesto a formarnos no tan solo como profesionales sino también como seres humanos.

Los Autores



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN DE LA TUTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Quien suscribe la presente Ing. María Isabel Zambrano, Docente de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Química de la Universidad Técnica de Manabí; en mi calidad de Tutor del trabajo de titulación **“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL DE PRÉSTAMO DE CANTERA TRATADO CON CEMENTO PORTLAND PARA SU UTILIZACIÓN COMO SUB-BASE EN LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS”** desarrollada por los profesionistas: García Muñoz Kennia Geomara y Moreira Alcívar Jean Carlos; en este contexto, tengo a bien extender la presente certificación en base a lo determinado en el Art. 8 del reglamento de titulación en vigencia, habiendo cumplido con los siguientes procesos:

- Se verificó que el trabajo desarrollado por los profesionistas cumple con el diseño metodológico y rigor científico según la modalidad de titulación aprobada.
- Se asesoró oportunamente a los estudiantes en el desarrollo del trabajo de titulación.
- Presentaron el informe del avance del trabajo de titulación a la Comisión de Titulación Especial de la Facultad.
- Se confirmó la originalidad del trabajo de titulación.
- Se entregó al revisor una certificación de haber concluido el trabajo de titulación.

Cabe mencionar que durante el desarrollo del trabajo de titulación los profesionistas pusieron mucho interés en el desarrollo de cada una de las actividades de acuerdo al cronograma trazado.

Particular que certifico para los fines pertinentes

Ing. María Isabel Zambrano Meza
TUTORA

CERTIFICACIÓN DE LA COMISIÓN DE REVISIÓN Y EVALUACIÓN

Luego de haber realizado el trabajo de titulación, en la modalidad Proyecto Investigativo y que lleva por tema: **“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL DE PRÉSTAMO DE CANTERA TRATADO CON CEMENTO PORTLAND PARA SU UTILIZACIÓN COMO SUB-BASE EN LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS”** desarrollado por los señores, García Muñoz Kennia Geomara con Cédula N° 131428199-7 y Moreira Alcívar Jean Carlos con Cédula N° 131350668-3, previo a la obtención del título de INGENIERO CIVIL, bajo la tutoría y control de la Sra. Ingeniera María Isabel Zambrano Meza, docente de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas y cumpliendo con todos los requisitos del nuevo reglamento de la Unidad de Titulación Especial de la Universidad Técnica de Manabí, aprobada por el H. Consejo Universitario, cumpla con informar que en la ejecución del mencionado trabajo de titulación, sus autores:

- Han respetado los derechos de autor correspondiente a tener menos del 10 % de similitud con otros documentos existentes en el repositorio
- Han aplicado correctamente el manual de estilo de la Universidad Andina Simón Bolívar de Ecuador.
- Las conclusiones guardan estrecha relación con los objetivos planteados
- El trabajo posee suficiente argumentación técnica científica, evidencia en el contenido bibliográfico consultado.
- Mantiene rigor científico en las diferentes etapas de su desarrollo.

Sin más que informar suscribo este documento **NO VINCULANTE** para los fines legales pertinentes.

Ing. Eduardo Ortiz Hernández
REVISOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DECLARACIÓN SOBRE DERECHOS DE AUTOR

Quienes firmamos la presente, profesionistas; GARCÍA MUÑOZ KENNIA GEOMARA, Y MOREIRA ALCÍVAR JEAN CARLOS, en calidad de autores del trabajo de titulación realizada sobre “**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL DE PRÉSTAMO DE CANTERA TRATADO CON CEMENTO PORTLAND PARA SU UTILIZACIÓN COMO SUB-BASE EN LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS**” por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ, hacer uso de todos los contenidos que nos pertenecen o de parte de los que contienen este proyecto, con fines estrictamente académicos o de investigación. Los derechos que como autores nos corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a nuestro favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6 ,8 ,19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento. Así mismo las conclusiones y recomendaciones constantes en este texto, son criterios netamente personales y asumimos con responsabilidad la descripción de las mismas.

García Muñoz Kennia Geomara
AUTOR

Moreira Alcívar Jean Carlos
AUTOR

RESUMEN

El presente trabajo de titulación se basa en el análisis de material de préstamo extraídos de dos canteras ubicadas en la ciudad de Portoviejo para posterior a una comparación entre ellas, escoger el material más favorable mediante los resultados de ensayos de laboratorio y realizar la estabilización con cemento Portland para su uso como sub-base en la estructura de pavimentos.

El material de préstamo, también denominado lastre, fueron extraídos de las canteras “Hermanos Carrillo” y “MegaRok”, ubicadas en la parroquia Picoazá del Cantón Portoviejo.

Para obtener la caracterización del material, tanto en estado natural como estabilizado con cemento Portland se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio: Humedad natural, límites de Atterberg, análisis granulométricos, determinación de densidad máxima y humedad óptima, valor relativo de soporte (C.B.R.), resistencia a la compresión y ensayo de durabilidad por humedecimiento y secado de mezclas de suelo-cemento.

Se puede entender que los suelos estabilizados con cemento Portland están rigurosamente dosificados mediante normas partiendo de la clasificación del suelo que se está tratando. Los resultados de ensayos de nuestro material arrojan datos para un suelo tipo A-2, siendo su porcentaje de cemento entre el 5 % – 9 % sobre el peso del material de acuerdo al Portland Cement Association, de esta manera mejora su característica en resistencia, deformabilidad y durabilidad.

Con los resultados obtenidos en el diseño de esta estabilización se llegó a una alternativa viable y confiable con ventajas en el ámbito técnico y ambiental, mientras que en lo económico su coste es elevado.

SUMMARY

The present work of qualifications is based on the analysis of material of lendings extracted from two quarries located in Portoviejo's city for later to a comparison between them, to choose the most favorable material by means of the results of laboratory test programs and to realize the stabilization with cement Portland for his use as sub-base in the structure of pavements.

The material of lending, also named ballast, they were extracted from the quarries "Hermanos Carrillo" and "MegaRok", located in the parish Picoazá of the Canton Portoviejo.

To obtain the characterization of the material, so much in natural condition since stabilized with cement Portland the following laboratory test programs were realized: natural Dampness, Atterberg's limits, granulometric analyses, determination of maximum density and ideal dampness, relative value of support (C.B.R.), resistance to the compression and test of permanence for witing and dried of mixtures of soil - cement.

It can be understood that the Portland cement stabilized soils are rigorously dosed by rules based on the classification of soil being treated. The results of trials of our material yield data for soil type A-2, and its percentage of cement between 5% - 9% on the weight of material according to the Portland Cement Association, thus improving its characteristic resistance, deformability and durability.

With the results obtained in the design of this stabilization was reached a viable and reliable alternative with advantages in technical and environmental issues, while the economic cost is high.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	IV
CERTIFICACIÓN DE LA TUTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	V
CERTIFICACIÓN DE LA COMISIÓN DE REVISIÓN Y EVALUACIÓN	VI
DECLARACIÓN SOBRE DERECHOS DE AUTOR	VII
RESUMEN	VIII
SUMMARY	IX
INDICE	X
CONTENIDO DE TABLAS	XII
CONTENIDO DE GRÁFICOS	XII
1. Tema	1
2. Planteamiento del problema	2
2.1. Descripción de la realidad problemática	2
2.2. Formulación del problema	2
2.3. Delimitación de la investigación	2
2.3.1. Espacial	2
2.3.2. Temporal	2
3. Revisión de la literatura y desarrollo del marco teórico	3
3.1. Antecedentes	3
3.2. Justificación	4
3.3. Marco Teórico	5
CONCEPTOS GENERALES	5
Suelos Naturales	5
Material de Préstamo de Cantera.....	5
Características del Suelo.....	5
Humedad Natural.....	5
Granulometría.....	5
Límites de Atterberg.....	6
Límite de Contracción (LC)	6
Limite Líquido (LL)	6
Limite Plástico (LP)	7

Índice de Plasticidad (IP).....	7
Desgaste de los Materiales	7
Compactación	7
Capacidad Portante.....	8
Resistencia a la Compresión.....	8
Sub-base Granular	8
Tipos de Sub-base.....	9
ESTABILIZACIÓN DE SUELOS	10
Tipos de estabilización	10
Estabilización de suelo-cemento	11
Proceso de estabilización.....	11
Dosificación.....	11
4. Visualización del alcance del estudio	13
4.1. Alcance social.....	13
4.2. Alcance económico	13
4.3. Alcance científico.....	13
5. Elaboración de hipótesis y definición de variables.....	13
5.1. Nivel de investigación.....	13
5.2. Hipótesis	14
5.3. Definición de variables.....	14
6. Desarrollo del diseño de investigación	17
6.1. Objetivos	17
6.1.1. Objetivo General.....	17
6.1.2. Objetivos Específicos	17
7. Definición y selección de la muestra	17
8. Recolección de datos	18
9. Análisis de los datos	31
10. Elaboración del reporte de los resultados.....	33
11. Presupuesto.....	35
12. Cronograma	36
13. Bibliografía	37
14. Anexos	38
APÉNDICE A	38
SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO	38
SISTEMA DE CLASIFICACIÓN SUCS	45

DATOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO.....	51
ANEXOS FOTOGRAFICOS	67

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. <i>Porcentaje Granulométrico del tipo de sub base</i>	9
Tabla 2. <i>Fuente: Instituto de Cemento Portland</i>	12
Tabla 3. <i>Representación de los porcentajes de LL, LP e IP de las muestras</i>	21
Tabla 4. <i>Densidad Máxima Seca y Humedad Óptima obtenido de las muestras estudiadas</i>	23
Tabla 5. <i>Resistencia a compresión para los diferentes porcentajes de Cemento</i>	29
Tabla 6. <i>Porcentaje de desgaste mediante humedecimiento - secado de la muestra</i>	30
Tabla 7. <i>Características Granulométricas de las muestras de las canteras MegaRok y Hermanos Carrillo</i>	31

CONTENIDO DE GRÁFICOS

Gráfico 1. <i>Curva Granulométrica de las muestras de las canteras MegaRok y Hermanos Carrillo.....</i>	19
Gráfico 2. <i>Comparación granulométrica con los máximos y mínimos para la Sub-base Clase 1</i>	20
Gráfico 3. <i>Comparación granulométrica con los máximos y mínimos para la Sub-base Clase 2</i>	20
Gráfico 4. <i>Comparación granulométrica con los máximos y mínimos para la Sub-base Clase 3</i>	21
Gráfico 5. <i>Análisis de Límite Líquido según Casagrande</i>	22
Gráfico 6. <i>Análisis de Límite Líquido según Casagrande</i>	22
Gráfico 7. <i>Densidad Máxima Seca y Humedad Óptima de la muestra de la Cantera Hermanos Carrillo.....</i>	24
Gráfico 8. <i>Densidad Máxima Seca y Humedad Óptima de la muestra de la Cantera MegaRok</i>	24
Gráfico 9. <i>Porcentaje de C.B.R. de la muestra de la cantera Hermanos Carrillo ...</i>	25
Gráfico 10. <i>Porcentaje de C.B.R. de la muestra de la Cantera MegaRok</i>	26
Gráfico 11. <i>Curva Esfuerzo - Penetración de la muestra de la Cantera Hermanos Carrillo en condición seca.....</i>	26
Gráfico 12. <i>Curva Esfuerzo - Penetración de la muestra de la Cantera Hermanos Carrillo en condición saturada.....</i>	27
Gráfico 13. <i>Curva Esfuerzo - Penetración de la muestra de la Cantera MegaRok en condición seca.....</i>	27
Gráfico 14. <i>Curva Esfuerzo - Penetración de la muestra de la Cantera MegaRok en condición saturada</i>	28

Gráfico 15. <i>Determinación de Porcentaje óptimo de cemento se acuerdo al C.B.R. de Sub-base</i>	29
Gráfico 16. <i>Curva de desgaste de la muestra en de Humedecimiento – Secado de suelo - cemento</i>	30

1. Tema

“Análisis del comportamiento del material de préstamo de cantera tratado con cemento Portland para su utilización como sub-base en la estructura de pavimentos.”

2. Planteamiento del problema

2.1. Descripción de la realidad problemática

El material extraído de las canteras en nuestro medio carece en ocasiones de resistencia y de durabilidad para un determinado uso para la construcción de los pavimentos, a causa de no disponer las características granulométricas y plásticas exigidas. La utilización de aditivos en el manejo de estos materiales no es muy común en nuestro medio, debido a que el estudio de esta alternativa muestra una posibilidad económica a futuro para la construcción de la estructura de pavimentos.

2.2. Formulación del problema

¿Cuál es el diseño de mezcla adecuada que debe tener el material de préstamo tratado con cemento portland para que cumpla con las características de una sub-base en la estructura de pavimentos?

2.3. Delimitación de la investigación

2.3.1. Espacial

La investigación se desarrollará tomando material de préstamo de las canteras “Hermanos Carrillo” y “MegaRok” ubicadas en la parroquia Picoazá del Cantón Portoviejo, para un posterior análisis en el Laboratorio de Rocas, Suelos y Asfalto de la Universidad Técnica de Manabí.

2.3.2. Temporal

El tiempo de análisis para la presente investigación está comprendido entre el mes de octubre del año 2015 y el mes de enero del año 2016.

3. Revisión de la literatura y desarrollo del marco teórico

3.1. Antecedentes

La construcción de carreteras en la provincia de Manabí, ha sido sinónimo de desarrollo, los materiales pétreos que proveen las canteras de la zona centro de la provincia cuenta con características particulares, las cuales proporcionan alternativas homogéneas, en la constitución de las estructuras de pavimentos, considerando la funcionalidad y la importancia de la carretera a construir.

Las alternativas dadas para la utilización de material granular, en la conformación de estructuras de pavimentos, se ven reflejadas en buscar una prolongación en la duración de la carretera, en algunos casos representativos refleja que las técnicas convencionales no representan una vida útil esperada.

La mezcla con cemento es muy posterior a principios del siglo XX, sin embargo, la aplicación de estas mejoras a las modernas carreteras tuvo que esperar algunos años más, básicamente porque no es lo mismo una pequeña aplicación local que una mezcla homogénea y fiable a gran escala.

Esta técnica de estabilización es una de las más empleadas actualmente, y viene poniéndose en práctica desde que Amies la implantó en el año 1917 para tratar de evitar el fenómeno de *pumping* o bombeo de finos característico de los firmes rígidos. Al aglomerar este tipo de partículas se conseguía que el agua no las disolviera en su seno, evitando de este modo el descalzamiento y posterior rotura de las losas de hormigón.

3.2. Justificación

La presente propone analizar la utilización de técnicas alternativas para la utilización del material granular a utilizar como base/sub-base en la estructura de pavimentos. El material de préstamo o también conocido como “Lastre”, no satisface las especificaciones para esta utilización.

El correcto análisis y tratamiento de este material en una correcta cantidad de Cementos Portland generará una opción viable en la conformación de las estructuras de los pavimentos. Lograr aumentar resistencia y durabilidad del material utilizado como sub-base de la estructura de pavimentos, se logrará también reducir los espesores de ésta y así disminuir los costos que generan la utilización de los materiales convencionales.

Se garantizará la utilización de materiales que generalmente no son utilizados en las estructuras de pavimentos por sus características poco resistentes, optimizando así el recurso pétreo de la zona.

3.3. Marco Teórico

Capítulo Uno

CONCEPTOS GENERALES

Suelos Naturales

Es un material tipo terroso cuyas características no se encuentran alteradas por procesos físicos ni químicos.

Material de Préstamo de Cantera

También denominado material de desalojo o lastre, es un material proveniente de una piedra cuya calidad es ineficiente y se encuentra en la superficie de una cantera. Dentro de sus características presenta un tamaño irregular y es usado mayormente para mejoramiento de la subrasante o para la sustitución de suelos, así como en relleno de cimientos y mejoramientos de caminos.

Características del Suelo

Permite identificar mediante técnicas y ensayos las diferentes propiedades que presentan los suelos, ya sean físicas, químicas, biológicas o morfológicas para garantizar el uso para el cual han sido estudiados.

Humedad Natural

Es una propiedad física del suelo, dato muy importante en el ámbito de la construcción ya que el comportamiento y la resistencia de un suelo está regido por el contenido de agua existente en un suelo. Su resultado se obtiene mediante la relación que hay entre el peso de agua y el peso del suelo en estado seco expresado en porcentaje.

Granulometría

Es la distribución entre las diferentes dimensiones de partículas que hay en un determinado suelo y está expresado como un porcentaje entre el peso total de la muestra seca.

La dimensión de las partículas de un suelo se refiere a los diámetros de las mismas, determinando así la granulometría gruesa y la granulometría fina.

Límites de Atterberg

El estado de los suelos, de acuerdo a la naturaleza y al contenido de agua presentan propiedades que lo definen ya sea en estado sólido, semi-sólido, plástico, líquido o semi-líquido. Para medir estos límites usamos el método de Atterberg mientras que para conocer el contenido de agua por el cual se produce estos cambios de estados usamos los límites de Atterberg. También se denominan límites de consistencia.

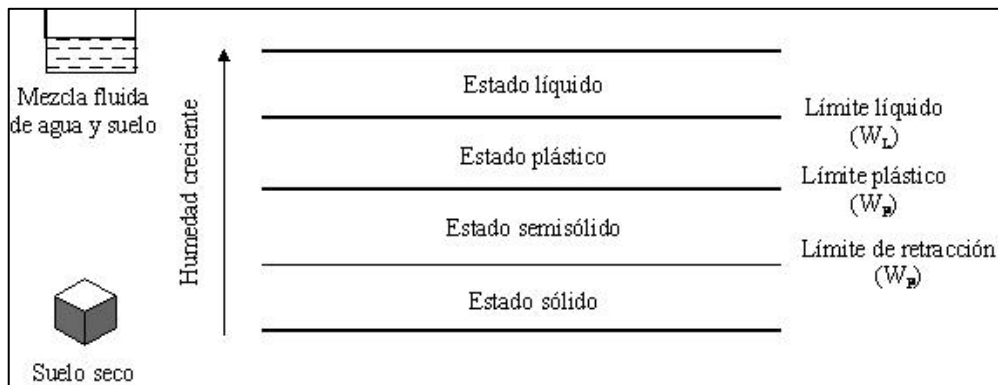


Ilustración 1. Esquema de los Límites de Consistencia

Límite de Contracción (LC)

Es el contenido de humedad en el cual el suelo pasa de un estado semi-sólido a sólido, en este estado el contenido de humedad es menor a diferencia del límite líquido y el límite plástico por lo que la muestra no alterara su volumen en un proceso de secado.

Límite Líquido (LL)

Es el contenido de humedad en el cual el suelo pasa de estado líquido a estado plástico.

Limite Plástico (LP)

Es el contenido de agua en el cual el suelo pasa de estado sólido para convertirse en plástico. En este estado el suelo sufre cambios irreversibles sin fracturarse y bajo el mismo el suelo no demuestra plasticidad.

Índice de Plasticidad (IP)

Es el nivel de humedad que tiene el suelo para deformarse sin romperse; es decir, tiene un comportamiento plástico. Es la diferencia que existe entre el límite líquido y el límite plástico.

Desgaste de los Materiales

En ciencia de materiales, el desgaste es la pérdida de masa de la superficie de un material sólido por la interacción mecánica con otro cuerpo en contacto. Es específicamente la eliminación de material de una superficie como resultado de una acción mecánica¹. La necesidad de una acción mecánica, en forma de contacto debido a un movimiento relativo, es una distinción importante entre desgaste mecánico y cualquier otro proceso con similares resultados.²

Compactación

Mediante la compactación de los suelos se determina la densidad máxima y la humedad óptima que un suelo necesita para generar una disminución en el porcentaje de poros o vacíos e incrementar el peso específico seco del suelo.

Entre las ventajas que generan la compactación de un suelo, tenemos:

- Dar estabilidad aumentando el valor soporte del suelo.
- Genera un mayor contacto entre las partículas.
- Los vacíos que se forman por las partículas de mayor diámetro están forzados a llenarse por las partículas de menor diámetro.

¹ Rabinowicz, E. (1995). Friction and Wear of Materials. New York, John Wiley and Sons

² Williams, J. A. (2005). "Wear and wear particles - Some fundamentals." Tribology International 38(10): 863-870

- Disminuye el volumen de vacíos haciendo más densa la masa del suelo.

Capacidad Portante

Mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo para poder evaluar la calidad del terreno ya sea para sub-rasante, sub-base y bases de pavimentos, puede realizarse in situ o en laboratorio. Es el ensayo más utilizado en todo el mundo para estimar la capacidad de soporte de un terreno, es un factor básico para el dimensionamiento de los pavimentos y se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad.

Resistencia a la Compresión

Podemos decir que la resistencia a la compresión es el mínimo esfuerzo compresivo necesario para romper una muestra no confinada del suelo de forma cilíndrica en condiciones normalizadas. En este método la resistencia a la compresión no confinada se toma como la máxima carga alcanzada como unidad de área durante el ensayo o la carga por unidad de área cuando se alcanza el 15% de deformación axial. El objetivo primario es obtener rápidamente un valor aproximado de la resistencia a la compresión q tiene suficiente cohesión.

Sub-base Granular

Es la capa de material granular que se encuentra entre la base firme y la sub-rasante. Estos materiales serán áridos naturales o procedentes del machaqueo y trituración de piedra de cantera o grava natural, escorias, suelos seleccionados, o materiales locales, exentos de arcillas y otras materias extrañas.

La capa de sub-base se colocará sobre la subrasante previamente preparada y aprobada, de conformidad con las alineaciones, pendientes y sección transversal señaladas en los planos.³

³ ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS, CAPITULO 400 - SECCION 403 – SUBBASE GRANULAR

Tipos de Sub-base

Las sub-bases de agregados se clasifican como se indica a continuación, de acuerdo con los materiales a emplearse. La clase de sub-base que deba utilizarse en la obra estará especificada en los documentos contractuales. De todos modos, los agregados que se empleen deberán tener un coeficiente de desgaste máximo de 50%, de acuerdo con el ensayo de abrasión de los Ángeles y la porción que pase el tamiz N° 40 deberá tener un índice de plasticidad menor que 6 y un límite líquido máximo de 25. La capacidad de soporte corresponderá a un CBR igual o mayor del 30%⁴.

Clase 1: Sub-bases construidas con agregados obtenidos por trituración de roca o gravas, graduados uniformemente dentro de los límites indicados para la granulometría Clase 1, en la Tabla 1. Por lo menos el 30 % del agregado preparado deberá obtenerse por proceso de trituración.

Clase 2: Son sub-bases construidas con agregados obtenidos mediante trituración o cribado en yacimientos de piedras fragmentadas naturalmente o de gravas, de acuerdo con los requerimientos establecidos en la Sección 816, y graduados uniformemente dentro de los límites indicados para la granulometría Clase 2, en la Tabla 1.

Clase 3: Son sub-bases construidas con agregados naturales y procesados y que se hallen graduados uniformemente dentro de los límites indicados para la granulometría Clase 3, en la Tabla 1.

TAMIZ	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3
3" (76.2 mm.)	--	--	100
2" (50.4 mm.)	--	100	--
1 1/2 (38,1 mm.)	100	70 – 100	--
N° 4 (4.75 mm.)	30 – 70	30 – 70	30 – 70
N° 40 (0.425 mm.)	10 – 35	15 – 40	--
N° 200 (0.075 mm.)	0 – 15	0 - 20	0 – 20

Tabla 1. Porcentaje Granulométrico del tipo de sub base

⁴ ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS, CAPITULO 400 - SECCION 403.1.02 – MATERIALES

Capítulo Dos

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

La estabilización de suelo consiste en tratar el suelo para que reúna características y propiedades que le proporcione resistencia contra las diferentes acciones de destrucción y a las deformaciones que causa las cargas, así como también brindarle estabilidad y permanencia a lo largo del tiempo.

Tipos de estabilización

No todos los suelos se estabilizan de la misma manera, el tipo de estabilización dependerá de la resistencia al corte que varía por el rozamiento y la cohesión de los suelos. El rozamiento hace referencia a la fricción interna que se produce por el frotamiento de las partículas entre si y la cohesión por la atracción que hay entre las partículas. Adicionalmente también dependerá también de la capacidad portante que es la resistencia que tiene un suelo para soportar las cargas.

Analizando estos factores se clasifica la estabilización mediante distintos procesos:

Estabilización Física. - mediante este proceso se busca una adecuada granulometría mediante la combinación de material granular o material cohesivo con el suelo que se desea estabilizar; o también ambos materiales combinados con el suelo natural.

Estabilización Química. - En este tipo de estabilización el objetivo es estimular las propiedades del suelo por medio de procedimientos químicos, para ello se mezcla el suelo con cementos ya sea orgánicos o inorgánicos y materiales impermeabilizantes.

Estabilización Mecánica. - este proceso percibe la manipulación y apisonamiento de los suelos para obtener una mejor densidad y resistencia.

Estabilización de suelo-cemento

Este proceso de estabilización química consiste en incorporar un agente cementante al suelo mejorando su capacidad portante. La combinación de suelo-cemento permite la unión de partículas del suelo generando resistencia al corte por beneficio de la cohesión.

Para que un suelo estabilizado con cemento adquiera durabilidad y estabilidad es necesario modificar su humedad, realizar una compactación uniforme a su densidad máxima, incorporar la cantidad de cemento a la reducción de su peso midiendo la humedad posterior a los ensayos de durabilidad.

Proceso de estabilización

Cuando se incrementa cemento a un suelo, éste modifica sus propiedades entre ellas el límite plástico del suelo, variando sus condiciones de plasticidad, posterior a este proceso las partículas que lo componen en combinación con las partículas de cemento se van adhiriendo entre ellas formando una cohesión por cementación que mejora la resistencia al corte en el resultado obtenido.

Dosificación

El contenido de cemento incorporado dependerá de la clase de suelo. Un indicativo del porcentaje de cemento que consumirá el suelo es la granulometría que lo compone. La dosificación de cemento deberá enfocarse a la durabilidad para soportar las tensiones que solicita y provoca el tránsito, para ello se debe conocer las características del suelo, la calidad del material estabilizado obtenido y su durabilidad.

Los ensayos a realizar para conocer el porcentaje de cemento óptimo tenemos:

Relación humedad – densidad	AASHTO T-134
Humedecimiento y secado	AASHTO T-135
Congelamiento y deshielo	AASHTO T-136
Compresión simple	NO ESPECIFICADO

El ensayo a compresión simple es el más recomendable para determinar el porcentaje de cemento con un tiempo de curado de 7, 14 y 28 días.

El Instituto de Cemento Portland ha implementado una guía indicando el porcentaje de cemento en función al tipo de suelo para la ejecución de los ensayos.

PROPORCION DE CEMENTO EN ESTABILIZACIONES		
TIPO DE SUELO	% EN PESO	PROPORCIONES A ENSAYAR (%)
A-1-a	3-5	3,5,7
A-1-b	5-8	4,6,8
A-2	5-9	5,7,9
A-3	7-11	7,9,11
A-4	7-12	8,10,12
A-5	8-13	8,10,12
A-6	9-15	10,12,14
A-7	10-16	11,13,15
Orgánicos	inadecuados	-

Tabla 2. Fuente: Instituto de Cemento Portland

4. Visualización del alcance del estudio

4.1. Alcance social

El mejoramiento de las carreteras dentro del alcance social facilita la transportación y el intercambio de productos estimulando el desarrollo socio-económico de las ciudades, así mismo brinda seguridad y viabilidad a las personas que se benefician con la construcción de carreteras con este método de diseño.

4.2. Alcance económico

Existe controversia dentro del alcance económico ya que en la utilización de material de préstamo mejorado con cemento como sub-base en la estructura de pavimentos, la inversión inicial es superior a los costos con la utilización de materiales convencionales; sin embargo el costo de mantenimiento serán menores a lo largo del periodo que fue considerado para el diseño, a causa de que dicho mantenimiento se realizaría entre periodos más largos de tiempo en relación a los utilizados en métodos tradicionalmente empleados.

4.3. Alcance científico

Empleando los conocimientos adquiridos durante el proceso de formación profesional y las especificaciones dadas por las normas referentes a la construcción de carreteras; la utilización de material de préstamo estabilizados con cemento Portland, como sub-base representa una alternativa científicamente confiable porque garantiza una durabilidad estructural y el aprovechamiento de materiales generalmente desechados.

5. Elaboración de hipótesis y definición de variables

5.1. Nivel de investigación

5.1.1. Investigación de campo

El presente trabajo, se realizará mediante una investigación de campo, se busca comprobar si el aprovechamiento de material no utilizado de las canteras, con

un tratamiento adecuado puede ser optimizado y así cumpla las especificaciones de base/sub-base de la estructura de pavimentos.

5.1.2. Método

En el proceso investigativo se involucra un análisis de las características del material proporcionado por las canteras, y así proponer un diseño de mezcla; utilizando métodos científicos-experimental y método hipotético-deductivo que otorgarán fiabilidad y validez a la investigación. Se estudiará desde punto de vista del enfoque teórico-práctico, dado que consiste en analizar la situación del lugar a desarrollarse la investigación, y aportará a la solución de problemas.

5.1.3. Técnicas

Las técnicas a utilizarse son estudio de laboratorio para caracterizar el material proporcionado por las canteras y bibliográfica para proponer un diseño de mezcla que logren satisfacer las especificaciones.

5.2. Hipótesis

Las propiedades del material de préstamo de cantera se mejoran al aplicarle una proporción adecuada de cemento Portland, para utilizarla como sub-bases de estructura de pavimento.

5.3. Definición de variables

5.3.1. Variable independiente

MATERIAL DE PRÉSTAMO DE CANTERA

5.3.2. Variable dependiente

SUB-BASE DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS

5.3.3. Operacionalización de las variables

- **Variables independientes:** MATERIAL DE PRÉSTAMO DE CANTERA

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADOR	ÍTEMS	TÉCNICA
MATERIAL DE PRÉSTAMO Piedra de mala calidad y resquebrajada que se halla en la superficie de una cantera.	Material de préstamo	Especificaciones Técnicas de Material de Préstamo	¿Conoce usted las especificaciones técnicas del Material de Préstamo?	Observación de campo
	Estabilización de suelos	Técnicas de estabilización de suelos	¿Tiene referencia usted respecto a las técnicas de estabilización de suelos?	Observación de campo
	Ensayo de suelos	Tipo de Análisis de suelos	¿Tiene Ud. conocimiento de los diferentes tipos de ensayos de suelos?	Observación en laboratorio

○ **Variable dependiente:** SUB-BASE DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADOR	ÍTEMS	TECNICA
SUB-BASE Sub-base es la capa que se encuentra entre la base y la sub-rasante en un pavimento asfáltico	Material de sub-base	Clasificación de materiales para sub-bases.	¿Conoce usted la clasificación de los materiales para sub-base?	Observación de campo
	Estructuras de Pavimentos	Tipos de estructuras de pavimentos	¿Qué tipo de estructuras de pavimentos conoce usted?	Observación de campo
	Granulometría de los agregados	Características de los agregados	¿Tiene Ud. conocimiento de las características de los agregados para sub-base?	Observación en laboratorio

6. Desarrollo del diseño de investigación

6.1. Objetivos

6.1.1. Objetivo General

Analizar el comportamiento del material de préstamo de cantera tratado con cemento para su utilización como sub-base en la estructura de pavimentos.

6.1.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar el material de residuo en su estado natural.
- Establecer un diseño de mezcla en el tratamiento del material de residuo con cemento.
- Indagar la factibilidad de la utilización de material de préstamos de cantera, tratada con cemento en su utilización como base/sub-base en la estructura de pavimentos.

7. Definición y selección de la muestra

El material de préstamo, también conocido como lastre, fue adquirido de las canteras “Hermanos Carrillo – San José” y “MegaRok”, como una muestra de las canteras existentes en el cantón Portoviejo; después de su caracterización, se tomó como muestra el material proveniente de la cantera “MegaRok”, siendo esta la que posee las propiedades más favorable y así tratarlo con cemento Porlant y que se llegue a cumplir con las características establecidas para sub- base en la sección 403 capítulo 400 de la Norma de Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

8. Recolección de datos

Material Natural

Para efecto de la investigación realizada, se adquirió material de préstamo proveniente de las canteras “Hermanos Carrillo”, “MegaRok”; generalmente este material es utilizado para mejoramiento de sub-rasantes, sustitución de suelos, rellenos de cimiento.

Humedad Natural

Al material de estudio se le realizó por algunas ocasiones el cálculo de la humedad propia en el momento de realizar cualquier ensayo para el cual se necesite el porcentaje de agua presente. Considerando que el período en el que se realizó el estudio, es un periodo de presencia de lluvia; la humedad que se obtuvo al día de la salida de la cantera; es un 30% en el material de la cantera “Hermanos Carrillo” y 17,33% el de la cantera “MegaRok”, datos que fueron variando en función del clima.

Granulometría

En el proceso para la clasificación de suelos, es necesario conocer el porcentaje de pasante en los diferentes tamices (3”, 2”, 1 ½”, 1”, ¾”, ⅜”, N°4, N°10, N°40, N°200); en el Grafico 1 se presenta los datos obtenidos en el proceso de tamizado, para ambas muestras de material de préstamo, conociendo que la muestra del material de la cantera “MegaRok”, posee un diámetro nominal mayor que el de la cantera “Hermanos Carrillo”. En ambos casos se presenta un material granular, porque los pasantes del tamiz N°200 son menores: al 50% según método SUCS y 35% según clasificación AASHTO.

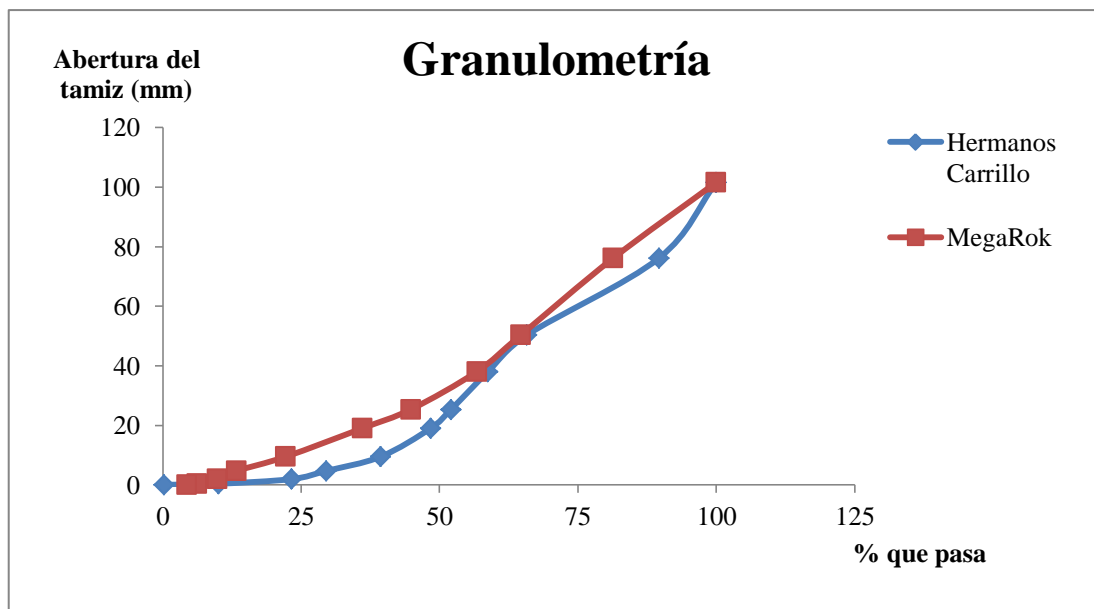


Gráfico 1. Curva Granulométrica de las muestras de las canteras MegaRok y Hermanos Carrillo

Para el cumplimiento de los objetivos; se debe realizar el análisis comparativo con las especificaciones dadas en la Normativa del Ministerio del Transporte y Obras Públicas (MTOP) en la sección 403 capítulo 400 (ver tabla 1).

TAMIZ	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3
3" (76.2 mm.)	--	--	100
2" (50.4 mm.)	--	100	--
1 1/2" (38,1 mm.)	100	70 – 100	--
Nº 4 (4.75 mm.)	30 – 70	30 – 70	30 – 70
Nº 40 (0.425 mm.)	10 – 35	15 – 40	--
Nº 200 (0.075 mm.)	0 – 15	0 - 20	0 - 20

Tabla 1. Porcentaje Granulométrico de los tipos de sub-base

Conocidas las especificaciones podremos realizar una comparación, dadas por las curvas granulométricas para los tres tipos de sub-base. En ambos casos de los materiales presentan un diámetro nominal mayor al requerido en las especificaciones, tal como se muestran los gráficos 2, 3 y 4; estos datos fueron tomados como referencial, para el cumplimiento de los objetivos, a causa de que se comprobó la resistencia, utilizando el material de diámetro nominal mayor.

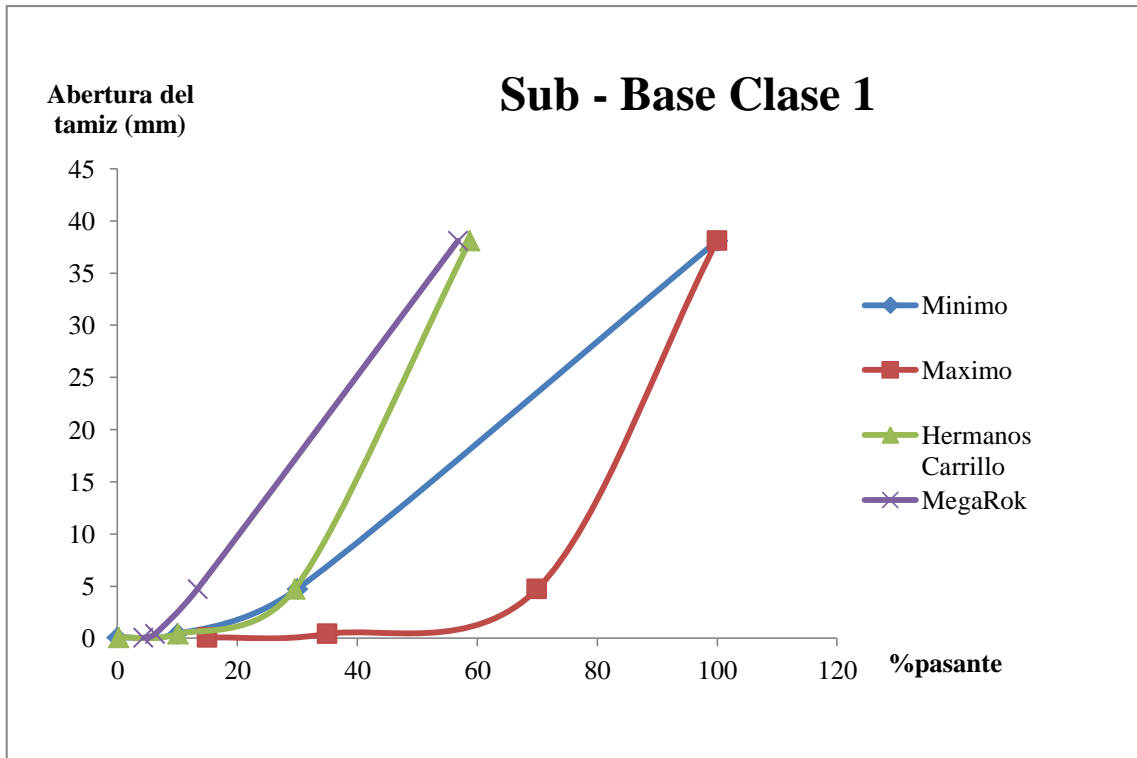


Gráfico 2. Comparación granulométrica con los máximos y mínimos para la Sub-base Clase 1

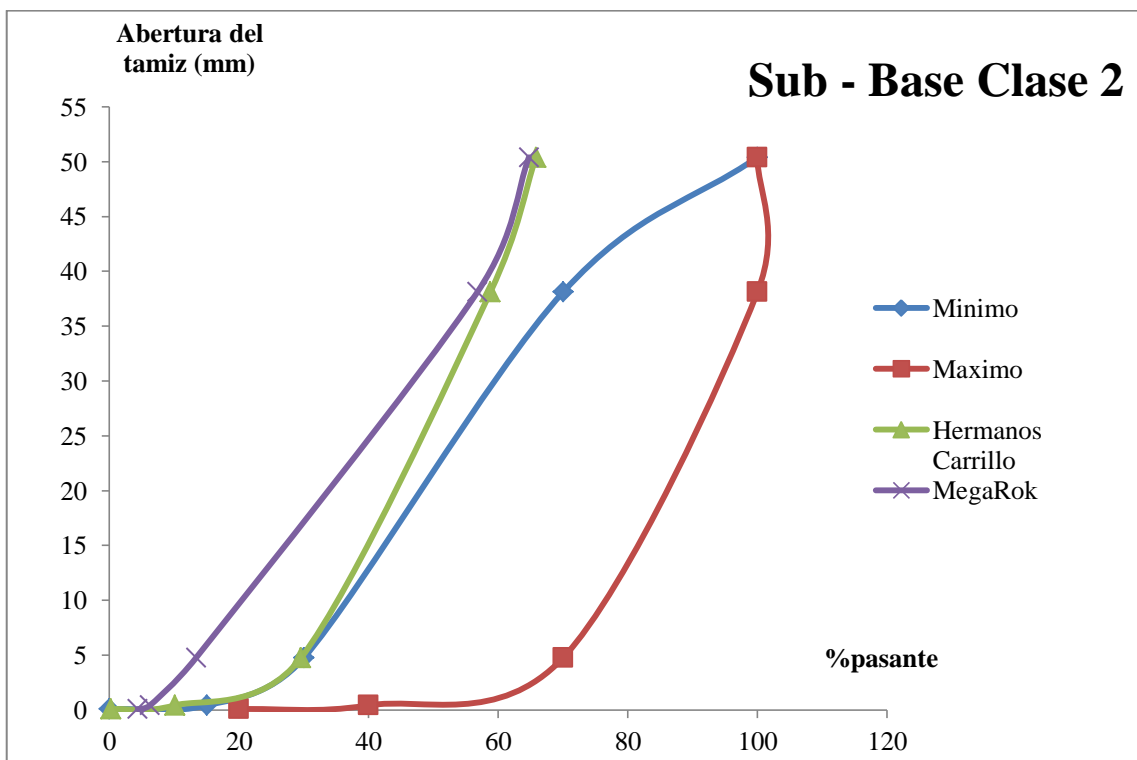


Gráfico 3. Comparación granulométrica con los máximos y mínimos para la Sub-base Clase 2

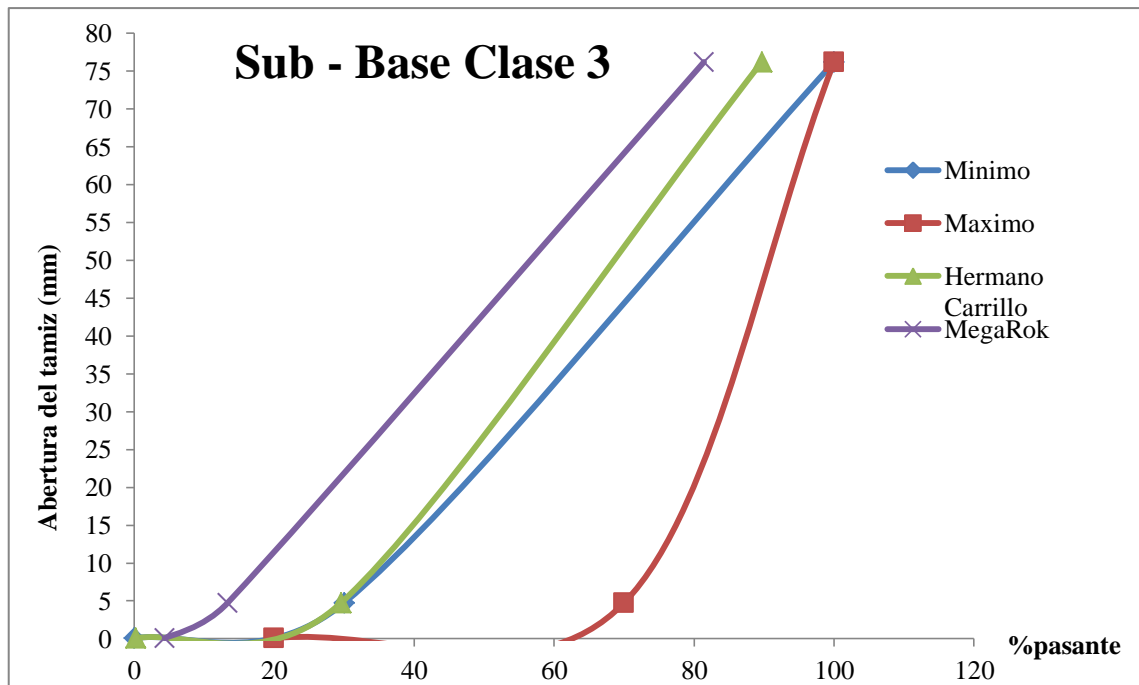


Gráfico 4. Comparación granulométrica con los máximos y mínimos para la Sub-base Clase 3

Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg, es decir límite líquido y límite plástico, se requieren para conocer el índice de plasticidad de un material granular, además de ser un parámetro para la clasificación de suelos, también se presenta como porcentaje mínimo que debe requerirse para sub-base es de 6%, para evitar deformaciones en la construcción de carreteras. El material de estudio en ambas muestras supera este porcentaje, así como lo muestra la tabla 3; característica que se ve equilibrada con la adición del cemento Portland, ya que el aditivo le aporta dureza y evita las deformaciones por hinchamiento con la presencia de humedad. En los gráficos 5 y 6 se presenta el análisis del cálculo del límite líquido en función del ensayo de Casagrande y las especificaciones de este.

	Hermanos Carrillo	MegaRok
Límite Líquido "LL" (%)	64,10	46,49
Límite Plástico "LP" (%)	42,51	37,35
Índice de Plasticidad "IP" (%)	21,59	9,15

Tabla 3. Representación de los porcentajes de LL, LP e IP de las muestras

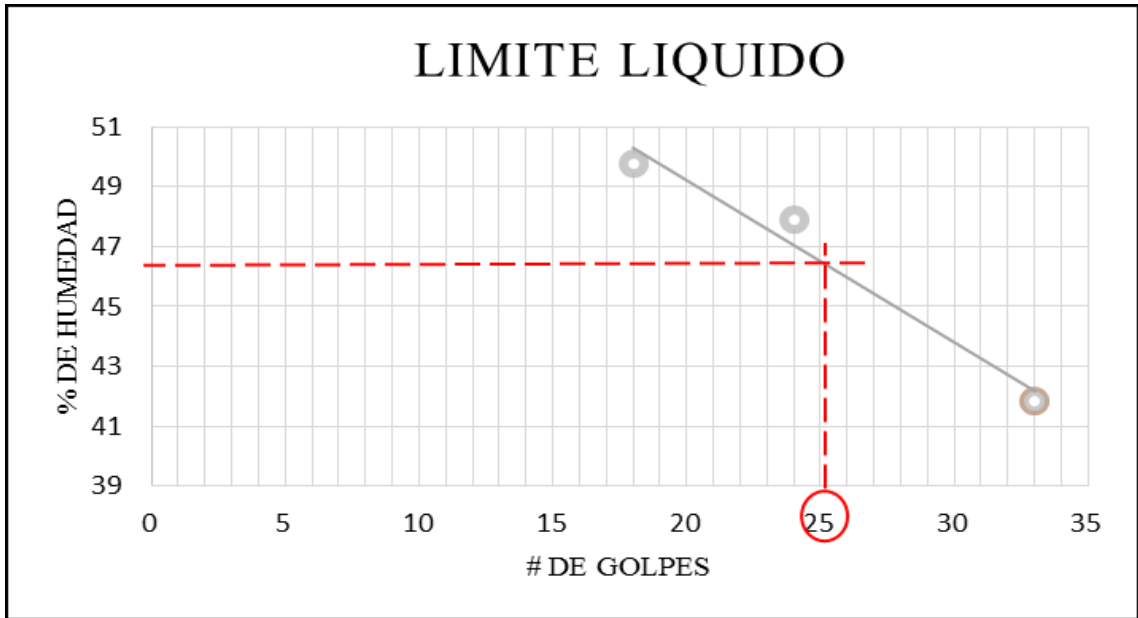


Gráfico 5. Análisis de Límite Líquido según Casagrande

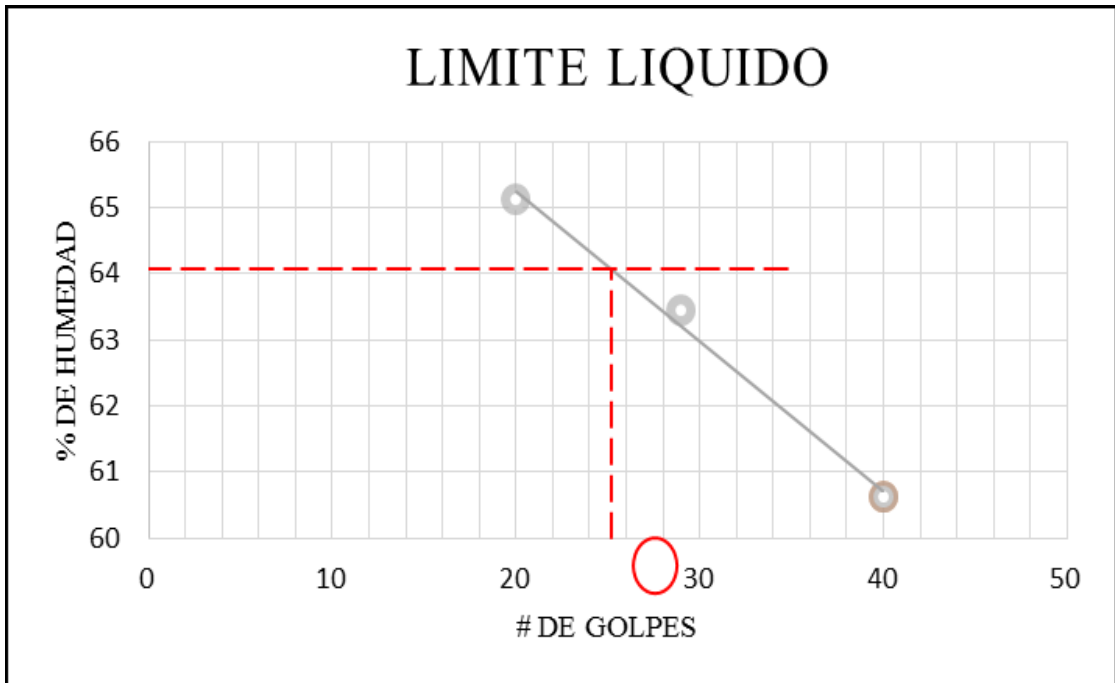


Gráfico 6. Análisis de Límite Líquido según Casagrande

Abrasión

El cálculo de desgaste de materiales, fue realizado en la máquina de Abrasión de Los Ángeles, el porcentaje de material desegregado es de 32% para el material de la cantera “Hermanos Carrillo” y 19% en la cantera “MegaRok”, por lo que observamos una dureza mayor en el material granular proporcionado por la cantera “MegaRok”.

Proctor

Los datos proporcionados por la tabla 4 muestra la Densidad Máxima Seca obtenida con un valor óptimo de humedad, sabiendo que al realizar el proceso de compactación a través del ensayo Proctor nos refleja una cantidad de agua satisfactoria, el uso elevado de humedecimiento provoca la saturación del material, la diferencia de densidad entre ambas muestras es de 328 Kg/cm³, siendo mayor el de la cantera “MegaRok”, y este mismo material necesita un porcentaje menor de humedad (20,8%) para lograr las características óptimas, mientras que el proporcionado por la cantera “Hermanos Carrillo” requiere mayor humedad (32%).

	Hermanos Carrillo	MegaRok
Densidad Máxima Seca (Kg/cm ³)	1392	1720
Humedad Óptima (%)	32,8	20,8

Tabla 4. Densidad Máxima Seca y Humedad Óptima obtenido de las muestras estudiadas

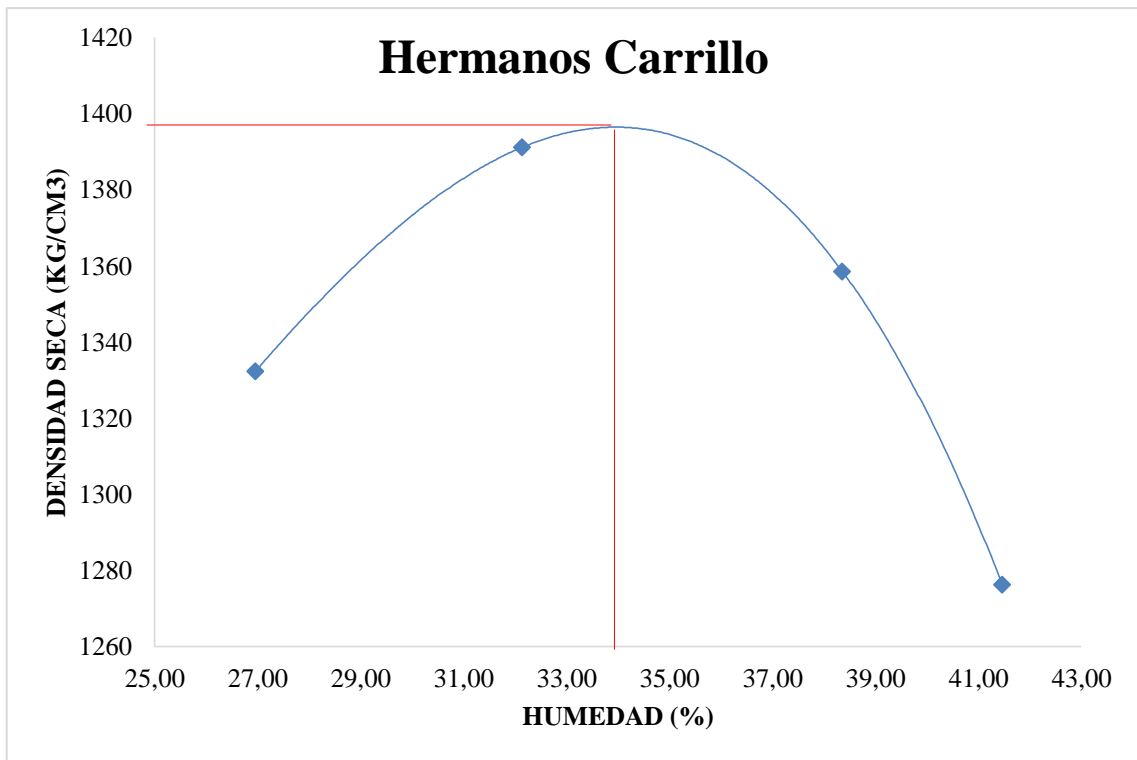


Gráfico 7. Densidad Máxima Seca y Humedad Óptima de la muestra de la Cantera Hermanos Carrillo

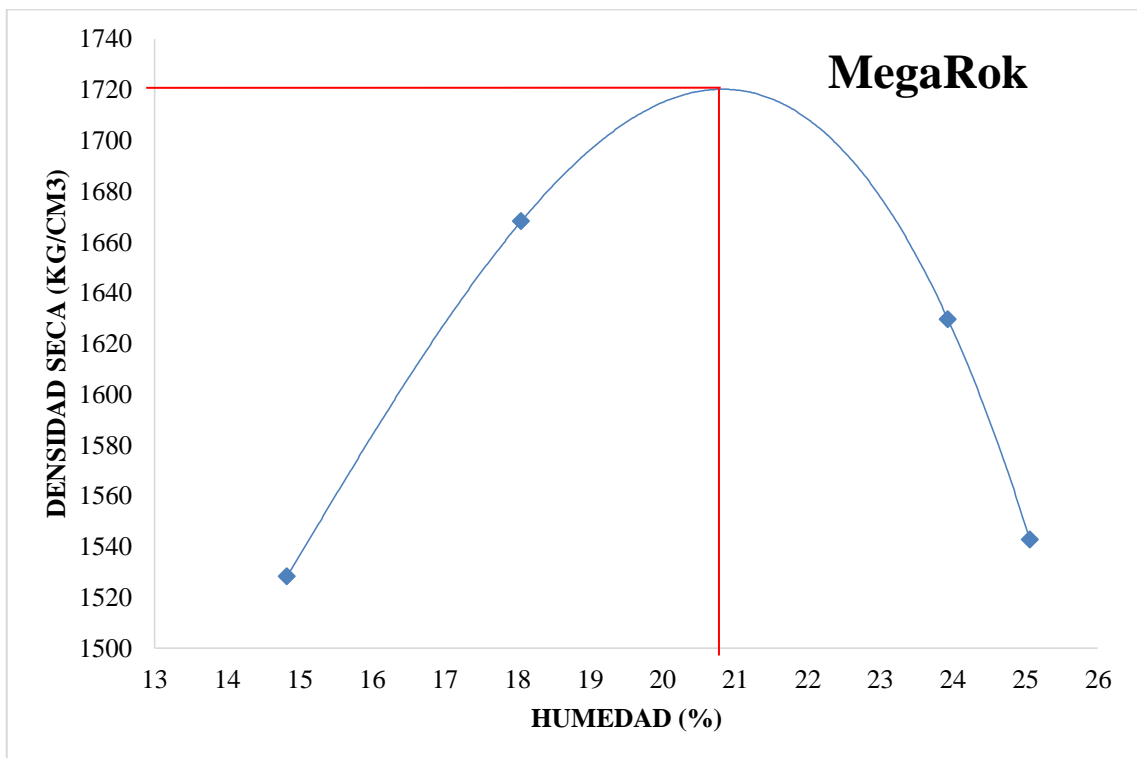


Gráfico 8. Densidad Máxima Seca y Humedad Óptima de la muestra de la Cantera MegaRok

C.B.R

El ensayo de C.B.R. mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, siendo conocidas en el ensayo Proctor; para efecto del ensayo y comparación de las condiciones en las que se puede encontrar el material, es decir seco y sometidos a saturación con un proceso de inmersión por 4 días en agua.

En los gráficos 9 y 10 se observa el porcentaje de C.B.R. dado para condiciones secas y saturadas para ambas muestras, utilizando tres probetas con un tipo diferente de energía (modificada, estándar y una intermedia a ambas) para cada una; dando como resultado una diferencia exponencial entre las dos condiciones; el valor considerado de C.B.R. de un material granular es el dado por la mayor energía (modificado) en las cuales para el material de “MegaRok” es 67,8% para condiciones secas y 9,8% para una condición saturada; y para el de la cantera “Hermanos Carrillo” 57,13% en condiciones secas y 4,72% en condiciones saturadas.

El valor considerado como normativa es el que presenta en las condiciones más desfavorables, es decir los establecidos por las condiciones de saturación; la normativa del MTOP se requiere un material con 30% de C.B.R. como mínimo; en ambas muestras el porcentaje es menor al requerido.

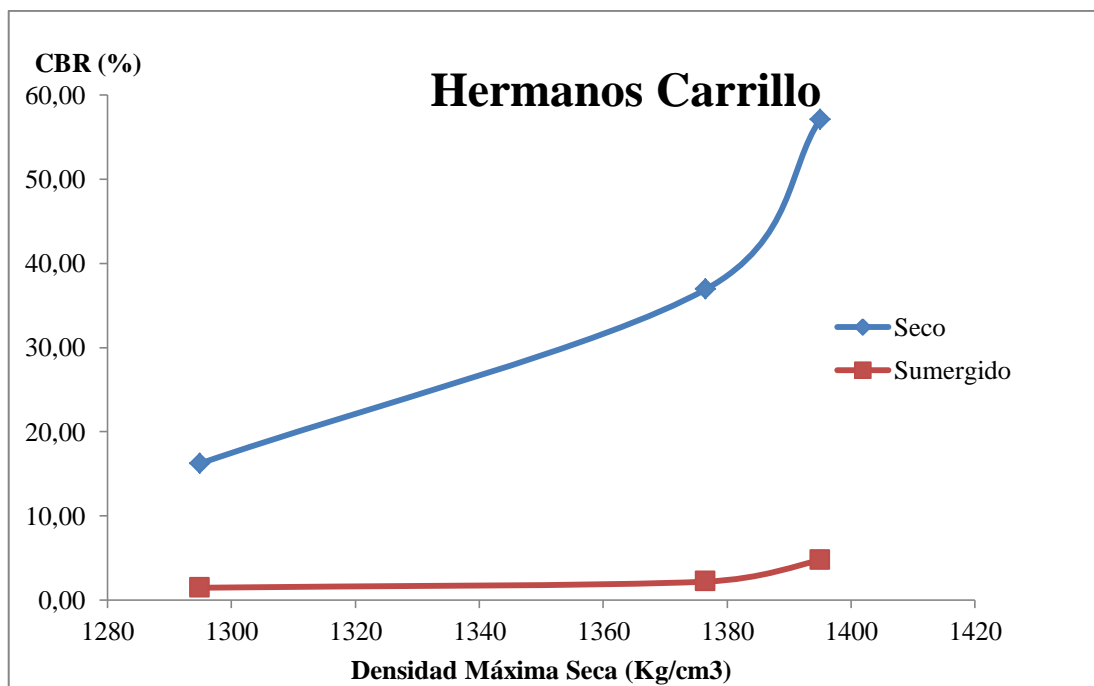


Gráfico 9. Porcentaje de C.B.R. de la muestra de la cantera Hermanos Carrillo

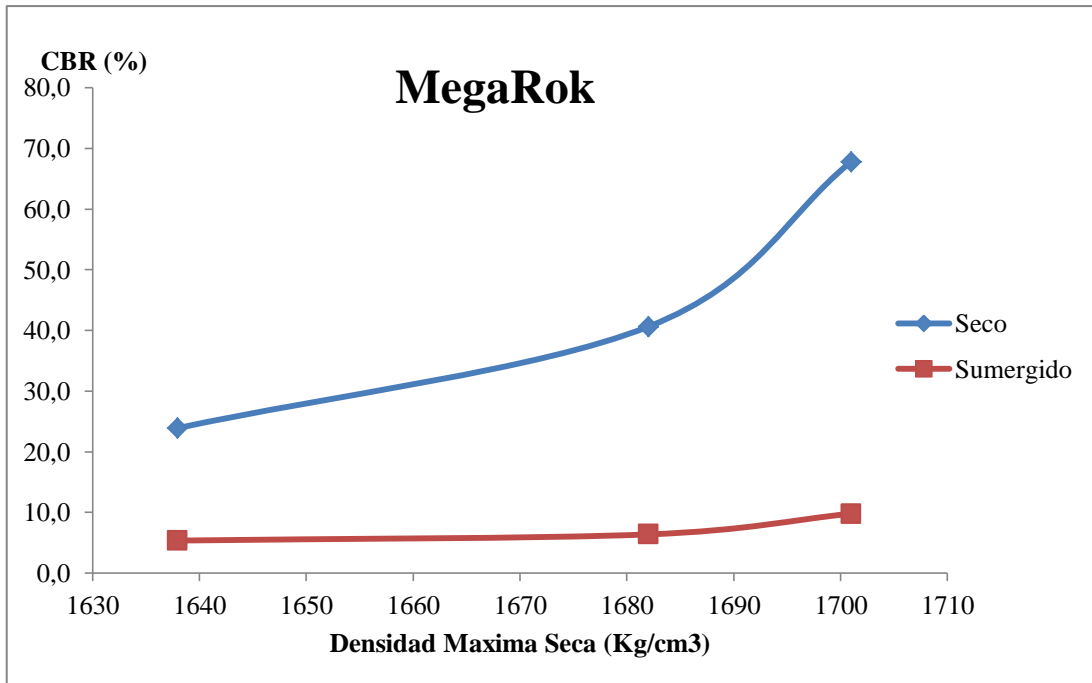


Gráfico 10. Porcentaje de C.B.R. de la muestra de la Cantera MegaRok

Los gráficos 11, 12, 13 y 14 proporcionan el crecimiento de la penetración que se produce por las presiones dadas por la carga patrón el Equipo Marshall (979,52lb/pg2) para ambas muestras en las dos condiciones (seca y en saturación); este crecimiento muestra que la presión ejercida es directamente proporcional a la energía aplicada a cada probeta de estudio.

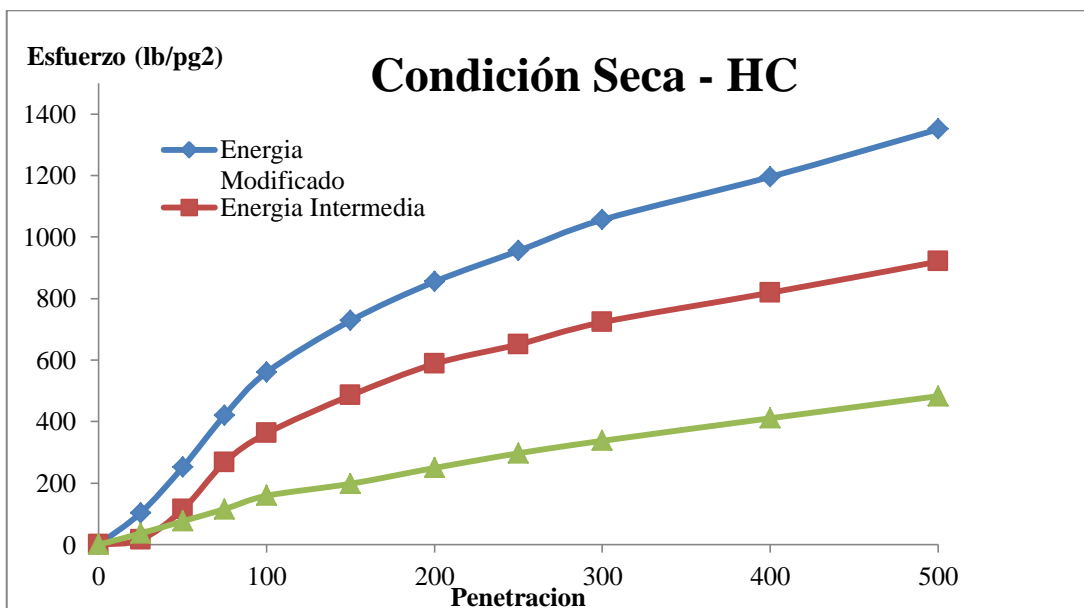


Gráfico 11. Curva Esfuerzo - Penetración de la muestra de la Cantera Hermanos Carrillo en condición seca

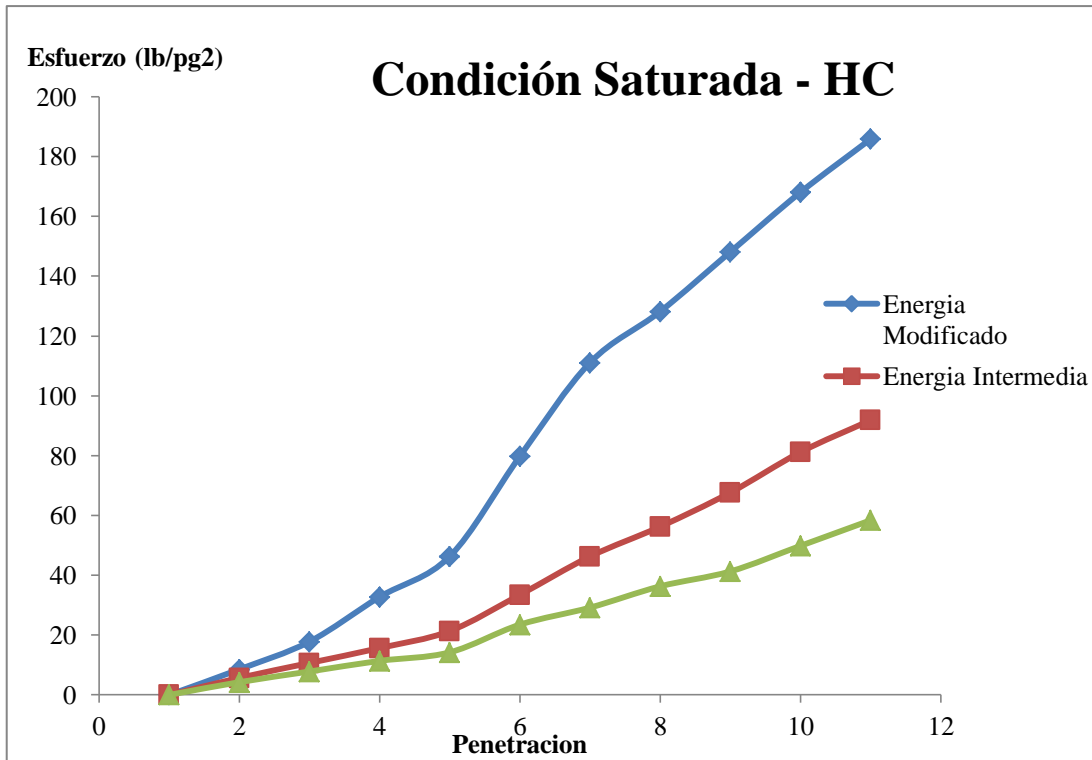


Gráfico 12. Curva Esfuerzo - Penetración de la muestra de la Cantera Hermanos Carrillo en condición saturada

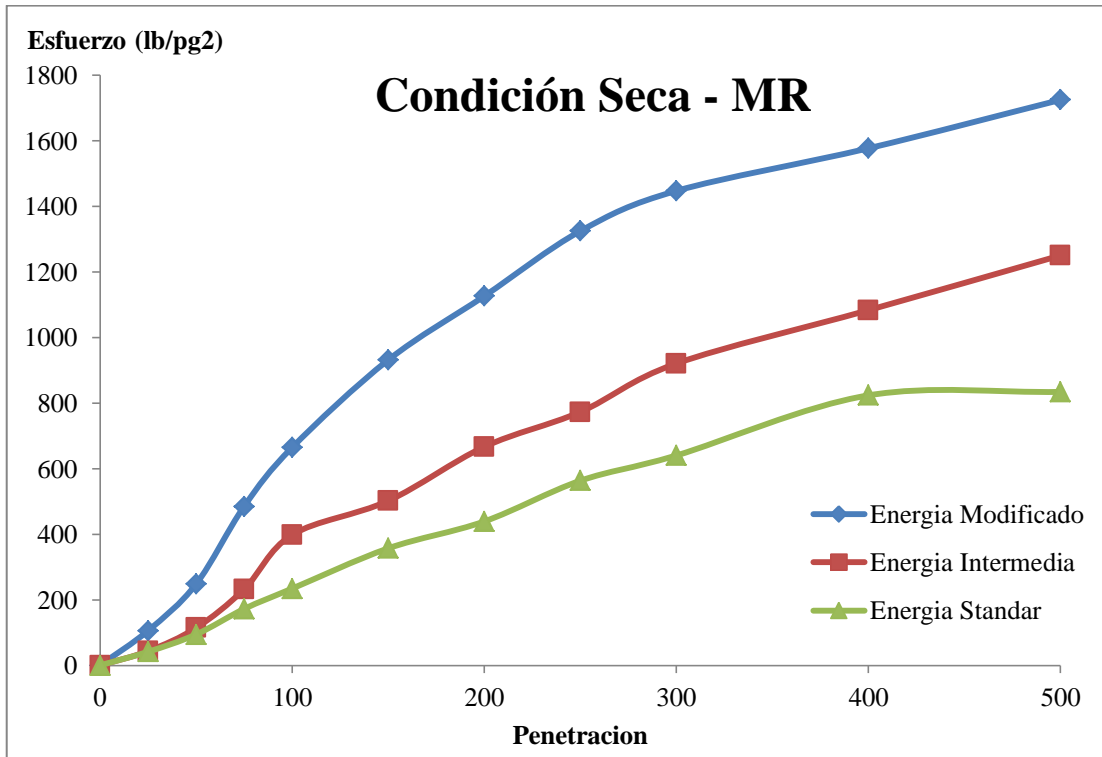


Gráfico 13. Curva Esfuerzo - Penetración de la muestra de la Cantera MegaRok en condición seca

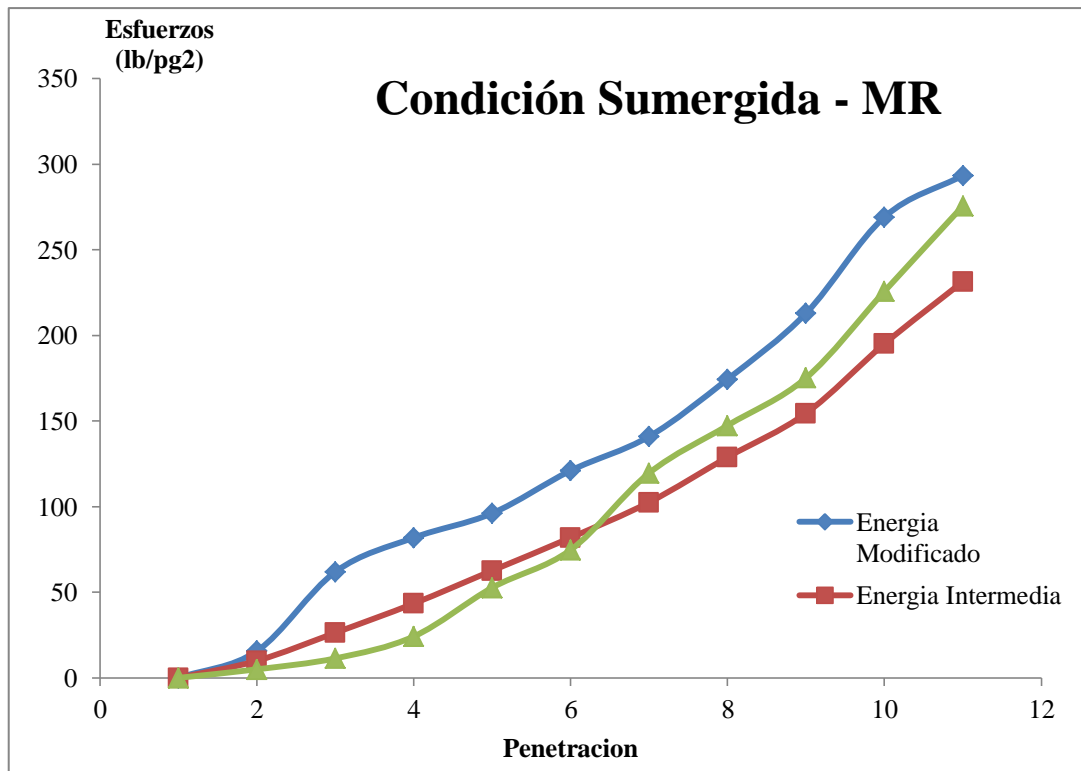


Gráfico 14. Curva Esfuerzo - Penetración de la muestra de la Cantera MegaRok en condición saturada

Material Mejorado

Luego de haber caracterizado el material de préstamo de las canteras “Hermanos Carrillo” y “MegaRok”, se comprobó que las muestras estudiadas no cumplen con las características requeridas para su utilización como sub-base en la estructura de pavimentos.

Para su tratamiento con cemento Portland, se realizó con la muestra que posee características menos desfavorables siendo el proporcionado por la cantera “MegaRok”, y así realizar los ensayos de Resistencia a Compresión y Humedecimiento – Secado.

Resistencia a Compresión

El ensayo provee los datos de la resistencia máxima para soportar esfuerzos a compresión, para el material tomado para el estudio, se utilizó los porcentajes del 5%, 7% y 9%, sobre el peso del material de acuerdo al Portland Cement Association, por lo que el material posee una categorización A-2; la tabla 5 muestra las resistencias a compresión para las muestras de los tres porcentajes de cemento portland adicionados.

% Cemento	Presión (Kg/cm ²)
5	18,819
7	34,629
9	57,12

Tabla 5. Resistencia a compresión para los diferentes porcentajes de Cemento

Para calcular el porcentaje óptimo de cemento para adquirir una resistencia equivalente a un C.B.R. a 30% (valor mínimo requerido para un material de sub-base); se utilizó el grafico 15; el porcentaje de cemento de 5,25% satisface este valor mínimo requerido (C.B.R. de 30%).

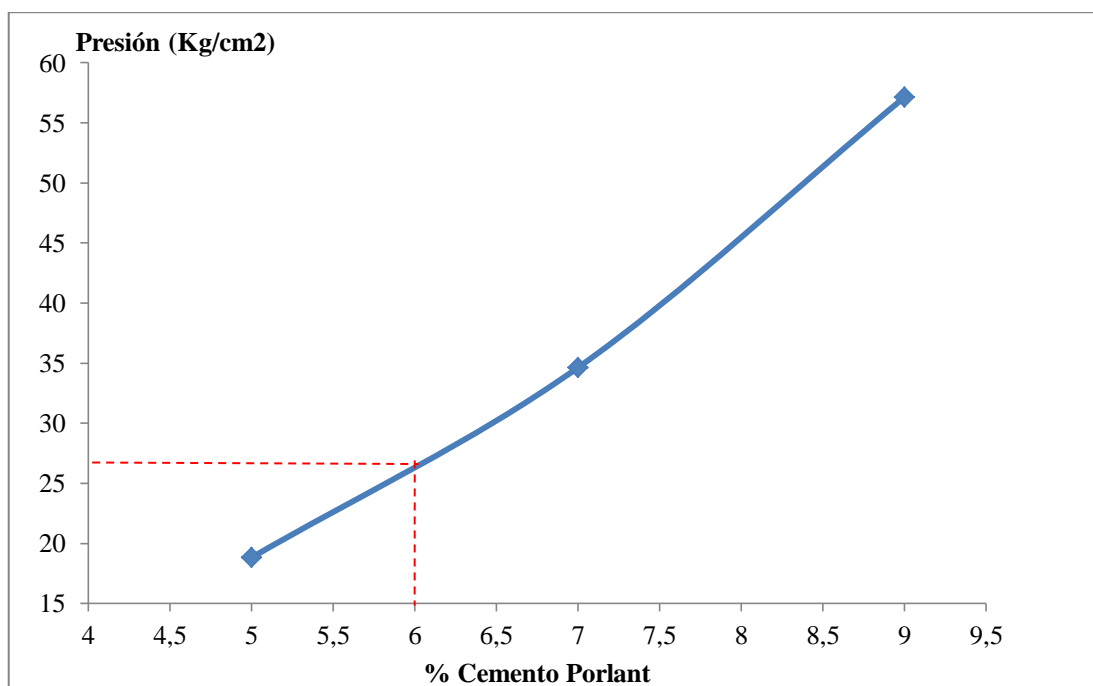


Gráfico 15. Determinación de Porcentaje óptimo de cemento se acuerdo al C.B.R. de Sub-base

Humedecimiento -Secado

Sabiendo que el material de préstamo de la cantera “MegaRok” cumple como sub-base en la estructura de pavimentos, tratándolo con 5,25% de cemento, se adicionó el 6% para el cálculo del desgaste a través del ensayo de humedecimiento – secado, en cual contaba con 7 ciclos de inmersión – secado – cepillado; porcentajes resultantes mínimos tal como lo muestra la tabla 6; llegando a una resistencia de 26,1 Kg/cm² lo que es equivalente al 38% de C.B.R.

Día	Desgaste (% - con respecto al peso inicial)
1	3,80
2	4,55
3	5,85
4	7,66
5	10,17
6	10,82
7	22,15

Tabla 6. Porcentaje de desgaste mediante humedecimiento - secado de la muestra

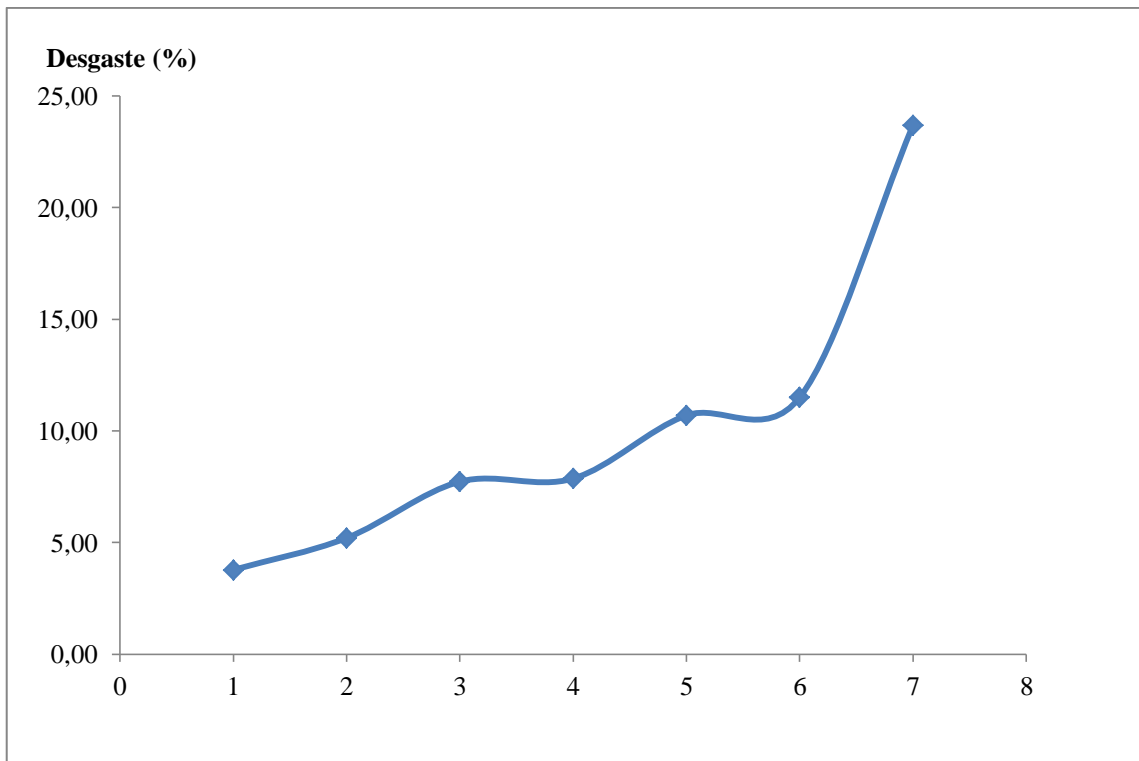


Gráfico 16. Curva de desgaste de la muestra en de Humedecimiento – Secado de suelo - cemento

9. Análisis de los datos

El material de préstamo adquirido de la cantera “Hermanos Carrillo”, presenta las siguientes propiedades necesarias para categorizar un material granular. Este material presentó una humedad natural al momento de la descarga de 30%, tomando en cuenta que la presencia de lluvias influyó en este porcentaje al momento de extracción del material; en cuanto a características de consistencia el material presenta un límite líquido de 64,1% y un límite plástico de 42,51%, adquiriendo un índice de plasticidad de un 21,59%, esta característica junto a la división granulométrica presentada en la tabla 7, se obtiene un suelos tipo A-2-7 según la clasificación según la normativa AASHTO y un suelo con presencia de grava, arena y arcilla (GC), según clasificación por el método unificado (SUCS). Mientras que el material proporcionado por la cantera “MegaRok” presento una humedad inicial del 17,33% y límites de consistencia de 46,49% para el límite líquido y 37,35% para el límite plástico, dando un índice de plasticidad de 9,15%; dando como resultado un material tipo A-2-6 según AASHTO y suelo con presencia de grava, arena y limo (GM) según clasificación SUCS.

Tamiz	Cantera “MegaRok” (%)	Cantera “Hermanos Carrillo” (%)
4”	100	100
3”	81,41	89,67
2”	64,73	65,81
1 ½”	56,78	58,78
1”	44,84	52,1
¾”	36,05	48,4
3/8”	22,25	39,39
Nº 4	13,36	29,59
Nº 10	9,87	23,29
Nº 40	6,25	10,08
Nº 200	4,35	0,23

Tabla 7. Características Granulométricas de las muestras de las canteras MegaRok y Hermanos Carrillo

La muestra seleccionada de la Cantera “MegaRok” presenta un material más resistente, presentando un porcentaje de desgaste del 19%, en comparación con la muestra seleccionada de la Cantera “Hermanos Carrillo” que tiene un desgaste del 32%.

Estos porcentajes representan la durabilidad que el material posee como resistencia al ser sometidos a diferentes estados de sollicitaciones. La diferencia de densidades en función a un porcentaje óptimo de humedad es considerable entre ambas muestras analizadas teniendo un valor de 328 Kg/cm^3 , siendo superior el material perteneciente a la Cantera “MegaRok” que requiere un porcentaje menor de humedad (20,8%) para lograr características óptimas en su densidad, en comparación con el material de la Cantera “Hermanos Carrillo” (32,8%).

La resistencia a esfuerzos de corte que poseen ambas muestras en condiciones de saturación son bajos en comparación con los establecidos para que un material sea óptimo y considerado como sub-base en una estructura de pavimentos, obteniendo un valor de C.B.R. de 9,8% y 4,72% para las muestras de las canteras “MegaRok” y “Hermanos Carrillo” respectivamente. Luego del análisis de las dos muestras del material de préstamo, se tomó el material de condiciones menos desfavorables para su análisis tratado con cemento Portland.

Para el tratamiento de la muestra seleccionada se utilizó las tablas del Portland Cement Association para conocer el porcentaje recomendado de cemento a utilizar en función del tipo de suelo según clasificación SUCS, para los resultados proporcionados por la cantera “MegaRok”, la cual presenta un tipo de suelo A-2-6, recomendando la adición de cemento en 5%, 7% y 9% con relación a su peso; los resultados dado con el ensayo de resistencia a compresión presentan esfuerzos equivalentes a C.B.R. de 27%, 50% y 83% para cada porcentaje de cemento (5%, 7% y 9% respectivamente).

En la determinación del desgaste a través del ensayo de humedecimiento – secado, se consideró el 6% de adición de cemento con el cual se obtiene un esfuerzo máximo de 26.6 kg/cm^2 , equivalente a un 38% de C.B.R, el mismo que es superior al mínimo establecido para una sub-base en la estructura de pavimentos; el desgaste a los 7 días del proceso de inmersión-secado-cepillado es del 22,15% con respecto al peso inicial.

10.Elaboración del reporte de los resultados

10.1. Conclusiones

- El material de préstamo proporcionado por las canteras “MegaRok” y “Hermanos Carrillo” en su estado natural no satisface las características necesarias para ser utilizado como sub-base en la estructura de pavimentos.
- Basándose a resultados de las propiedades de muestras utilizadas, se llegó a concluir que el material proporcionado por la cantera “MegaRok” es de condiciones menos desfavorables que el proporcionado por la cantera “Hermanos Carrillo”. El mismo que fue utilizado durante el desarrollo de la investigación.
- Para el material de préstamo proporcionado por la cantera “MegaRok” tratado con cemento, satisface con un 5,25% de cemento portland para su utilización como sub-base en la estructura de pavimentos.
- La utilización de un porcentaje elevado de cemento, aumenta la resistencia al corte, pero a su vez también eleva los costos de inversión, por lo que al utilizar esta alternativa se debe considerar el porcentaje necesario.
- El cambio de los componentes de la estructura de pavimentos convencionales por otro tipo de material que sea estabilizado por cemento, aumenta la resistencia y durabilidad de las carreteras.

10.2. Recomendaciones

- Analizar el material que se utilizará como sub-base en la estructura de pavimentos, para comprobar si cumple las características mínimas para esta utilización.
- Utilizar la tabla proporcionada por Portland Cement Association para conocer los porcentajes adecuados de cemento para determinar si la relación combinada de estos genera óptimos resultados.
- Recurrir a esta alternativa constructiva para vías de corta longitud, porque los costos de inversión inicial aumentarían en relación a los costos con la utilización de materiales convencionales.
- Si la utilización será con material de préstamo de la cantera “MegaRok” debe ser para uso como sub-base, ya que si se emplea como base granular los costos serán mayores, debido a que se requeriría mayor contenido de cemento.

11.Presupuesto

DESCRIPCION	VALOR
Material de cantera y transporte	\$85,00
Viáticos, Transporte y alimentos	\$ 60,00
Ensayos y estudios	\$ 170,00
Hojas y copias e impresiones	\$ 35,00
Otros materiales (cemento, fundas, cintas, entre otros)	\$ 25,00
TOTAL	\$ 375,00

12.Cronograma

ACTIVIDADES	SEMANAS											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Adquisición del material de la cantera.	X											
Caracterización del material en estado natural.		X	X									
Recopilación de información.				X								
Propuesta del diseño de mezcla.					X							
Generación del diseño metodológico.						X						
Caracterización del material tratado.							X	X				
Recolección y análisis de resultados.									X			
Desarrollo del aporte científico.										X		
Reporte de resultados.											X	
Elaboración de conclusiones y recomendaciones.												X

13. Bibliografía

- *MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y COMUNICACIONES. (2002). SECCION 303. EXCAVACION Y RELLENO. En M. D. PUBLICAS, MOP - 001-F 2002*
- *Antonio Turmo; Adolfo Bállega; Imanol Goikoetxea; Jesús Martínez ; Teresa Moreno ; José María Nasarre. (2004). MANUAL DE SENDEROS. ZARAGOZA: Prames, S.A (3RA EDICION) .*
- *INGENIERIA CIVIL. (ABRIL de 2010). Obtenido de COLOCACION DE RELLENO COMPACTADO: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/04/relleno-compactado.html>*
- *Revista digital Autosuficiencia. Varios artículos de construcciones con tierra*
- *Das, Braja M. (2001), “Fundamentos de Ingeniería Geotécnica”, Thomson Learning*
- *Das, Braja M. (2001), “Principios de Ingeniería de Cimentaciones”, International Thomson Editores.*
- *Universidad Nacional de Ingeniería – FIC (), “Laboratorio de Mecánica de Suelos”.*
- *Ingeniería de Pavimentos, 2010, Alfonso Montejo Fonseca, Colombia*
- *Tomás, R., Cano, M., García-Barba, J., Santamarta, J.C., Hernández, L.E., Rodríguez, J.A., Zamora, R. (2013). Prácticas de Ingeniería del Terreno. Universidades de Alicante y de La Laguna. <http://web.ua.es/es/ginter/> ó <http://ocw.uv.es/> (fecha de acceso). License: Creative Commons BY-NC-SA.*
- *IECA, “Manual de Pavimentos Industriales”. Madrid, septiembre del 2000.*

14. Anexos

APÉNDICE A

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO

El sistema de clasificación American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (Designación ASTM D-3282; método AASHTO M145) es uno de los primeros sistemas de clasificación de suelos, desarrollado por Terzaghi y Hogentogler en 1928. Este sistema pasó por varias revisiones y actualmente es usado para propósitos ingenieriles enfocados más en el campo de las carreteras como la construcción de los terraplenes, sub-rasantes, sub-bases y bases de las carreteras. Sin embargo es necesario recordar que un suelo que es bueno para el uso de sub-rasantes de carreteras puede ser muy pobre para otros propósitos.

Este sistema de clasificación está basado en los resultados de la determinación en laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y el límite plástico.

La evaluación de los suelos dentro de cada grupo se realiza por medio de un índice de grupo, que es un valor calculado a partir de una ecuación empírica. El comportamiento geotécnico de un suelo varía inversamente con su índice de grupo, es decir que un suelo con índice de grupo igual a cero indica que es material “bueno” para la construcción de carreteras, y un índice de grupo igual a 20 o mayor, indica un material “muy malo” para la construcción de carreteras.

Los suelos clasificados dentro los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares de los cuales 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz N° 200. Los suelos que tienen más del 35% de partículas que pasan a través del tamiz N° 200 se clasifican dentro de los grupos de material fino A-4, A-5, A-6 y A-7. Estos suelos son principalmente limo y materiales de tipo arcilla.

El sistema de clasificación AASHTO presenta las siguientes características:

- Características del sistema de clasificación AASHTO (ASTM D-3282)
- Procedimiento de clasificación AASHTO
- Cálculo del índice de grupo

En esta clasificación los suelos se clasifican en siete grupos (A-1, A-2,..., A-7), según su granulometría y plasticidad. Más concretamente, en función del porcentaje que pasa por los tamices N° 200, 40 y 10, y de los Límites de Atterberg de la fracción que pasa por el tamiz N° 40. Estos siete grupos se corresponden a dos grandes categorías de suelos, suelos granulares (con no más del 35% que pasa por el tamiz N° 200) y suelos limo-arcillosos (más del 35% que pasa por el tamiz N° 200). La categoría de los suelos granulares; gravas, arenas y zahorras; está compuesta por los grupos A-1, A-2 y A-3, y su comportamiento en explanadas es, en general, de bueno a excelente, salvo los subgrupos A-2-6 y A-2-7, que se comportan como los suelos arcillosos debido a la alta plasticidad de los finos que contiene, siempre que el porcentaje de estos supere el 15%. Los grupos incluidos por los suelos granulares son los siguientes:

- A-1: Corresponde a una mezcla bien graduada de gravas, arenas (gruesa y fina) y finos no plásticos o muy plásticos. También se incluyen en este grupo las mezclas bien graduadas de gravas y arenas sin finos.
- A-1-a: Incluye los suelos con predominio de gravas, con o sin material fino bien graduado.
- A-1-b: Incluye suelos constituidos principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino bien graduado.
- A-3: Corresponde, típicamente, a suelos constituidos por arena fina de playa o de duna, de origen eólico, sin finos limosos o arcillosos o con una pequeña cantidad de limo no plástico. También incluyen este grupo, los depósitos fluviales de arena fina mal graduada con pequeñas cantidades de arena gruesa o grava.

- A-2: Este grupo comprende a todos los suelos que contienen un 35% o menos de material que pasa por el tamiz N° 200 y que no pueden ser clasificados en los grupos A-1 y A-3, debido a que el porcentaje de finos o la plasticidad de estos (o ambas cosas) están por encima de los límites fijados para dichos grupos. Por todo esto, este grupo contiene una gran variedad de suelos granulares que estarán entre los correspondientes a los grupos A-1 y A-3 y a los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.
- A-2-4 y A-2-5: En estos subgrupos se incluyen los suelos que contienen un 35% o menos de material que pasa por el tamiz N° 200 y cuya fracción que pasa por el tamiz N° 40 tiene las características de los grupos A-4 y A-5, de suelos limosos. En estos subgrupos están incluidos los suelos compuestos por grava y arena gruesa con contenidos de limo o índices de plasticidad por encima de las limitaciones del grupo A-1, y los suelos compuestos por arena fina con una proporción de limo no plástico que excede la limitación del grupo A-3.

A-2-6 y A-2-7: En estos subgrupos se incluyen suelos como los descritos para en los subgrupos A-2-4 y A-2-5, excepto que los finos contienen arcilla plástica con tienen las características de los grupos A-6 y A-7.

La categoría de los suelos limo-arcillosos está compuesta por los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, cuyo comportamiento en explanadas va de regular a malo. En esta categoría los suelos se clasifican en los distintos grupos atendiendo únicamente a su límite líquido y a su índice de plasticidad, según las zonas del siguiente gráfico de plasticidad. De esta forma se clasifican también los suelos del grupo A-2 en los distintos subgrupos.

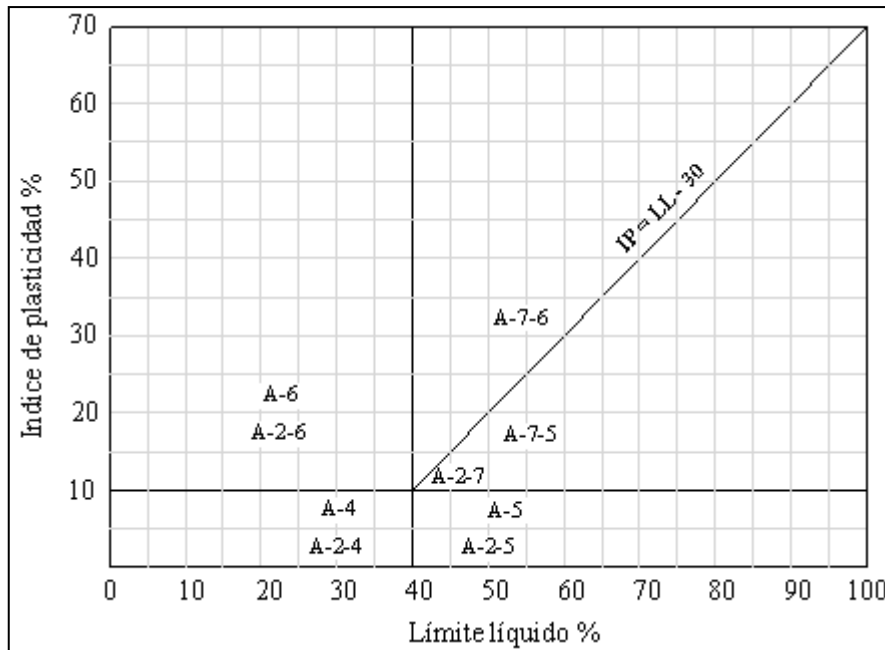


Ilustración 2. Carta de plasticidad AASHTO

Los grupos incluidos en los suelos granulares son los siguientes:

- A-4: El suelo típico de este grupo es un suelo limoso no plástico o moderadamente plástico, que normalmente tiene un 75% o más de material que pasa por el tamiz N° 200. También se incluyen en este grupo los suelos constituidos por mezclas de suelo fino limosos y hasta un 64% de gravas y arenas.
- A-5: El suelo típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-4, salvo que suele tener carácter diatomáceo o micáceo, y pueden ser muy compresibles, como indica su elevado límite líquido.
- A-6: El suelo típico de este grupo es un suelo arcillosos plástico, que normalmente tiene un 75% o más de material que pasa por el tamiz N° 200. También se incluyen en este grupo las mezclas de suelo fino arcilloso y hasta un 64% de gravas y arenas. Estos suelos, experimentan generalmente grandes cambios de volumen entre los estados seco y húmedo.

- A-7: El suelo típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-6, salvo que tiene las características de elevado límite líquido del grupo A-5, y puede ser elástico y estar sujeto a grandes cambios de volumen.
- A-7-5: Se incluyen en este subgrupo los suelos con un índice de plasticidad moderado en relación con el límite líquido y que pueden ser altamente compresibles, además de estar sujetos a importantes cambios de volumen.
- A-7-6: Se incluyen en este subgrupo los suelos con un índice de plasticidad elevado en relación con el límite líquido y que están sujetos a cambios de volumen muy importantes.

La clasificación realizada de esta manera se complementa con el índice de grupo, que permita caracterizar mejor cada suelo dentro de los grupos, ya que estos admiten suelos con porcentajes de finos y plasticidad muy diferentes. El índice de grupo se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

Siendo:

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

LL = Límite líquido

IP = Índice de plasticidad

El índice de grupo se expresa en números enteros positivos (un número negativo se expresará como IG = 0) y se escribe entre paréntesis a continuación de los símbolos de grupo o subgrupo correspondientes, por ejemplo A-2-4 (0). Generalmente cuanto menor es el IG de un suelo, mejores son las cualidades del suelo como explanada o capa de asiento del firme. Los suelos de los grupos A-1, A-3, A-2-4 y A-2-5, que pueden calificarse de buenos a excelentes, tienen un IG = 0. Un IG = 20 o mayor corresponde a un suelo de muy mala calidad, en condiciones medias de drenaje y compactación. El valor crítico de finos es F = 35 con independencia de la plasticidad, y si el índice de plasticidad es superior a 10 este

valor será $F = 15$. Los valores críticos del límite líquido y del índice de plasticidad serán, respectivamente, 40 y 10. Por último, hay que señalar que para calcular el IG de los subgrupos A-2-6 y A-2-7 sólo se considera el segundo sumando de la expresión.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
Clasificación de grupo	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...		...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

^A La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

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

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN SUCS

La determinación y cuantificación de las diferentes propiedades de un suelo, efectuadas mediante los ensayos vistos anteriormente, tienen como objetivo último el establecimiento de una división sistemática de los diferentes tipos de suelos existentes atendiendo a la similitud de sus caracteres físicos y sus propiedades geomecánicas.

Una adecuada y rigurosa clasificación permite al ingeniero de carreteras tener una primera idea acerca del comportamiento que cabe esperar de un suelo como cimiento del firme, a partir de propiedades de sencilla determinación; normalmente, suele ser suficiente conocer la granulometría y plasticidad de un suelo para predecir su comportamiento mecánico. Además, facilita la comunicación e intercambio de ideas entre profesionales del sector, dado su carácter universal.

Fue Casagrande quien en 1942 ideó este sistema genérico de clasificación de suelos, que fue empleado por el Cuerpo de Ingenieros del ejército de los EE.UU. para la construcción de pistas de aterrizaje durante la II Guerra Mundial.

Diez años más tarde, y vista la gran utilidad de este sistema en Ingeniería Civil, fue ligeramente modificado por el Bureau of Reclamation, naciendo el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); este sistema fue adoptado por la ASTM (American Society of Testing Materials) como parte de sus métodos normalizados.

Dicha clasificación se vale de unos símbolos de grupo, consistentes en un prefijo que designa la composición del suelo y un sufijo que matiza sus propiedades.

En el siguiente esquema se muestran dichos símbolos y su significación:

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

En función de estos símbolos, pueden establecerse diferentes combinaciones que definen uno y otro tipo de suelo:

SIMBOLO	CARACTERISTICAS GENERALES		
GW	GRAVAS (>50% en tamiz N°4 ASTM)	Limpias (Finos <5%)	Bien gradada
GP			Mal gradada
GM		Con finos (Finos>12%)	Componente limosos
GC			Componente arcilloso
SW	ARENAS (<50% en tamiz N°4 ASTM)	Limpias (Finos <5%)	Bien gradada
SP			Mal gradada
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	Baja plasticidad (LL<50)	
OH	ORGÁNICOS	Alta plasticidad (LL>50)	
Pt	TURBA	Suelos altamente orgánicos	

Como puede deducirse de la anterior Tabla, existe una clara distinción entre tres grandes grupos de suelos:

- a) Suelos de grano grueso (G y S): Formados por gravas y arenas con menos del 50% de contenido en finos, empleando el tamiz N° 200 ASTM.
- b) Suelos de granos fino (M y C): Formados por suelos con al menos un 50% que pasa el tamiz N° 200, de contenido en limos y arcillas.
- c) Suelos orgánicos (O, Pt): Constituidos fundamentalmente por materia orgánica. Son inservibles como terreno de cimentación.

Los suelos gruesos a su vez se dividen en dos grandes grupos: gravas (G), y arenas (S). El criterio para separarlos es otra vez granulométrico: si más del 50% de la fracción gruesa se retiene en el tamiz N° 4, es una grava y si el 50% o un porcentaje mayor de la fracción gruesa para el tamiz N° 4, es una arena.

Asimismo, dentro de la tipología expuesta pueden existir casos intermedios, empleándose una doble nomenclatura; por ejemplo, una grava bien gradada que contenga entre un 5% y 12% de finos se clasificará como GW-GM.

Los suelos finos, atendiendo a sus condiciones de plasticidad (directamente relacionada con las propiedades mecánicas del suelo fino) y a su contenido orgánico (también influyente en su comportamiento) se dividen en otros tres grandes grupos. El primero está constituido por los suelos no plásticos o poco plásticos llamados Limos (prefijo M, del sueco mo a mjala); el segundo incluye los suelos plásticos denominados Arcillas (prefijo C, de clay), y el tercero corresponde a los suelos orgánicos (prefijo O, de organic).

Establecidos así los seis grandes grupos: gravas, arenas, limos, arcillas, orgánicos y muy orgánicos, pasamos a detallar la conformación de los siguientes grupos:

Clasificación de la Gravas

Para el caso en que el contenido de finos sea menor al 5% y mayor al 12%, se pueden tener 4 posibles dobles símbolos:

- **GW-GM**, grava bien gradada con limo
- **GW-GC**, grava bien gradada con arcilla
- **GP-GM**, grava mal gradada con limo
- **GP-GC**, grava mal gradada con arcilla

Bien gradada si: $C_u \geq 4$, $1 \leq C_c \leq 3$ y mal gradada si no cumplen con estos requisitos.

Los correspondientes ensayos de granulometría y plasticidad permitirán definir cuál de estos dobles símbolos es el correcto para un cierto suelo analizado.

Clasificación de las Arenas

Se sigue un procedimiento análogo al de las gravas. Así, si la fracción fina es del 5% o menos, ésta ya no tiene influencia, pero si es mayor al 12%, la influencia es decisiva. Nacen los grupos de arenas limpias y arenas sucias.

- **SW-SM**, arena bien gradada con limo
- **SW-SC**, arena bien gradada con arcilla
- **SP-SM**, arena mal gradada con limo
- **SP-SC**, arena mal gradada con arcilla

Arenas bien gradadas si: $C_u \geq 6$, $1 \leq C_c \leq 3$ y arenas mal gradadas si no cumplen con estos requisitos.

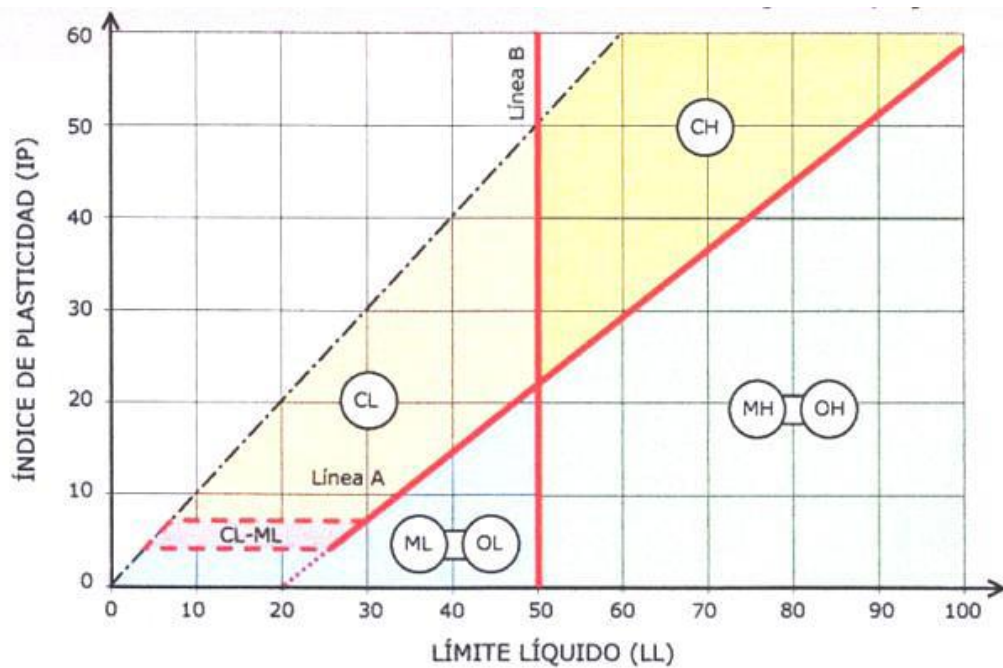
Igualmente, los ensayos de granulometría y plasticidad ejecutados sobre la fracción fina del suelo analizado permitirán definir cuál de estos doble símbolos es el correcto para cada caso.

Clasificación de los suelos finos: La Carta de Plasticidad de Casagrande

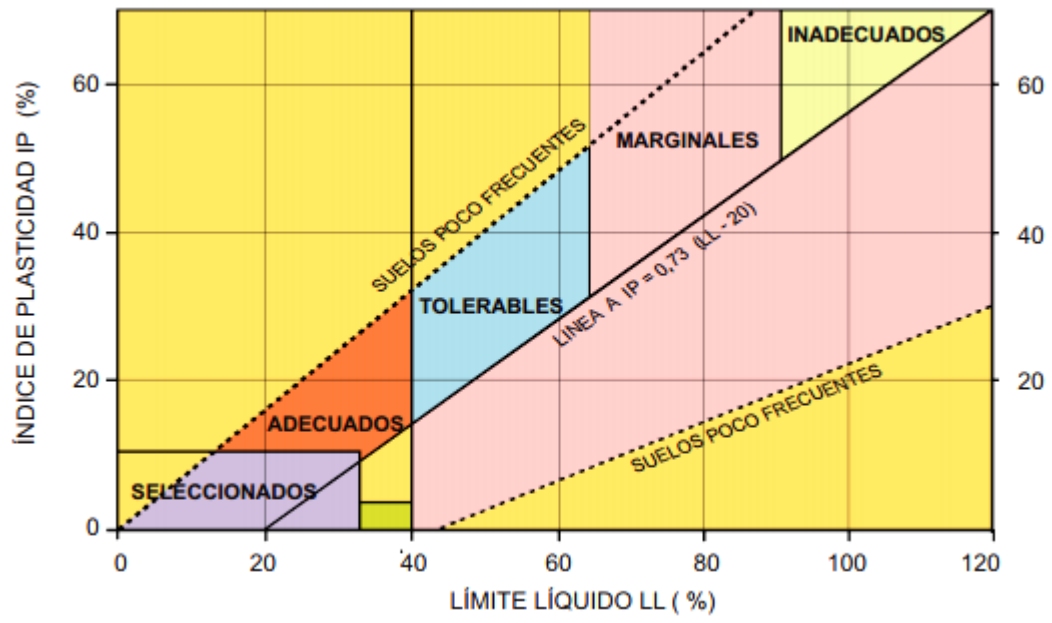
Tras un estudio experimental de diferentes muestras de suelos de grano fino, Casagrande consigue ubicarlos en un diagrama que relaciona el límite líquido (LL) con el índice de plasticidad (IP). En este diagrama, conocido como la carta de Casagrande de los suelos cohesivos, destacan dos grandes líneas que actúan a modo de límites:

Línea A: $IP = 0.73 (LL-20)$

Línea B: $LL = 50$



Si un suelo grueso, grava o arena, tiene una fracción fina cuyo porcentaje oscile entre 5% y 12%, y además los ensayos indican que esta fracción fina cae en la zona CL-ML, el segundo símbolo será el de una arcilla (GC o SC), y la condición de frontera se indicará en el nombre. Por ejemplo una arena más gradada con 10% de finos, cuyo límite líquido es 20% y su índice de plasticidad es 6%, se clasificará como SP-SC y se llamará arena mal gradada con arcilla limosa. Recuérdese siempre que en el SUCS no existe triple símbolo ni otros dobles símbolos aparte de los ya indicados.



DATOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ							
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS							
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
Tipo de material:		Lastre					
Nombre de Cantera:		San Jose					
ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL							
MUESTRA # 1							
Id. Tara	Masa húmeda + tara	Masa seca + tara	Masa de tara	Masa de agua	Masa suelo seco	Humedad	
911	192,98 gr	156,96 gr	42,00 gr	36,02 gr	114,96 gr	31,33 %	30,07 %
B	167,69 gr	137,89 gr	35,82 gr	29,80 gr	102,07 gr	29,20 %	
13	240,89 gr	202,44 gr	72,93 gr	38,45 gr	129,51 gr	29,69 %	

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ							
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS							
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
Tipo de material:		Lastre					
Nombre de Cantera:		MEGAROK S.A.					
ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL							
MUESTRA # 1							
Id. Tara	Masa húmeda + tara	Masa seca + tara	Masa de tara	Masa de agua	Masa suelo seco	Humedad	
KL	186,00 gr	161,17 gr	30,00 gr	24,83 gr	131,17 gr	18,93 %	17,33 %
K	234,00 gr	204,41 gr	30,00 gr	29,59 gr	174,41 gr	16,97 %	
A	216,00 gr	191,73 gr	41,00 gr	24,27 gr	150,73 gr	16,10 %	

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

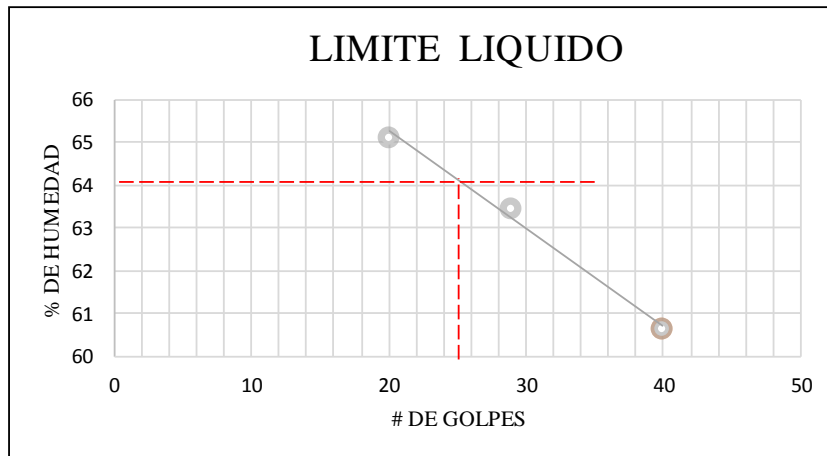
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Tipo de material: Lastre
Nombre de Cantera: San Jose

LIMITES DE ATTERBERG

LIMITE LIQUIDO (L.L.)

# de golpes	Id. Tara	Masa humeda + tara	Masa seca + tara	Masa tara	Masa agua	Masa suelo seco	Humedad	
40	36	36,45 gr	28,80 gr	16,18 gr	7,65 gr	12,62 gr	60,62 %	63,06 %
29	32	36,19 gr	28,83 gr	17,23 gr	7,36 gr	11,60 gr	63,45 %	
20	89	39,43 gr	30,77 gr	17,47 gr	8,66 gr	13,30 gr	65,11 %	



LIMITE PLASTICO (L.P.)

Id. Tara	Masa humeda + tara	Masa seca + tara	Masa tara	Masa agua	Masa suelo seco	Humedad	
86 A	8,28 gr	7,78 gr	6,63 gr	0,50 gr	1,15 gr	43,48 %	42,51 %
203	8,45 gr	7,94 gr	6,73 gr	0,51 gr	1,21 gr	42,15 %	
9	8,35 gr	7,91 gr	6,86 gr	0,44 gr	1,05 gr	41,90 %	

LÍMITE LÍQUIDO	64,10
LÍMITE PLÁSTICO	42,51
INDICE PLÁSTICO	21,59

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

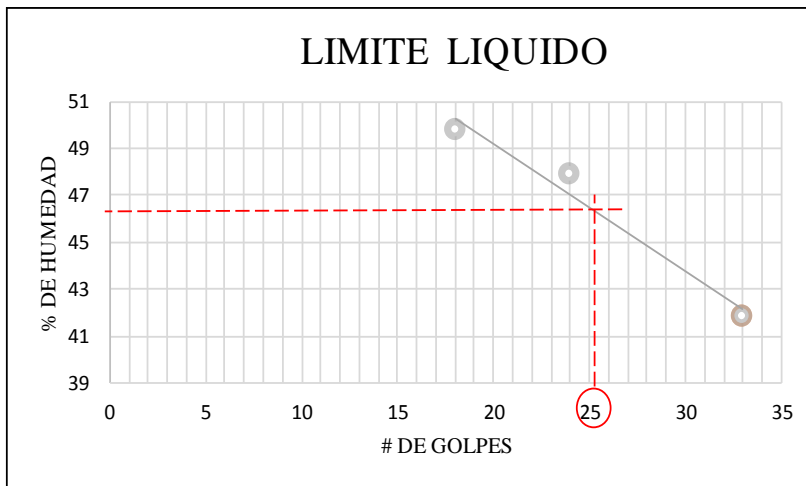
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Tipo de material: Lastre
Nombre de Cantera: MEGAROK S.A.

LÍMITES DE ATTERBERG

LÍMITE LÍQUIDO (L.L.)

# de golpes	Id. Tara	Masa húmeda + tara	Masa seca + tara	Masa tara	Masa agua	Masa suelo seco	Humedad	
33	7	35,82 gr	30,26 gr	16,97 gr	5,56 gr	13,29 gr	41,84 %	46,50 %
24	A8	44,26 gr	35,76 gr	18,02 gr	8,50 gr	17,74 gr	47,91 %	
18	26	41,26 gr	33,90 gr	19,11 gr	7,36 gr	14,79 gr	49,76 %	



L.L= 46,50 %

LÍMITE PLÁSTICO (L.P.)

Id. Tara	Masa húmeda + tara	Masa seca + tara	Masa tara	Masa agua	Masa suelo seco	Humedad	
18	8,53 gr	8,05 gr	6,75 gr	0,48 gr	1,30 gr	36,92 %	37,35 %
4	33,22 gr	32,30 gr	29,89 gr	0,92 gr	2,41 gr	38,17 %	
1	33,15 gr	32,57 gr	31,00 gr	0,58 gr	1,57 gr	36,94 %	

LÍMITE LÍQUIDO	46,50
LÍMITE PLÁSTICO	37,35
INDICE PLÁSTICO	9,15

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Tipo de material: Lastre
Nombre de Cantera: MEGAROK S.A.

GRANULOMETRIA SERIE GRUESA

Tamiz	Peso Retenido Parcial	Peso Retenido Acumulado	Porcentaje Retenido	Porcentaje que Pasa	Porcentaje de Especificacion
4"	0 gr	0 gr	0,00 %	100,00 %	
3"	4533 gr	4533 gr	18,59 %	81,41 %	
2"	4067 gr	8600 gr	35,27 %	64,73 %	
1 1/2"	1940 gr	10540 gr	43,22 %	56,78 %	
1"	2911 gr	13451 gr	55,16 %	44,84 %	
3/4"	2145 gr	15596 gr	63,95 %	36,05 %	
3/8"	3365 gr	18961 gr	77,75 %	22,25 %	
N°4	2168 gr	21129 gr	86,64 %	13,36 %	
N°10	850 gr	21979 gr	90,13 %	9,87 %	
N°40	882 gr	22861 gr	93,75 %	6,25 %	
N°200	463 gr	23324 gr	95,65 %	4,35 %	
PASA n° 200	1062 gr	24386 gr			
TOTAL	24386 gr				

Tipo de material: Lastre
Nombre de Cantera: MEGAROK S.A.

GRANULOMETRIA SERIE FINA

Tamiz	Peso Retenido Parcial	Peso Retenido Acumulado	Porcentaje Retenido	Porcentaje que Pasa	Porcentaje de Especificacion
N°4	0 gr	0,00 gr	0,00 %	100,00 %	
N°10	130,46 gr	130,46 gr	30,61 %	69,39 %	20-40
N°40	135,43 gr	265,89 gr	62,39 %	37,61 %	10-25
N°200	71,14 gr	337,03 gr	79,09 %	20,91 %	2-12
PASA N° 200	89,12 gr	426,15 gr	100,00 %		
TOTAL	426,15 gr				

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Tipo de material: Lastre
Nombre de Cantera: San Jose

GRANULOMETRIA SERIE GRUESA

Tamiz	Peso Retenido Parcial	Peso Retenido Acumulado	Porcentaje Retenido	Porcentaje que Pasa	Porcentaje de Especificacion
4"	0 gr	0 gr	0,00 %	100,00 %	
3"	2110 gr	2110 gr	10,33 %	89,67 %	
2"	4875 gr	6985 gr	34,19 %	65,81 %	
1 1/2"	1435 gr	8420 gr	41,22 %	58,78 %	
1"	1365 gr	9785 gr	47,90 %	52,10 %	
3/4"	756 gr	10541 gr	51,60 %	48,40 %	
3/8"	1840 gr	12381 gr	60,61 %	39,39 %	
N°4	2010 gr	14391 gr	70,44 %	29,56 %	
PASA n° 4	6038 gr	20429 gr	100,00 %		
TOTAL	20429 gr				

Tipo de material: Lastre
Nombre de Cantera: San Jose

GRANULOMETRIA SERIE FINA

Tamiz	Peso Retenido Parcial	Peso Retenido Acumulado	Porcentaje Retenido	Porcentaje que Pasa	
N°4	0 gr	0,00 gr	0,00 %	100,00 %	
N°10	51,19 gr	51,19 gr	13,31 %	86,69 %	
N°40	107,93 gr	159,12 gr	41,37 %	58,63 %	
N°200	80,50 gr	239,62 gr	62,30 %	37,70 %	
PASA N° 200	145,00 gr	384,62 gr	100,00 %		
TOTAL	384,62 gr				

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Tipo de material: Lastre
Nombre de Cantera: SAN JOSÉ

ABRASIÓN

Peso del material	5000	gr
Ret Tamiz N°12	3400	gr
Pasa Tamiz N°12	1600	gr
Desgaste	32	%

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Tipo de material: Lastre
Nombre de Cantera: MEGAROK

ABRASIÓN

Peso del material	5000	gr
Ret Tamiz N°12	4050	gr
Pasa Tamiz N°12	950	gr
Desgaste	19	%

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Tipo de material: Lastre
Nombre de Cantera: San Jose

ENSAYO DE PROCTOR

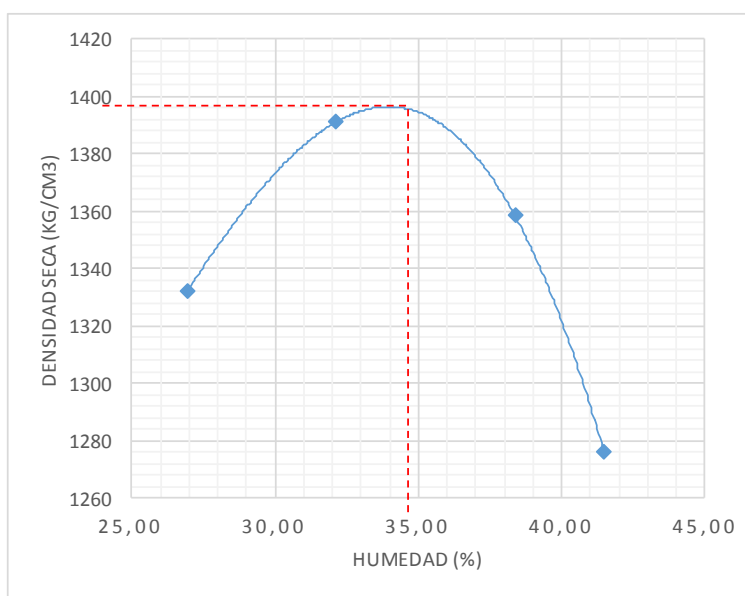
DATOS DEL ENSAYO		DATOS DEL MOLDE	
Tipo de Ensayo	Modificado	Masa del molde	5774 kg
# de Capas	5	Volumen del molde	2050 cm ³
# de Golpes / Capas	56	Masa del martillo	10 lb
		Altura de caída	45,72 cm

DATOS PARA LA CURVA

ítems	1	2	3	4
Masa de suelo humedo	3467 kg	3768 kg	3853 kg	3701 kg
Masa del molde + S.H.	9241 kg	9542 kg	9627 kg	9475 kg
Densidad Hum. del Suelo	1691 kg/cm ³	1838 kg/cm ³	1880 kg/cm ³	1805 kg/cm ³
Densidad seca del suelo	1332 kg/cm ³	1391 kg/cm ³	1358 kg/cm ³	1276 kg/cm ³

CONTENIDO DE AGUA

% H ₂ O agregada acum.	0 ml	0 %	240 ml	4 %	480 ml	8 %	720 ml	12 %
Tara n°	5T	10IT	50T	88	21	10	202	16
Tara + Suelo Humedo	167,25 gr	170,90 gr	149,43 gr	145,22 gr	146,06 gr	166,55 gr	206,31 gr	192,34 gr
Tara + suelo seco	138,95 gr	140,46 gr	119,89 gr	117,59 gr	114,04 gr	128,45 gr	154,94 gr	145,00 gr
Peso del Agua	28,3 gr	30,44 gr	29,54 gr	27,63 gr	32,02 gr	38,10 gr	51,37 gr	47,34 gr
Peso de la Tara	31,00 gr	30,54 gr	29,47 gr	30,18 gr	29,84 gr	29,98 gr	30,97 gr	30,90 gr
Peso suelo Seco	107,95 gr	109,92 gr	90,42 gr	87,41 gr	84,20 gr	98,47 gr	123,97 gr	114,10 gr
% Contenido de agua	26,22 %	27,69 %	32,67 %	31,61 %	38,03 %	38,69 %	41,4 %	41,49 %
Cont. Prom. de Agua	26,95 %		32,14 %		38,36 %		41,46 %	



Densidad max. Seca:

1392 kg/cm³

% de Humedad Óptima:

32,8 %

%	Densidad
26,95	1332
32,14	1391
38,36	1358
41,46	1276

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
 FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS
 CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Tipo de material: Lastre
 Nombre de Cantera: MEGAROK S.A.

ENSAYO DE COMPACTACION

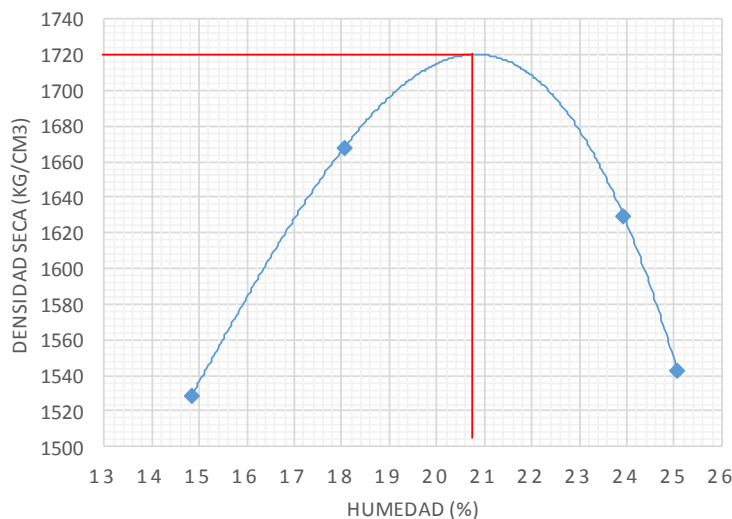
DATOS DEL ENSAYO		DATOS DEL MOLDE	
Tipo de Ensayo	Modificado	Masa del molde	5805 kg
# de Capas	5	Volumen del molde	2104 cm ³
# de Golpes / Capas	56	Masa del martillo	10 lb
		Altura de caída	45,72 cm

DATOS PARA LA CURVA

ítems	1	2	3	4
Masa de suelo humedo	3692 kg	4143 kg	4249 kg	4059 kg
Masa del molde + S.H.	9497 kg	9948 kg	10054 kg	9864 kg
Densidad Hum. del Suelo	1755 kg/cm ³	1969 kg/cm ³	2019 kg/cm ³	1929 kg/cm ³
Densidad seca del suelo	1528 kg/cm ³	1668 kg/cm ³	1629 kg/cm ³	1543 kg/cm ³

CONTENIDO DE AGUA

% H ₂ O agregada acum.	0 ml	0 %	240 ml	4 %	480 ml	8 %	720 ml	12 %
Tara n°	48	P2	A1	K2	B8	I2	2A	3
Tara + Suelo Humedo	460,58 gr	367,48 gr	551,31 gr	412,86 gr	387,10 gr	479,15 gr	557,32 gr	513,49 gr
Tara + suelo seco	410,76 gr	325,83 gr	481,63 gr	355,30 gr	323,49 gr	398,31 gr	458,48 gr	428,33 gr
Peso del Agua	49,82 gr	41,65 gr	69,68 gr	57,56 gr	63,61 gr	80,84 gr	98,84 gr	85,16 gr
Peso de la Tara	80,40 gr	40,02 gr	90,95 gr	40,18 gr	47,90 gr	72,19 gr	75,95 gr	77,76 gr
Peso suelo Seco	330,36 gr	285,81 gr	390,68 gr	315,12 gr	275,59 gr	326,12 gr	382,53 gr	350,57 gr
% Contenido de agua	15,08 %	14,57 %	17,84 %	18,27 %	23,08 %	24,79 %	25,84 %	24,29 %
Cont. Prom. de Agua	14,83 %		18,05 %		23,93 %		25,07 %	



%	Densidad
14,827	1528
18,051	1668
23,935	1629
25,065	1543

Densidad max. Seca:

1720 kg/cm³

% de Humedad Óptima:

20,80 %

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Tipo de material: Lastre
Nombre de Cantera: San Jose

ENSAYO DE C.B.R. (CALIFORNIAN BEARING RATIO) - SECO

HUMEDAD NATURAL

Id. Tara	Masa humeda + tara	Masa seca + tara	Masa de tara	Masa de agua	Masa suelo seco	Humedad
15	194,52 gr	156,96 gr	42,00 gr	37,56 gr	114,96 gr	32,67 %
10	168,40 gr	135,70 gr	35,82 gr	32,70 gr	99,88 gr	32,74 %
6	244,10 gr	201,96 gr	72,93 gr	42,14 gr	129,03 gr	32,66 %

ENSAYO DE C.B.R.

Molde N°	1	2	3
Numero de capas	5	5	5
Numero de Golpes por Capas	11	27	61
Peso muestra humeda + molde	10688 gr	10713 gr	10219 gr
Peso del Molde	7176 gr	6955 gr	6275 gr
Peso muestra humeda	3512 gr	3758 gr	3944 gr
Volumen del molde	2328 cm ³	2323 cm ³	2403 cm ³
Densidad Humeda	1509 kg/m ³	1618 kg/m ³	1641 kg/m ³
Densidad Seca	1137 kg/m ³	1219 kg/m ³	1237 kg/m ³

Tiempo	Seg	Min.	Penetración	MOLDE 3 A 61 GOLPES					MOLDE 2 A 27 GOLPES					MOLDE 1 A 11 GOLPES						
				Carga	Presiones	Presiones Corregidas	Presiones Estándar	Valores C.B.R.	Carga	Presiones	Presiones Corregidas	Presiones Estándar	Valores C.B.R.	Carga	Presiones	Presiones Corregidas	Presiones Estándar	Valores C.B.R.		
			0	0							0						0			
30			25	145	103,24						23	16,38					51	36,31		
60	1		50	353	251,33						160	113,92					107	76,18		
90			75	590	420,06						375	266,99					162	115,34		
120	2		100	786	559,61		57,13	55,96			508	361,68	36,92				223	158,77	16,21	15,88
180	3		150	1022	727,64						681	484,85					278	197,93		
240	4		200	1200	854,37		87,21	85,44			825	587,38	59,96				350	249,19	25,44	24,92
300	5		250	1341	954,76						914	650,74					417	296,89		
360	6		300	1483	1055,86						1015	722,65					474	337,48		
480	8		400	1679	1195,40						1150	818,77					577	410,81		
600	10		500	1896	1349,90						1292	919,87					678	482,72		

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Tipo de material: Lastre
Nombre de Cantera: San Jose

ENSAYO DE C.B.R. (CALIFORNIAN BEARING RATIO) - SUMERGIDO

HUMEDAD NATURAL

Id. Tara	Masa húmeda + tara	Masa seca + tara	Masa de tara	Masa de agua	Masa suelo seco	Humedad	
8	224,68 gr	188,35 gr	41,46 gr	36,33 gr	146,89 gr	24,73 %	24,68 %
42	332,42 gr	275,01 gr	41,82 gr	57,41 gr	233,19 gr	24,62 %	
3	338,15 gr	279,02 gr	42,21 gr	59,13 gr	236,81 gr	24,97 %	24,86 %
3A	336,93 gr	278,27 gr	41,34 gr	58,66 gr	236,93 gr	24,76 %	
L	183,91 gr	153,21 gr	31,02 gr	30,70 gr	122,19 gr	25,12 %	25,10 %
K	208,16 gr	172,54 gr	30,44 gr	35,62 gr	142,10 gr	25,07 %	

ENSAYO DE C.B.R.

Molde N°	2	1	3
Numero de capas	5	5	5
Numero de Golpes por Capas	61	27	11
Peso muestra húmeda + molde	10979 gr	10377 gr	9700 gr
Peso del Molde	6912 gr	6636 gr	6614 gr
Peso muestra húmeda	4067 gr	3741 gr	3086 gr
Volumen del molde	2403 cm ³	2323 cm ³	2328 cm ³
Densidad Húmeda	1693 kg/m ³	1611 kg/m ³	1325 kg/m ³
Densidad Seca	1358 kg/m ³	1290 kg/m ³	1060 kg/m ³

Dia y mes	Hora	Tiempo Transcurrido	Molde N° 2 a 61 GOLPES				Dia y mes	Hora	Tiempo Transcurrido	Molde N° 1 a 27 GOLPES				Dia y mes	Hora	Tiempo Transcurrido	Molde N° 3 a 11 GOLPES			
			Lectura	Altura	Espojamiento					Lectura	Altura	Espojamiento					Lectura	Altura	Espojamiento	
					pulg	%						pulg	%						pulg	%
01/12/2015	3:00	1	210	5	0,21	4,2	01/12/2015	3:00	1	240	5	0,24	4,8	01/12/2015	3:00	1	140	5	0,14	2,8
02/12/2015	3:00	2	215	5	0,215	4,3	02/12/2015	3:00	2	244	5	0,244	4,88	02/12/2015	3:00	2	147	5	0,147	2,94
03/12/2015	3:00	3	217	5	0,217	4,34	03/12/2015	3:00	3	245	5	0,245	4,9	03/12/2015	3:00	3	150	5	0,15	3
04/12/2015	3:00	3	217	5	0,217	4,34	04/12/2015	3:00	3	249	5	0,249	4,98	04/12/2015	3:00	3	152	5	0,152	3,04

CONSTANTE DE ANILLO DE DEFORMACION (2,23,00)*DL

Tiempo Seg. Min.	Penetracion	MOLDE N° 2 a 61 GOLPES				MOLDE N° 1 a 27 GOLPES				MOLDE N° 3 a 11 GOLPES												
		Carga	Presiones Corregidas	Presiones Estandar	Valores C.B.R.	Carga	Presiones Corregidas	Presiones Estandar	Valores C.B.R.	Carga	Presiones Corregidas	Presiones Estandar	Valores C.B.R.									
	0		0																			
30	25	12	8,54			8	5,70							6	4,27							
60	50	25	17,80			15	10,68							11	7,88							
90	75	46	32,75			22	15,66							16	11,39							
120	100	65	46,28			30	21,36			21,8				20	14,24							1,45
180	150	112	79,74			47	33,46							33	23,30							
240	200	156	111,07			65	46,28							41	29,19							
300	250	180	128,16			79	56,25							51	36,31							
360	300	208	148,09			95	67,64							58	41,29							
480	400	236	188,03			114	81,17							70	49,84							
600	500	261	188,83			129	91,84							82	58,38							

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
 FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS
 CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Tipo de material: Lastre
 Nombre de Cantera: MEGAROK S.A.

ENSAYO DE C.B.R. (CALIFORNIAN BEARING RATIO) - SECO

HUMEDAD NATURAL

Id. Tara	Masa húmeda + tara	Masa seca + tara	Masa de tara	Masa de agua	Masa suelo seco	Humedad
15	50,30 gr	43,76 gr	11,61 gr	6,54 gr	32,15 gr	20,34 %
10	51,63 gr	44,93 gr	11,59 gr	6,70 gr	33,34 gr	20,10 %
6	50,64 gr	44,10 gr	11,85 gr	6,54 gr	32,25 gr	20,28 %

ENSAYO DE C.B.R.

Molde N°	D3	J3	R3
Numero de capas	5	5	5
Numero de Golpes por Capas	56	25	10
Peso muestra húmeda + molde	10131 gr	11784 gr	11599 gr
Peso del Molde	5981 gr	7833 gr	7756 gr
Peso muestra húmeda	4150 gr	3951 gr	3843 gr
Volumen del molde	2403 cm ³	2323 cm ³	2328 cm ³
Densidad Húmeda	1727 kg/m ³	1701 kg/m ³	1651 kg/m ³
Densidad Seca	1435 kg/m ³	1416 kg/m ³	1372 kg/m ³

Tiempo Seg.	Penetracion Min.	MOLDE 3 A 56 GOLPES					MOLDE 13 A 25 GOLPES					MOLDE 3 A 10 GOLPES				
		Carga (kg)	Presiones (N/mm ²)	Presiones Corregidas	Presiones Estandar	Valores C.B.R.	Carga	Presiones	Presiones Corregidas	Presiones Estandar	Valores C.B.R.	Carga	Presiones	Presiones Corregidas	Presiones Estandar	Valores C.B.R.
	0		0													
30	25	148	105,60			61	43,52				58	41,38				
60	50	347	247,58			160	114,16				132	94,18				
90	75	679	484,46			325	231,88				241	171,95				
120	100	991	664,26		67,8	558	398,13		40,6	39,81	328	234,02		23,9	23,40	
180	150	1305	931,10			703	501,58				500	356,74				
240	200	1578	1125,89		76,6	994	666,40		45,3		615	438,80		29,9		
300	250	1856	1324,23			1083	772,71				789	562,94				
360	300	2028	1446,96			1290	920,40				897	640,00				
480	400	2210	1576,81			1518	1083,08				1154	823,37				
600	500	2417	1724,50			1752	1250,03				1169	834,07				

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Tipo de material: Lastre
Nombre de Cantera: MEGAROK S.A.

ENSAYO DE C.B.R. (CALIFORNIAN BEARING RATIO) - SUMERGIDO

HUMEDAD NATURAL

Id. Tara	Masa húmeda + tara	Masa seca + tara	Masa de tara	Masa de agua	Masa suelo seco	Humedad	
AA34	76,47 gr	63,65 gr	17,81 gr	12,82 gr	45,84 gr	27,97 %	28,03 %
24	74,46 gr	61,62 gr	15,90 gr	12,84 gr	45,72 gr	28,08 %	
R11	88,22 gr	76,30 gr	17,00 gr	11,92 gr	59,30 gr	20,10 %	24,43 %
B17	86,51 gr	70,85 gr	16,40 gr	15,66 gr	54,45 gr	28,76 %	
E6	95,34 gr	77,19 gr	17,82 gr	18,15 gr	59,37 gr	30,57 %	29,24 %
A3	92,31 gr	76,11 gr	18,06 gr	16,20 gr	58,05 gr	27,91 %	

ENSAYO DE C.B.R.

Molde N°	D3	J3	R3
Numero de capas	5	5	5
Numero de Golpes por Capas	56	25	10
Peso muestra húmeda + molde	11940 gr	12064 gr	11599 gr
Peso del Molde	5981 gr	7833 gr	7756 gr
Peso muestra húmeda	5959 gr	4231 gr	3843 gr
Volumen del molde	2403 cm ³	2323 cm ³	2328 cm ³
Densidad Húmeda	2480 kg/m ³	1822 kg/m ³	1651 kg/m ³
Densidad Seca	1937 kg/m ³	1464 kg/m ³	1277 kg/m ³

Dia y mes	Hora	Tiempo Transcurrido	Molde N° D3 a 56 Golpes			Dia y mes	Hora	Tiempo Transcurrido	Molde N° J3 a 25 Golpes			Dia y mes	Hora	Tiempo Transcurrido	Molde N° R3 a 10 Golpes					
			Lectura	Altura	Esponjamiento pulg %				Lectura	Altura	Esponjamiento pulg %				Lectura	Altura	Esponjamiento pulg %			
01/12/2015	3:00	1	58	5	0,058	1,16	01/12/2015	3:00	1	51	5	0,051	1,02	01/12/2015	3:00	1	31	5	0,031	0,62
02/12/2015	3:00	2	58	5	0,058	1,16	02/12/2015	3:00	2	51	5	0,051	1,02	02/12/2015	3:00	2	31	5	0,031	0,62
03/12/2015	3:00	3	58	5	0,058	1,16	03/12/2015	3:00	3	51	5	0,051	1,02	03/12/2015	3:00	3	31	5	0,031	0,62
04/12/2015	3:00	3	58	5	0,058	1,16	04/12/2015	3:00	3	51	5	0,051	1,02	04/12/2015	3:00	3	31	5	0,031	0,62

CONSTANTE DE ANILLO DE DEFORMACION (2,2/3,09)*DL

Tiempo Seg.	Penetracion Min.	MOLDE D3 A 56 GOLPES			MOLDE J3 A 25 GOLPES			MOLDE R3 A 10 GOLPES		
		Carga	Presiones	Valores	Carga	Presiones	Valores	Carga	Presiones	Valores
	0	0			0			0		
30	25	22	15,66		14	9,97		7	4,98	
60	50	87	61,94		37	26,34		16	11,39	
90	75	115	81,88		61	43,43		34	24,21	
120	100	135	96,12	9,8	88	62,65	6,4	74	52,69	5,4
180	150	170	121,04		115	81,88		105	74,76	
240	200	198	140,97	9,6	144	102,52	7,0	168	119,61	8,1
300	250	245	174,43		181	128,87		207	147,38	
360	300	299	212,88		217	154,50		246	175,15	
480	400	378	269,13		274	195,08		317	225,70	
600	500	412	293,33		325	231,39		387	275,53	

ANEXOS FOTOGRAFICOS



Imagen 1. Transportación del material de préstamo



Imagen 2. Descarga del Material de Préstamo



Imagen 3. Depósito del Material de Préstamo



Imagen 4. Preparación del Material para tamizarlo



Imagen 5. Selección de material pasante 3/4"



Imagen 6. Muestras en el Horno para determinar su humedad natural



Imagen 7. Selección de Material pasante de tamiz 200



Imagen 8. Preparación de la muestra para los límites de consistencia



Imagen 9. Preparación de la muestra para determinar el límite líquido



Imagen 10. Granulometría de serie fina



Imagen 11. Proceso de Granulometría Gruesa



Imagen 12. Golpes a la muestra en el ensayo de C.B.R.



Imagen 13. Peso del molde de C.B.R.



Imagen 14. Compactación la muestra en el molde de C.B.R.



Imagen 15. Moldes de C.B.R. de 10, 25 y 56 Golpes



Imagen 16. Colocación de los moldes en la máquina Marshall



Imagen 17. Determinación de las presiones mediante la maquina Marshall



Imagen 18. Calibración del dial para determinar el esponjamiento

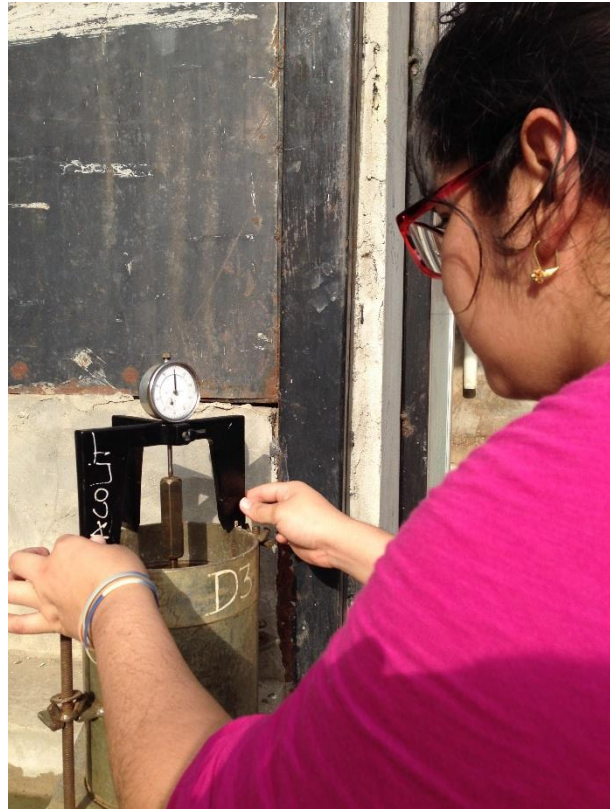


Imagen 19. Determinación del esponjamiento en los moldes de C.B.R.



Imagen 20. Preparación de la muestra estabilizada con cemento en el molde de proctor



Imagen 21. Cilindro de suelo-cemento antes de su proceso de curado.



Imagen 22. Ensayo de resistencia a compresión



Imagen 23. Proceso de compresión de los cilindros de suelo-cemento



Imagen 24. Cilindros de suelo-cemento para el ensayo de humedecimiento y secado



Imagen 25. Cilindros de suelo-cemento en el horno luego del proceso de inmersión



Imagen 26. Proceso de raspado con cepillo metálico de los cilindros posterior al secado en horno para ensayo de humedecimiento y secado



Imagen 27. Cilindros de muestras de suelo-cemento posterior al cepillado.