

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

CARRERA INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE TITULACIÓN

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“APLICABILIDAD DEL AZUL DE METILENO PARA
DETERMINAR LA CANTIDAD DE MATERIAL DE
FRACCIÓN FINA POTENCIALMENTE DAÑINO EN LOS
AGREGADOS UTILIZADOS PARA LA ESTRUCTURA DE
PAVIMENTO”**

AUTORES:

PAREDES LUCAS RONY JOHAN

QUINDE MACIAS CRISTOPHER REYNALDO

TUTOR:

ING. Oleas Escalante Marcelo

2019

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En calidad de director de tesis de los egresados, **RONY JOHAN PAREDES LUCAS Y CRISTOPHER REINALDO QUINDE MACIAS**, de la Facultad Ingeniería, de la Carrera Ingeniería Civil, tengo a bien certificar que el tema “Aplicabilidad Del Azul De Metileno Para Determinar La Cantidad De Material De Fracción Fina Potencialmente Dañino En Los Agregados Utilizados Para La Estructura De Pavimento“, ha sido dirigido y supervisado de manera eficiente y oportuna durante todo el desarrollo investigativo, el mismo que reúne los méritos suficientes tal como dispone las Normas Académicas y Reglamentos de Graduación.

Dicho trabajo puede ser sometido a la evaluación del tribunal que el Honorable Consejo de la Facultad designe. Lo certifico.

Manta, 20 de enero de 2020.

Ing. Oleas Escalante Marcelo.
TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **RONY JOHAN PAREDES LUCAS Y CRISTOPHER REINALDO QUINDE MACIAS**, egresados de la Facultad Ingeniería, de la Carrera Ingeniería Civil, de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, declaró que las ideas, conceptos, procedimientos y resultado vertidos en el presente trabajo en el tema, no ha sido sustentado en ningún trabajo de grado o calificación profesional.

Las referencias bibliográficas que se incluyen en el informe de grado son citadas de acuerdo a las normas académicas de escritura APA, se manifiesta en honor a la verdad y dando credibilidad a la declaratoria de autoría que aquí presento.

Manta, 20 de enero de 2020

Rony Johan Paredes Lucas

Autor

Cristopher Reinaldo Quinde Macías

Autor

APROBACIÓN DE LA TESIS

TITULO

“APLICABILIDAD DEL AZUL DE METILENO PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE MATERIAL DE FRACCIÓN FINA POTENCIALMENTE DAÑINO EN LOS AGREGADOS UTILIZADOS PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO”

TESIS DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Sometida a consideración del tribunal de revisión y sustentación como requisito previo a la obtención del título de:

INGENIEROS CIVILES

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE REVISIÓN

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE REVISIÓN

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo en primer lugar a Dios, porque durante el arduo trayecto de este proceso de formación profesional me mantuvo firme y se convirtió en mi guía aún en los momentos difíciles académica y espiritualmente. A mis padres, por ser el apoyo incondicional durante mi vida y haber velado por mi educación y crecimiento personal.

Paredes Lucas Rony Johan.

A Dios por darme la fuerza la paciencia y la energía para poder alcanzar mis metas y lograr llegar a este punto de mi desarrollo profesional, a mis padres que me apoyaron, se sacrificaron y me impulsaron en el desarrollo de este proyecto y en mi vida profesional en general, siendo un apoyo incondicional durante toda mi vida.

Quinde Macías Cristopher Reynaldo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, mis hermanos, a mis amigos más cercanos y aquellas personas que jugaron un papel fundamental incentivándome a seguir avanzando y a creer en mí mismo para poder haber llegado hasta aquí.

Agradezco a mis docentes, quienes fueron excelentes guías en el ámbito estudiantil, a mi tutor de tesis el Ing. Marcelo Oleas que ocupó un puesto importante mediante sus correcciones y consejos. Gracias a las personas que formaron parte de este proceso y a mí mismo por la grata culminación de este trabajo.

Paredes Lucas Rony Johan

A mis padres, a mi hermano, a mis amigos que realmente me han ayudado con el avance de este proyecto, a mis docentes que me han educado y me han inculcado los conocimientos necesarios para culminar mi carrera, a mi tutor Ing. Marcelo Oleas que me ha dirigido y me ha ayudado con la creación y el desarrollo del proyecto, a la Universidad que me apoyo con los recursos y materiales necesarios para el ejecución de mi investigación y a mí mismo para llegar a superarme alcanzando la culminación de una nueva meta en mi vida.

Quinde Macías Cristopher Reynaldo

RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad el estudio de la efectividad de la aplicación del azul de metileno para determinar la cantidad de material de fracción fina potencialmente dañino presente en los agregados utilizados para la estructura de pavimento, para este proyecto de investigación se escogieron tres canteras: GM, Uruzca y Mega Rock de las cuales se extrajeron muestras de cada tipo de material utilizados comúnmente para pavimentos (Base, Sub Base, Mejoramiento), como material referencial se usó Arcilla expansiva para asegurar la efectividad de los ensayos.

Para esta investigación se define como guía la norma INV E-235-07(colombiana), ya que no existe una norma para este tipo de ensayo en el país, considerando la semejanza de los tipos de suelo por un pasado geológico similar, y esta hace referencia del procedimiento para llevar a cabo el ensayo de azul de metileno. Los resultados obtenidos en los ensayos nos permiten llevar a cabo un análisis y una comparación con las tablas utilizadas en la normativa colombiana, que puede a futuro permitir crear una propuesta destinada a la realidad de nuestro país.

Palabras claves: Metileno, finos, pavimento, ensayos, agregados, canteras.

ABSTRACT

The purpose of this research is to study the effectiveness of the application of methylene blue to determine the amount of potentially harmful fine fraction material present in the aggregates used for the pavement structure. Three quarries were chosen for this research project: GM, Uruzca and Mega Rock, from which samples were taken of each type of material commonly used for pavements (Base, Sub Base, Improvement).

For this investigation, the standard INV E-235-07 (Colombian) is defined as a guide, since there is no standard for this type of test in the country, considering the similarity of soil types by a similar geological pastand it does reference of the procedure for carrying out the methylene blue test. The results obtained in the tests allow us to carry out an analysis and a comparison with the tables used in the Colombian regulations, which may in the future allow us to create a proposal aimed at the reality of our country.

Key words: Methylene, fines, pavement, tests, aggregates, quarries.

ÍNDICE.

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
APROBACIÓN DE LA TESIS.....	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT.....	VII
ÍNDICE.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE IMÁGENES	XI
INTRODUCCIÓN	1
PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN	1
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
CAPÍTULO I	4
MARCO TEÓRICO.....	4
1. IDENTIFICACIÓN DE FINOS EN SUELOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA SOLUCIÓN AZUL DE METILENO.....	4
1.1. SUELO.....	4
1.2. LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO IÓNICO DEL SUELO.....	5
1.3. INFLUENCIA DE LA CANTIDAD DE FINOS Y FORMA DE LA PARTÍCULA EN EL COMPORTAMIENTO DE SUELO.	5
1.4. MATERIALES UTILIZADOS PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.....	6
1.4.1. BASE.....	7
1.4.3. SUB BASE	10
1.4.4. MEJORAMIENTO.....	11
1.5. ENSAYOS PARA CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN FINA DE LOS SUELOS	12
1.5.1. GRANULOMETRÍA	12
1.5.2. LÍMITES DE ATTERBERG.....	14
1.6. ENSAYO DE AZUL DE METILENO.....	17
1.6.1. AZUL DE METILENO.....	17
1.6.2. MECANISMO DE APLICACIÓN DE AZUL DE METILENO A LA IDENTIFICACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE LOS FINOS.....	18
1.6.3. NORMAS ESTANDARIZADAS PARA ENSAYOS DE AZUL DE METILENO.	19
CAPÍTULO II	27
2. METODOLOGÍA	27

2.1.	OBTENCIÓN DE LOS MATERIALES	27
2.1.1.	MATERIAL DE CANTERA.....	27
2.1.2.	MATERIAL REFERENCIAL.....	29
2.1.3.	REACTIVOS.....	29
2.2.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	30
2.2.1.	BASE.....	30
2.2.2.	SUB BASE.....	36
2.2.3.	MEJORAMIENTO.....	42
2.3.	DISPOSICIÓN DE LA MUESTRA.....	46
2.4.	DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO	46
2.4.1.	PROCEDIMIENTO.....	46
2.5.	DETERMINACIÓN DE LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD.....	51
2.6.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA Y LÍMITE DE ATTERBERG CON ESPECIFICACIONES DEL MOP.	55
2.7.	ENSAYO DE AZUL DE METILENO.....	55
2.7.1.	EQUIPOS Y MATERIALES.....	56
2.7.2.	PROCEDIMIENTO.....	57
CAPÍTULO III.....		58
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	58
3.1.	RESULTADOS.....	58
3.1.1.	ARCILLA EXPANSIVA DESVÍO CALCETA 1	58
3.1.2.	BASE GM CLASE 1 TIPO A	59
3.1.3.	BASE URUZCA CLASE 1 TIPO A.....	59
3.1.4.	BASE MEGAROCK CLASE 1 TIPO A	60
3.1.5.	SUBBASE GM CLASE 1	60
3.1.6.	SUBBASE URUZCA CLASE 3.	61
3.1.7.	SUBBASE MEGAROCK CLASE 1.....	61
3.1.8.	MEJORAMIENTO TIPO MOP GM.....	62
3.1.9.	MEJORAMIENTO TIPO MOP URUZCA.....	62
3.1.10.	MEJORAMIENTO TIPO MOP MEGAROCK.....	63
3.1.11.	PIEDRA CHISPA GM.....	63
3.1.12.	PIEDRA CHISPA URUZCA.....	64
3.1.13.	PIEDRA CHISPA MEGAROCK.....	64
3.2.	IMPLEMENTACIÓN DE LA NORMATIVA DEL ENSAYO DE AZUL DE METILENO EN EL PAÍS.....	65
CAPÍTULO IV.....		66
4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	66
CONCLUSIONES		68
RECOMENDACIONES		69
BIBLIOGRAFÍA.....		70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Porcentaje de base Clase 1 en peso que pasa a través de los tamices según el MOP.	7
Tabla 2 Porcentaje de base Clase 4 en peso que pasa a través de los tamices MOP.	9
Tabla 3 Porcentaje de base Clase 2 en peso que pasa a través de los tamices MOP.	9
Tabla 4 Porcentaje de base Clase 3 en peso que pasa a través de los tamices MOP.	10
Tabla 5 Porcentaje en peso que pasa a través de tamices de malla cuadrada MOP - 001-F 2002	10
Tabla 6 Porcentaje de material en peso que pasa a través de tamices. Ministerio de Obras Públicas del Ecuador (MOP).....	13
Tabla 7. Dimensiones nominales, designación de tamices Estándar y Alternativa. Norma ASTM E11 – 09.....	13
Tabla 8 Valor de azul de metileno y el comportamiento esperado de la mezcla asfáltica INV E - 235 - 07.....	24
Tabla 9 Resultados de análisis granulométrico con las especificaciones del MOP, de material para Base de la cantera GM de Manta.	31
Tabla 10 Resultados promedio de los tres ensayos granulométricos realizados con el material para base de la cantera GM.	31
Tabla 11 Resultados de análisis granulométrico con especificaciones del MOP, de material para Base Tipa A de la cantera Uruzca de Manta.....	33
Tabla 12 Resultados promedio de dos ensayos granulométricos realizados con el material para base de la cantera Uruzca.	33
Tabla 13 Resultados de análisis granulométrico con especificaciones del MOP, de material para Base Tipa A de la cantera Megarock de Manta.	35
Tabla 14 Resultados promedio de dos ensayos granulométricos realizados con el material para base de la cantera Megarock.	35
Tabla 15 Resultados de análisis granulométrico con especificaciones del MOP, de material para Subbase clasen1 de la cantera GM de Manta.	37
Tabla 16 Resultados promedio de tres ensayos granulométricos realizados con el material para Subbase de la cantera GM.	37
Tabla 17 Resultados de análisis granulométrico con especificaciones del MOP, de material para Subbase clase 3 de la cantera Uruzca de Manta.	39
Tabla 18 Resultados promedio de dos ensayos granulométricos realizados con el material para Subbase de la cantera Uruzca.	39
Tabla 19 Resultados de análisis granulométrico con especificaciones del MOP, de material para Subbase clase 1 de la cantera Megarock de Manta.	41
Tabla 20 Resultados promedio de tres ensayos granulométricos realizados con el material para Subbase de la cantera Megarock.	41
Tabla 21 Resultados de análisis granulométrico con especificaciones del MOP, de material para Mejoramiento tipo MOP de la cantera GM de Manta-	43
Tabla 22 Resultados promedio de tres ensayos granulométricos realizados con el material para Mejoramiento de la cantera GM.	43
Tabla 23 Resultados de análisis granulométrico con especificaciones del MOP, de material para Mejoramiento tipo MOP de la cantera Uruzca de Manta.	44
Tabla 24 Resultados promedio de dos ensayos granulométricos realizados con el material para Mejoramiento de la cantera Uruzca.	44
Tabla 25 Resultados de análisis granulométrico con especificaciones del MOP, de material para	

Mejoramiento tipo MOP de la cantera Megarock de Manta.	45
Tabla 26 Resultados promedio de tres ensayos granulométricos realizados con el material para Mejoramiento de la cantera Megarock.	45
Tabla 27 Resultados de ensayos de límite líquido y límite plástico GM	72
Tabla 28 Resultados de ensayos de límite líquido y límite plástico Uruzca	72
Tabla 29 Resultados de ensayos de límite líquido y límite plástico Megarock.....	72
Tabla 30 Resultados de ensayos de límite líquido y límite plástico GM en Material de mejoramiento.	73
Tabla 31 Resultados de ensayos de límite líquido y límite plástico Uruzca de Mejoramiento ...	73
Tabla 32 Resultados de ensayos de límite líquido y límite plástico en material mejoramiento Megarock	73
Tabla 33 Verificación de cumplimiento de características con especificaciones del MOP.....	55
Tabla 34 Resultados de ensayos de Azul de Metileno y de desempeño anticipado.....	65

ÍNDICE DE IMÁGENES

Ilustración 1. Ubicación geográfica de la Cantera GM, Google maps	27
Ilustración 2 Ubicación geográfica de la Cantera Uruzca. Google maps	28
Ilustración 3 Ubicación geográfica de la Cantera Megarock. Google maps	28
Ilustración 4 Ubicación geográfica, Tosagua- Calceta, lugar de extracción de la muestra de arcilla expansiva. Google maps.....	29
Ilustración 5 Curva granulométrica base GM,.....	32
Ilustración 6 Curva granulométrica base Uruzca.	34
Ilustración 7 Curva granulométrica base Megarock.	36
Ilustración 8 Curva granulométrica Subbase GM.....	38
Ilustración 9 Curva granulométrica Subbase Uruzca.....	40
Ilustración 10 Curva granulométrica Subbase Megarock.	42
Ilustración 11 Curva granulométrica mejoramiento GM.	43
Ilustración 12 Curva granulométrica mejoramiento Uruzca.	44
Ilustración 13 Curva granulométrica mejoramiento Megarock.	45
Ilustración 14 Curva de fluidez cantera GM.....	47
Ilustración 15 Curva de fluidez cantera Uruzca.....	48
Ilustración 16 Curva de fluidez cantera Megarock.	49

INTRODUCCIÓN

La presencia de áridos finos dañinos en el material de relleno y mejoramiento de carretera puede provocar una baja permeabilidad, un aumento de retención del agua, y de la saturación causando un acrecentamiento en la plasticidad del suelo, bajando su resistencia a deformaciones. Existen ensayos que permiten determinar la cantidad de finos presente en un suelo mediante la determinación de la plasticidad y de equivalente de arena, los ensayos involucran varios factores que pueden provocar cambios en los resultados que sirven para la determinación de finos o de la capacidad plástica que posee el suelo, lo que compromete su veracidad de resultado.

Para la construcción de cualquier estructura se debe de considerar las características del suelo que servirán como el terreno sobre el cual se apoyará dicha estructura, incluyendo materiales minerales naturales así como los depósitos realizados por el hombre. La presente investigación se refiere a la verificación de la aplicabilidad de la solución de azul metileno para la identificación de finos dañinos en material de cantera, siendo un tinte muy confiable para ser usado en ensayos de laboratorio para la identificación y clasificación de arcillas, debido a la poca influencia que debe tener el operador en el ensayo de azul de metileno.

La realización de esta investigación, fue con el objetivo de verificar la efectividad de un ensayo de azul para la identificación global de la fracción arcillosa dañina de un suelo, usando como elemento de estudio una submuestra de agregado fino de materiales común de uso para relleno de carreteras o vías en el país, recolectando una muestra de base, subbase y mejoramiento, representativas adquiridas de tres canteras diferentes (GM, Uruzca, Megarock).

La realización de los ensayos se desarrolló con el fin de asegurar la efectividad del tinte como medio de identificación de finos dañinos, lo que permitiría desarrollar a futuro próximos ensayos que reconozcan la determinación de la capacidad plástica del suelo y su resistencia a la deformación, basándose en el procedimiento y el resultados de dicha investigación, usando como guía los ensayos realizados en la tesis, lo que ayudaría a establecer al ensayo de azul de metileno como un medio confiable para el reconocimiento del contenido de finos dañinos en suelos.

Para la realización de los ensayos de azul metileno se utilizó como guía la normativa INV E- 235 - 07 referente al valor de azul de metileno en agregados finos y en llenantes minerales, previamente a la realización de los ensayos de azul se procedió primero a realizar ensayos comunes para la caracterización de los suelos, efectuando ensayos de granulometría para lograr separación y clasificación de las partículas que constituyen el agregado y ensayos de Atterberg, los cuales brindan resultados en porcentajes de humedad y de plasticidad. Siguiendo el proceso de la normativa colombiana, se utilizaron los equipos de laboratorio necesario para efectuar el ensayo de azul y el tinte de azul de metileno requerido, junto con la muestra de suelo y agua destilada.

En el presente informe se especifica los resultados de la investigación realizada sobre el tema de tesis, dividiendo el informe por capítulos para tratar diferentes aspectos de la investigación, se describe la terminología y teoría investigada referente al tema a tratar, se detalla el procedimiento de los ensayos realizados, los materiales que fueron necesarios, se puntualiza de manera clara y concisa los resultados obtenidos en los ensayos, se formuló una conclusión en base al análisis de estos resultados. Se asegura de describir el proceso a detalle para lograr puntualizar el desarrollo y finalización de los ensayos de azul de metileno para la identificación de finos dañinos.

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

En la actualidad los ensayos que se realizan a los materiales granulares no contemplan la identificación de cantidad fracción fina (arcilla y materia orgánica) dañinos, que pueden afectar a la estructura de pavimento (Material de mejoramiento, sub-base y base), en los ensayos normales se utiliza el índice de plasticidad para limitar el uso de los materiales granulares. Debido a que la presencia excesiva de partículas arcillosas implica la contaminación del compuesto, esto debido a su particular naturaleza perjudicial como material constructivo, siendo de suma importancia determinar la cantidad de fracción fina nociva de un suelo de una manera global.

JUSTIFICACIÓN

El método azul de metileno utilizado para la identificación de finos dañinos en material para la estructura de pavimento, es un ensayo que no se realiza comúnmente en Ecuador y que está estandarizado en otras partes del mundo. La ejecución de este ensayo puede ser importante para entidades de los sectores públicos y privados, ya que hace más factible el reconocimiento y la caracterización de los materiales granulares utilizados en una estructura de pavimento. Algunos de los ensayos realizados comúnmente para la identificación de finos nocivos en material de mejoramiento usados en la construcción de vías como índice plástico no cumplen con las especificaciones del MOP, lo que provoca una intriga con la posibilidad de la presencia de arcillas expansivas que puedan afectar el comportamiento dentro de las capas del pavimento.

El ensayo de azul de metileno a diferencia de lo otros ensayos usados para la identificación de finos, da resultados más exactos sobre la presencia de arcillas en una fracción fina de materiales granulares, debido a la poca influencia que debe tener el operador en el ensayo de azul de metileno.

Con esta investigación, se logra verificar la efectividad del ensayo de azul de metileno para la identificación global de la fracción arcillosa dañina de materiales de origen nacional en construcción de estructuras de pavimento, utilizando la normativa colombiana INV E-235-07.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

OBJETIVO GENERAL:

Verificar la efectividad de un ensayo de azul para la identificación de la fracción fina potencialmente dañino de un suelo, usando como elemento de estudio una submuestra de agregado fino de materiales común de uso para relleno de carreteras o vías, recolectando una muestra de base, subbase y mejoramiento, representativas adquiridas de tres canteras diferentes (GM, Uruzca, Megarock).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- **Investigar** de varias fuentes el modo de uso del ensayo de azul de metileno para la identificación de la fracción fina potencialmente dañino de un suelo.
- **Recolectar** muestras de base, subbase y mejoramiento, representativas adquiridas de tres canteras diferentes (GM, Uruzca, Megarock) para ejecutar los ensayos granulométricos y de azul de metileno.
- **Analizar e interpretar** los resultados obtenidos de cada muestra para el ensayo de granulometría y azul de metileno.
- **Comparar** los resultados obtenidos con las especificaciones del MOP y con la INV E 235 – 07 verificando la aplicabilidad del ensayo.

HIPÓTESIS:

Es factible el uso de azul de metileno para la identificación de la fracción fina potencialmente dañino de un suelo.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. IDENTIFICACIÓN DE FINOS EN SUELOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA SOLUCIÓN AZUL DE METILENO

1.1. SUELO

El suelo es la base de toda estructura civil, siendo el medio sobre el cual se edifican, importando las características físicas y las propiedades químicas del mismo, considerando con mayormente su comportamiento ante la aplicación de una fuerza.

“La apropiada caracterización del subsuelo es uno de los principales factores que permite un diseño seguro y económico de la cimentación de las estructuras. Para conseguir esta caracterización, se deberá tener conocimiento del tipo de proyecto y la variabilidad de los estratos en el sitio de implantación de la estructura”. (NEC 2015)

En un término general se puede denominar como suelo en construcción al terreno sobre el cual se va apoyar la estructura realizar incluyendo dentro de esta clasificación las rocas naturales hasta los depósitos realizados por el hombre. La importancia de la caracterización del suelo para la cimentación de una estructura radica en su participación como uno de los principales factores que permiten un diseño seguro y económico, ya que éste servirá de base a la estructura. Un ingeniero civil especialista en geotecnia deben presentar de forma Clara un modelo geotécnico del subsuelo del diseño en el cual se considere sus características así como también las incertidumbres epistémicas y aleatorias.

Las características básicas mínimas de los suelos a determinar con los ensayos de laboratorio son: peso unitario, humedad natural, límites de Atterberg, y la clasificación completa para cada uno de los estratos o unidades estratigráficas y sus distintos niveles de meteorización según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). (NEC 2015).

Es necesario analizar y evaluar las características de un suelo para determinar o predecir su manera de actuar a diferentes circunstancias, en los cuales influye el contenido de humedad de suelo, el tipo, el tamaño de los granos que los conforman, y su peso.

1.2. LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO IÓNICO DEL SUELO.

El suelo tiene la capacidad de intercambiar o retener iones en partículas coloides o de un pequeño diámetro, minerales y material orgánico. El intercambio iónico es un proceso que sucede en la fase sólida cuando se retira y retiene algunos iones de la solución del suelo. En el suelo se produce la adsorción, que se da cuando un material sólido o un líquido retiene vapores o gases, líquido o algún cuerpo disuelto en su superficie, el cual es un fenómeno que se produce por la atracción entre la superficie cargada de una partícula de suelo de un pequeño tamaño y un ion con carga contraria.

En suelos arcillosos existen una carga fija negativa que se ubica en la superficie activa, provocando que la carga en el suelo sea comúnmente negativa y se produzca un intercambio de cationes, lo que le da a las arcillas una capacidad de intercambio catiónica (CIC). (Juan Ordoñez 2014).

Esta capacidad de las arcillas, que también posee la materia orgánica, le permite atraer y retener partículas catiónicas, iones con carga eléctrica positiva, sobre la superficie del suelo. Existe un equilibrio dinámico entre los cationes pertenecientes de la solución del suelo y los cationes que son absorbidos sobre la superficie de la arcilla y la materia orgánica.

1.3. INFLUENCIA DE LA CANTIDAD DE FINOS Y FORMA DE LA PARTÍCULA EN EL COMPORTAMIENTO DE SUELO.

La presencia elevada de finos puede desarrollar características plásticas en suelo, lo que reduce la resistencia a la deformación permanente, por lo que al tener una graduación más fina aumenta la tendencia a experimentar desequilibrio en la estructura del suelo.

Al realizar ensayos a escala real (en una pista de prueba acelerada bajo condiciones controladas de medio ambiente), reporta que pavimentos con bases granulares y con gradaciones finas experimentan valores de deformación permanente de 21% superiores a aquellos que emplearon gradaciones gruesas. Contrario a lo anterior menciona que la vida de fatiga de las estructuras de pavimentos fue 20% mayor, cuando se utilizó la gradación más fina (Rondón y Reyes 2011).

La presencia altas de finos en materiales granulares causa problemas de tipos hidráulicos, como la presencia de una baja permeabilidad y el aumenta de la retención de agua, lo que induce a la obtención de un material con un elevado nivel de saturación lo que provoca una pérdida de la resistencia cuando se presenta distorsiones permanentes en el suelo.

La resistencia a la deformación permanente puede aumentar en materiales que sean bien graduados, se ha comprobado que la presencia elevada de cantidad de finos en materiales granulares puede generar una mayor deflexión en estructuras de pavimento, pero existe una cantidad óptima de contenido de concentración de finos en el material que puede presentar una mayor resistencia a la deformación.

Los materiales granulares que presentan características arcillosas son considerados como químicamente inestables, por lo que se recomienda identificar si un material para estructura de pavimento presenta una cantidad considerable de finos que puedan reaccionar de manera desfavorable y expandirse.

1.4. MATERIALES UTILIZADOS PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.

Para llevar a cabo la construcción de una vía se deben de hacer estudios previos que ayudan con el procedimiento a seguir en la misma, principalmente se determina el sitio y la composición del suelo, para luego observar la necesidad de hacer cambios de este o mantenerlo, en este caso entra la subrasante que debe estar preparada para colocar las diferentes capas que conforman la estructura de un pavimento.

1.4.1. BASE

La base es la capa de espesor definido de materiales sujetos a determinadas especificaciones, colocadas sobre la sub base o la subrasante, para soportar las cargas de la superficie de rodadura debido a su proximidad con la superficie.

“Se llama así a la capa construida sobre la subbase. Se diferencia de ésta por la mejor calidad de sus materiales y las mayores exigencias en las especificaciones de construcción” (MONTENEGRO 2010)

Es recomendable que tenga una alta resistencia a la deformación para poder soportar las presiones que está recibe se construye con materiales granulares estabilizados procesados y materiales marginales.

1.4.2. BASE CLASE 1: Se obtienen por medio del machacamiento de grava o roca, hasta conseguir fragmentos que sean limpios y resistentes, sin la presencia partículas prolongadas.

Tabla 1 Porcentaje de base Clase 1 en peso que pasa a través de los tamices según el MOP.

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
	A	B	C
2" (50.8 mm).	100	--	--
1 1/2" (38.1 mm).	70 – 100	100	--
1" (25.4 mm).	55 – 85	70 - 100	100
3/4" (19.0 mm).	50 – 80	60 – 90	70 – 100
3/8" (9.5 mm).	40 – 70	45 – 75	50 – 80
Nº 4 (4.75 mm).	30 – 60	30 - 60	35 – 65
Nº 10 (2.00 mm).	20 – 50	20 – 50	25 – 50
Nº 40 (0.425 mm).	5 – 30	5 - 30	10-30
Nº 200 (0.075 mm).	0 – 5	0 - 5	0 – 5

Fuente: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Christopher Reynaldo

La piedra o la grava se trituraron con un equipo tal que permita la graduación de los elementos de molienda, de tal modo que se obtengan los tamaños especificados. Cuando

se requiera, para lograr las exigencias de graduación o eliminar un exceso de material fino, la piedra o grava deberá ser cribada antes de triturar.

Los agregados empleados en la construcción de capas de Base Clase 1 deberán graduarse uniformemente de grueso a fino y cumplirán las exigencias de granulometría que se indican en la Tabla 1, siguiendo lo establecido en la Norma INEN 696 y 697 (AASHTO T-11 y T-27) (MOP 2002).

Para asegurar que el material cumpla con la normativa indicada, que establece las características que debe cumplir dicho material para considerarse tipo base de una clase en específico, se utiliza tamices de diámetros indicado para clasificar los granos componentes de la muestra de suelo según el material pasante por tamiz.

1.4.2.1. BASE CLASE 4.- Los materiales se obtendrán por trituración o cribado de grava natural, para obtener fragmentos limpios, resistentes y durables, que no presenten partículas alargadas o planas en exceso. Estarán exentos de material vegetal, grumos de arcilla u otro material objetable.

Los agregados empleados deberán graduarse uniformemente de grueso a fino, y cumplirán las exigencias de granulometría que se indican en la Tabla 2 de estas especificaciones, lo cual será comprobado mediante ensayos granulométricos, siguiendo lo establecido en la Norma INEN 696 y 697 (AASHTO T-11 y T-27), luego de que el material ha sido mezclado en planta o colocado en el camino (MOP 2002).

Los agregados para la base tipo 4 tienen que cumplir ciertas especificaciones técnicas, determinadas en la normativa de Ministerio de Transporte y Obras Públicas, para verificación de cumplimiento de características que permiten identificarlo, mediante el uso de mallas y la consideración del material pasante.

Tabla 2 Porcentaje de base Clase 4 en peso que pasa a través de los tamices MOP.

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
2" (50.8 mm).	100
1" (25.4 mm)	60 – 90
Nº 4 (4.76 mm)	20 – 50
Nº 200 (0.075 mm)	0 – 15

Fuente: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Cristopher Reynaldo.

Para cumplir con la granulometría, se mezclarán el material con grava de otros bancos, arena natural o material finamente triturado.

1.4.2.2. BASE CLASE 2 Y 3.- Se cumplirán con los requisitos establecidos en las especificaciones para la base clase 1 y 4, para la porción triturada y cribada, respectivamente, y se mezclarán en la proporción indicada en las Especificaciones Particulares de la obra, antes de su empleo. Su granulometría será la indicada en las Tablas 3 y 4 respectivamente.

Tabla 3 Porcentaje de base Clase 2 en peso que pasa a través de los tamices MOP

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
1" (25.4 mm)	100
¾" (19.0 mm)	70 – 100
3/8" (9.5 mm)	50 – 80
Nº 4 (4.76 mm)	35 – 65
Nº 10 (2.00 mm)	25 – 50
Nº 40 (0.425 mm)	15 – 30
Nº 200 (0.075 mm)	3 – 15

Fuente: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Cristopher Reynaldo.

Tabla 4 Porcentaje de base Clase 3 en peso que pasa a través de los tamices MOP

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
¾" (19.0 mm)	100
Nº 4 (4.76 mm)	45 – 80
Nº 10 (2.00 mm)	30 – 60
Nº 40 (0.425 mm)	20 – 35
Nº 200 (0.075 mm)	3 – 15

Fuente: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Cristopher Reynaldo.

1.4.3. SUB BASE

Es la capa que se encuentra entre la base y la sub-rasante constituido por un material que debe consistir de partículas duras y durable grava o piedra triturada Escoria tobas que no contendrán raíces y restos vegetales. Sirve como soporte para la capa de base colocada sobre una subrogación te aprobada Generalmente está constituido por materiales locales granulares o marginales. (SABOGAL 2016).

Los agregados empleados en la construcción de Capas de Subbase deben estar graduados de manera uniforme, desde grueso a fino y cumplir con las indicaciones en la siguiente Tabla.

Tabla 5 Porcentaje en peso que pasa a través de tamices de malla cuadrada MOP - 001-F 2002

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
	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

Fuente: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Cristopher Reynaldo.

Los agregados empleados en la construcción de capas de Base Clase 1 deberán graduarse uniformemente de grueso a fino y cumplirán las exigencias de granulometría que se indican en la Tabla 5.

Los agregados gruesos no presentarán un porcentaje de desgaste mayor a 40 en el ensayo de abrasión, como indicada la Normas INEN 860 y 861 (AASHTO T-96), con 500 vueltas de la máquina de Los Ángeles, ni arrojará una pérdida de peso mayor al 12% en el ensayo de durabilidad, Norma INEN 863 (AASHTO T-104), luego de 5 ciclos de inmersión y lavado con sulfato de sodio. (MOP 2002).

Las sub-bases de agregados se pueden clasificar según los materiales a emplearse en su composición en subbases clase 1, clase 2 y clase 3

1.4.4. MEJORAMIENTO

El mejoramiento se realizará tomando en cuenta un suelo que debe ser aprobado y autorizado por fiscalización tomando en cuenta las necesidades de la obra. Compuesto por suelo granular, material rocoso o ambos. Deberá de pasar el 100% del material por el tamiz número 40, según indicado por el MOP, y no superar el 20% de material pasante por el tamiz número 200.

Su función básica es la de modificar las características de los suelos para darle mayor resistencia al terreno o disminuir su plasticidad. Es una capa compactada consistente en materiales de procedencia natural o que son sometidos a modificaciones mínimas previas a su utilización en una obra. Los elementos del mejoramiento tienen que ser más óptimos de los que componen la subrasante. (Moreno 2018).

La función del material de mejoramiento es optimizar la capa de subrasante, mediante la implementación de material natural o con alteraciones mínimas, para mejorar la resistencia del suelo.

1.5. ENSAYOS PARA CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN FINA DE LOS SUELOS

1.5.1. GRANULOMETRÍA

Para la realización de la clasificación o separación de los componentes granulares del suelo, considerando el tamaño, se realiza ensayos de granulometría por medio de la utilización de tamices que permiten retener el material del suelo superior a un diámetro específico, pasando solo el material menor por dicho elemento.

“Los ensayos de granulometría, límites "ATTERBERG", valor soporte (CBR) y cualquier otro que fuera especificado en las disposiciones especiales, se efectuará de acuerdo a los procedimientos pertinentes establecidos en las Normas INEN y a su falta en las Normas AASHTO, excepto cuando en casos especiales se estipula otro método en los documentos contractuales” (MOP 2002).

Por granulometría es el análisis de un agregado que se realiza de forma manual o mecánica, para lograr separación y clasificación de las partículas que constituyen el agregado dependiendo del tamaño, posibilitando identificar el peso que corresponde a cada tamaño de partículas que conforman la muestra total. Este se realiza por medio de mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas. En práctica los pesos de cada tamaño de los granos del suelo se enuncian como porcentajes que son retenidos en cada una de las mallas relacionando con el total de la muestra. Los porcentajes retenidos se calculan parciales y acumulados, en las mallas, siendo los valores de los porcentajes acumulados los que servirán para trazar la gráfica de valores de material del estrato de suelo estudiado.

Tabla 6 Porcentaje de material en peso que pasa a través de tamices. Ministerio de Obras Públicas del Ecuador (MOP)

Lab N°	Absisas	GRANULOMETRIA (% QUE PASA) MALLAS																	LL	I.P	DENSI. MAXIM	HUMED. OPTIMA	HUMED. NATUR.	C.B.R.	ABRASIÓN	DESGAST ULFAT	
		4"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	8	10	30	40	50	100	200									
BASE CLASE 1, A					100	70-100	55-85	50-80		35-60	25-50		20-40		10-25			2-12	25max	6 max				>80	<40		
BASE CLASE 1, B					100	100	70-100	60-90		45-75	30-60		20-50		10-25			2-12	25max	6 max				>80	<40		
BASE CLASE 2							100	70-100		50-80	35-65		25-50		15-30			3-15	25max	6 max				>80	<40		
BASE CLASE 3								100				45-80		30-60		20-35			3-15	25max	6 max				>80	<40	
BASE CLASE 4					100		60-90					20-50						0-15	25max	6 max				>80	<50		
SUB-BASE, CLASE 1						100						30-70				10-35		0-15	25max	6 max				>30	<50		
SUB-BASE, CLASE 2					100	70-100						30-70				15-40		0-20	25max	6 max				>30	<50		
SUB-BASE, CLASE 3			100									30-70						0-20	25max	6 max				>30	<50		
MEJOR-SUBBRASANTE	100																	0-20	35max	6 max				>30			

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Cristopher Reynaldo.

1.5.1.1. MÉTODO DE ENSAYO:

“Las partículas componentes de una muestra en condiciones secas y de masa conocida son separadas por tamaño a través de una serie de tamices de aberturas ordenadas en forma descendente. Las masas de las partículas mayores a las aberturas de la serie de tamices utilizados, expresado en porcentaje de la masa total, permite determinar la distribución del tamaño de partículas” (INEN 2011).

1.5.1.2. TAMICES: “Los Tamices Elementos con un marco metálico y con una malla en el que parte del árido quedará retenido. y la luz de malla es la separación libre entre los alambres de la malla.” (César García Andreu 2009).

Tabla 7. Dimensiones nominales, designación de tamices Estándar y Alternativa. Norma ASTM E11 – 09

Alternativa	Estándar (mm)
1 1/2"	37,5
1"	25
3/4"	19
3/8"	9,5
1/4"	6,3
#3 1/2	5,6
# 4	4,75
# 12	1,7
# 40	0,425
# 200	0,075

Fuente: Análisis de la investigación realizado por los estudiantes Paredes Lucas Rony y Quinde Macías Cristopher.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Cristopher Reynaldo

1.5.2. LÍMITES DE ATTERBERG

Para la determinación de las características plásticas, y líquidas de un suelo se han diseñado ensayos que permiten determinar la cantidad de humedad, en un suelo, relacionado con su cambio de estado según el contenido de agua.

“En un principio, seis "límites de consistencia" de los suelos de grano fino se definieron por Albert Atterberg: el límite superior de flujo viscoso, el límite líquido, el límite pegajoso, el límite de la cohesión, el límite plástico, y el límite de la contracción. En el uso de la ingeniería actual, el término se refiere sólo al límite líquido, límite plástico, y en algunas referencias, el límite de la contracción” (ASTM 2005)

Son límites que separan el estado de un suelo de agregado fino según la consistencia, dependiendo del contenido de humedad que posee, presentándose el suelo en un estado sólido, semisólido, plástico, o líquido. Se definen en total tres límites de transición entre estos estados, el límite líquido, el límite plástico y el límite de retracción o contracción. Se calculan para poder caracterizar el comportamiento de los suelos finos, aunque este varía a lo largo del tiempo.

1.5.2.1. Límite líquido: Es el contenido de humedad en porcentaje, que posee un suelos que pasa de un estado plástico a un estado líquido. Para la determinación de este límite se utiliza la copa de Casagrande.

La copa de Casagrande es un dispositivo mecánico que consiste en una taza de latón suspendida mediante un pasador diseñado para poder manipular, de forma manual con manivela o por medio de un motor, la caída de la copa sobre una base hecha de caucho

Procedimiento: La muestra de suelo es secada y procesada para separar el material fino de diámetro 0.075 mm o inferior, que pase por el tamiz número 200. El ensayo para la determinación del límite líquido se efectúa colocando la muestra del suelo hidratada con agua, en la copa de bronce de la máquina de Casagrande, luego se divide en dos parte por la mitad, de manera vertical, usando una herramienta de separación.

Una vez separada se comienza a realizar un levantamiento de la copa de casagrande con la manivela a manera que se realice una elevación de 1 centímetro altura y una caída, realizando consecutivamente 2 golpes por segundo hasta que las dos partes de la muestra que se encuentran divididas en la copa se junten en la base hasta conseguir aproximadamente 13 mm de unión.

Una vez alcanzado esta distancia en la cual ambas partes se unieron en la base se termina de dar los golpes, y se procede a sacar una muestra del material, que se encuentra en la copa, sacando una muestra de uno y del otro lado en ángulo recto a la ranura asegurándose de extraer la porción que hizo contacto en la base de la copa. (I.N.V.E, DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS I.N.V. E – 125 – 07 2019)

El ensayo se realiza hasta conseguir la unión de las muestras en trece milímetros, en exactamente 25 golpes, o realizando tres ensayo con la misma muestra hasta conseguir un número requerido de golpes, para cerrar la ranura del suelo, que se hallen respectivamente en intervalos de 25 -35, 20- 30, 15 – 25 golpes. Una vez conseguido el número de golpes deseado se procede a sacar la muestra necesaria, colocarla en un recipiente adecuado, para luego ser pesada, luego se seca la muestra y se vuelve a pesar para determinar el peso del agua, se calcula el contenido de humedad de la muestra con el peso del agua en relación del peso del suelo secado al horno.

$$\text{Porcentaje de humedad} = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa de suelo secado al horno}} \times 100$$

El porcentaje que representa el límite líquido se encontrara en la muestra extraída a los 25 golpes, en caso de realizar los tres ensayos, con un número de golpes diferente a 25 y hallados en los intervalos indicados, se procede a determinar el porcentaje requerido por medio de un diagrama, que considere el número de golpes en relación al contenido de humedad, en el que se ubiquen los contenido de humedad calculado en los tres ensayo y en relación a estos se deduzca el porcentaje de humedad a 25 golpes.

1.5.2.2. Límite plástico: Es el contenido de humedad en porcentaje, cuando el suelo se encuentra en transición de fase entre los estados plástico y semisólido.

Procedimiento: El límite plástico, se determina con una muestra de suelo húmedo, el cual se extrae un porcentaje aproximado de 20 gramos, se amasa hasta tener un ejemplar uniforme, y luego se retira una porción de aproximadamente 6 gramos, que se presiona y se hace rodar formando un cilindro hasta que su contenido de humedad se reduzca mostrando grietas o desmoronándose la muestra impidiendo que se pueda seguir presionando o laminando de nuevo, solo se puede formar máximo un cilindro aproximado de 3.2 mm de diámetro, si se alcanza el diámetro máximo . Y se calcula el contenido de humedad con el peso del agua de la muestra y su relación con el peso de la muestra secada al horno, como se indica en la fórmula de porcentaje de humedad.

1.5.2.3. Límite de retracción o contracción: Es a la transición en la cual el suelo se contrae por la pérdida de humedad al pasar del estado semisólido al sólido.

1.5.2.4. Índice de plasticidad (IP): Numéricamente se define como la diferencia entre el valor del límite líquido y el límite plástico, siendo determinado cuando el rango del contenido de agua en el suelo le da comportamiento plástico.

Procedimiento: se calcula una vez determinado los porcentajes de humedad que posee la muestra cuando se encuentra dentro de estos límites.

“Cuando el límite líquido o el límite plástico no se puedan determinar, el Índice de Plasticidad se informará con la abreviatura NP (No plástico). Así mismo, cuando el límite plástico resulte igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informará como NP (No plástico)” (I.N.V.E, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS I.N.V. E – 126 – 07 2019)

Cuando los límites líquido y plástico, que se miden son iguales, o el límite líquido es menor al límite plástico se determina el material como suelo no plástico.

1.6. ENSAYO DE AZUL DE METILENO

1.6.1. AZUL DE METILENO

Se puede decir que el azul de metileno es un colorante utilizado en ciertas ramas como la medicina la farmacología y ensayos de laboratorios para análisis de materiales para construcción.

“El azul de metileno es un tinte que facilita colorear cualquier superficie y permite la realización de experimentos científicos siendo muy utilizado tanto en Industrias como a nivel de laboratorio siendo este además abundante y de fácil obtención siendo utilizado por la industria textil alimenticia cosmética educativa investigativa farmacéutica entre otras”. (Alberto Albis A. 2016).

Al ser un material destinado a varios usos, también se aplica para ensayos de laboratorios de construcción con el fin de analizar la cantidad de arcilla presente en una muestra.

“El azul de metileno, cloruro de metiltionina C₁₆H₁₈CIN₃S, se puede definir como un colorante que posee una naturaleza orgánica teniendo diversas aplicaciones en diferentes campos. Se sintetiza por primera vez en 1876, en base de anilina siendo un tinte creado para el uso en la industria textil, descubriendo posteriormente su potencial como tinte para la identificación en microscopía, siendo el primer compuesto que se utiliza en los tratamientos de enfermedades en humanos como la malaria. El comité C09 de ASTM International, “American Society for Testing and Materials”, sobre Concreto y agregados del concreto reconoce un método de prueba para examinar la idoneidad de los agregados finos y demás rellenos que se utilicen en la formación del concreto.” (Koehler 2014)

En la norma se describe un ensayo de laboratorio, de uso en el campo, que permite identificar los finos perjudiciales y no perjudiciales en muestra de agregado fino o relleno mineral, mediante la determinación de la cantidad de azul de metileno que es adsorbido.

“La nueva norma está bajo la jurisdicción del Subcomité C09.20 sobre Agregados de peso normal, que está desarrollando una nueva norma propuesta para finos de piedra caliza molida y otros materiales de división fina para su uso en concreto” (Koehler 2014).

1.6.2. MECANISMO DE APLICACIÓN DE AZUL DE METILENO A LA IDENTIFICACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE LOS FINOS.

Al estar en contacto el azul de metileno con un fino se produce un intercambio iónico, que se tiene como efecto la atracción entre estos dos elementos, y su adhesión del tinte alrededor del grano fino, lo que permite determinar la cantidad de granos finos en un material con el azul de metileno.

“La adsorción de azul de metileno por la arcilla en suspensión implica el cambio de varias propiedades fisicoquímicas. En primer lugar la superficie se cubre de colorante con diversas intensidades dependiendo de su actividad las partículas de grava arena limo y compuestos por minerales inactivos presentan absorción casi nula y en consecuencia se colorean muy poco. Los minerales pocos activos toma una tonalidad azul Clara mientras que minerales arcillosos de mayor actividad coloidal como la smectitas, toma coloración azul intenso” (Juan Ordoñez 2014)

La satisfacción de las cargas libres de las superficies arcillosas facilita la agregación y sedimentación y reduce su movilidad eléctrica. Los cambios que ocurren en la sucesión pueden aprovecharse ventajosamente para identificar la cantidad de azul necesaria para satisfacer las cargas de los minerales.

Cuando el intercambio iónico se ha presentado totalmente empieza a parecer moléculas de azul de metileno disociadas en el agua de la solución y ello hace que el agua cambia de coloración variando su turbiedad y aumentando su densidad óptica, al tiempo varía según sus características eléctricas. Para analizar y comprender mejor el ensayo es preciso entender el tipo de reacción (ion-dipolo) que se presenta entre la solución de azul de metileno y las arcillas; se trata de una atracción de cargas positivas (solución de azul de metileno) y negativas (arcillas) en tres etapas bien definidas, pero no muy bien identificables; Primera etapa: en esta se produce un intercambio parcial de los iones presentes en las partículas de arcilla por los cationes del azul de metileno y proporciona una idea de la cantidad de intercambio de iones. Segunda etapa: no puede ocurrir más intercambios, anulando así la carga de las partículas (los cationes adicionales), cancelando la movilidad a cierta dosis de azul de metileno; en este punto la solución puede recubrir uniformemente las partículas de arcilla. Tercera etapa; la muestra se encuentra saturada por azul de metileno, la movilidad es nula y la absorción es netamente física. (Gonzalez 2010)

El suelo posee iones y estos tienen una capacidad de intercambio de cargas, los iones se encuentran en la superficie del suelo lo que permite que con la presencia del azul de metileno el cual provee carga contraria se produzca este dicho intercambio.

1.6.3. NORMAS ESTANDARIZADAS PARA ENSAYOS DE AZUL DE METILENO.

1.6.3.1. Norma UNE-EN 933-9 (Ensayos Para Determinar Las Propiedades Geométricas De Los Áridos).

El método que se describe en la norma para la determinación de áridos finos consiste en la añadidura sucesiva de dosis pequeñas de solución de azul de metileno en una muestra de suelo, previamente deshidratada pasado por el tamiz número 200, diluida con agua destilada, para determinar la absorción del colorante por la muestra de ensayo.

“Esta norma europea especifica un método para la determinación del valor de azul de metileno (mb) de la fracción granulométrica 0/2 mm de los áridos fino o de la mezcla total de los áridos” (UNE 2013)

Se determina la capacidad de absorción de la muestra de suelo colocando una gota de la mezcla de agua, suelo seco y azul de metileno, sobre papel filtro para detectar la presencia de colorante libre. Una vez confirmado la presencia de colorante libre, se procede a calcular la cantidad de gramos del colorante de azul de metileno absorbido por kilogramo de la fracción fina de suelo estudiada.

1.6.3.1.1. Material Norma UNE 933-9.

Los materiales utilizados en este tipo de ensayo como son equipos y reactivos se muestran a continuación:

Reactivos

- Agua destilada o desmineralizada.
- Caolinita, con valor de azul de metileno conocido.
- Solución de azul de metileno con una calidad estándar. Con máximo 28 días de preparación.

Equipos

- Bureta, capacidad de 50 ml o 100 ml, o un micro pipeta de 5 ml y otra de 2 ml.
- Varilla de vidrio, 300 mm de longitud y 8 mm de diámetro.
- Papel filtro, sin cenizas de 95 g/m², grosor de 0,20 mm, velocidad de filtración de 75 a, y un tamaño de poro de 8 μm.
- Agitador de paletas, velocidad de rotación variable y regulable hasta (600 +/- 60) r/min, con tres o cuatro paletas agitadoras de (75 +/- 10) mm de diámetro.
- Cronómetro.
- Termómetro
- Tamiz de ensayo, con 2 mm de abertura, con protector tamiz.
- Vaso de precipitación, con una capacidad aproximada de 1 L a 2 L.
- Matraz de vidrio, de 1 L de capacidad.
- Estufa ventilada regulada, para poder mantener la temperatura de 110 a 5 CD
- Espátula.
- Desecador

1.6.3.1.2. Preparación de la muestra de ensayo

Secar la muestra de suelo hasta obtener una masa constante y se deja enfriar, tamizar la muestra seca con un tamiz número 200, rechazando las partículas retenidas sobre el tamiz, o rechazar la fracción de suelo retenida para reducir su tamaño hasta el necesario. Obteniendo una sub muestra de fino aproximada de 200 gramos o superior constante.

1.6.3.1.3. Procedimiento de operación.

Se introduce agua destilada, (500 +/- 5), en un vaso de precipitación, añadiendo también la muestra seca de finos del suelo, removiendo con una espátula. Se llenar la bureta con la solución colorante, mezclado uniformemente, restar la solución de colorante restante en un sitio oscuro.

“Ajustar el agitador a una velocidad de 600 r/min y colocar las paletas a unos 10 mm por encima de la base del vaso de precipitados” (UNE 2013).

“El agitador y el cronómetro, se ponen en marcha, agitando el contenido del vaso de precipitados durante 5 min a (600 +/- 60) r/min, agitar continuamente a (400 +/- 40) r/min hasta la terminación del ensayo”. (UNE 2013)

Se añadirá caolinita, unos (30 + - 0,1) g, junto con una dosis de solución de colorante, en caso de que la muestra no contenga finos suficientes para formar la aureola, en un vaso de precipitados, obteniendo una masa constante.

1.6.3.1.4. Determinación de la cantidad de colorante absorbido.

Colocar el papel de filtro, sobre un soporte adecuado, de modo que la superficie no quede en contacto con sólidos o líquido alguno. Se agita la mezcla durante 5 min a (600 +/- 60) r/min, luego se añade 5 ml de solución de colorante en el vaso de precipitación. Luego se agita durante un minuto, y se procede a efectuar el ensayo de coloración sobre el papel filtro.

Si no se presenta la aureola se añade a la mezcla otros 5 ml de solución de colorante, luego se agita durante un minuto y se realiza otro ensayo de coloración sobre el papel filtro. Si la aureola no aparece, se procede a añadir otros 5 ml y se sigue con el mismo procedimiento, hasta que aparezca en el ensayo de coloración la aureola alrededor de la muestra, una vez alcanzado este punto se procede a agitar la muestra durante cinco minutos, realizando ensayos de coloración cada minuto, para comprobar si reaparece la aureola en todos los ensayos.

Si la aureola ya no vuelve aparecer antes de los 4 minutos se vuelve añadir 5 ml de solución de azul de metileno y se mezcla durante un minuto, si la aureola no aparece después de los 5 minutos se añade solamente 2 ml de solución de azul de metileno, y se mezcla, en cualquier caso se deberá continuar añadiendo el tinte de azul de metileno, agitando y realizando los ensayos de coloración hasta que la aureola se mantenga durante 5 min, momento en el cual se dará terminado los ensayos.

1.6.3.1.5. Cálculo y expresión de los resultados.

El valor de azul de metileno se calcula usando la siguiente expresión:

Ecuación 1 Valor de azul de Metileno NORMA UNE-EN 933-9

$$MB = \frac{V_1}{M_1} * 10$$

M_1 Es la masa de la muestra de ensayo, expresada en gramos;

V_1 Es el volumen total de la solución de colorante añadido, expresado en mililitros

“Anotar el valor de azul de metileno, MB, redondeado a la décima de gramo más próxima de colorante empleado por kilogramo de la fracción granulométrica 0/2 mm” (UNE 2013).

Si se añade caolinita, la expresión anterior se transforma en:

Ecuación 2 Valor de Azul de Metileno con caolinita Norma UNE-EN 933-9

$$MB = \frac{V_1 - V'}{M_1} * 10$$

V' Volumen de la solución colorante absorbido por la caolinita, expresado en mililitros

“El factor 10 de las expresiones anteriores es el factor de conversión entre el volumen de la solución colorante empleada y la masa del colorante absorbido por kilogramo de la fracción granulométrica ensayada”. (UNE 2013)

1.6.3.2. Norma INV E– 235 – 07 (Valor De Azul De Metileno En Agregados Finos Y En Llenantes Minerales).

“Esta norma indica el procedimiento para determinar la cantidad de material potencialmente dañino (incluyendo arcilla y material orgánico) presente en la fracción fina de un agregado mediante la determinación del valor de azul de metileno” (I.N.V.E, VALOR DE AZUL DE METILENO EN AGREGADOS FINOS Y EN LLENANTES MINERALES I.N.V. E – 235 – 07 2019).

1.6.3.2.1. Resumen del método de prueba.

Se introduce en pequeñas cantidades de solución de Azul de Metileno en un recipiente que contengan una muestra de suelo de diámetro menor al tamiz número 200 en agua destilada. Con cada incremento de la solución del tinte, se retira una pequeña cantidad de la mezcla de agua destilada con la muestra de suelo, utilizando un agitador de vidrio y colocando a manera de gota sobre el papel filtro, para luego cuantificar la cantidad de solución de azul de metileno y calcular el valor de azul de metileno en miligramos de azul por gramos de suelo.

El valor de azul de Metileno determinado, se utiliza para identificar la cantidad de material orgánico y arcilla dañina presente en una muestra de suelo.

Tabla 8 Valor de azul de metileno y el comportamiento esperado de la mezcla asfáltica INV E - 235 - 07

Valor de Azul de Metileno (mg/g)	Desempeño anticipado
≤ 6	Excelente
7 – 12	Marginalmente aceptable
13 – 19	Problemas/Posibles falla
≥ 20	Fallado

Fuente: Norma INV E -235-07.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Christopher Reynaldo.

1.6.3.2.2. Equipos y Materiales Norma INV E 235.07.

Los materiales utilizados en el ensayo de azul de metileno descrito en esta normativa, se describen a continuación:

- Agitador magnético y varilla revolvedora
- Una bureta de 50 ml de capacidad con graduaciones de 0,1 ml, de color ámbar.
- Balanza de 200 g de capacidad y 0.001 g de sensibilidad.
- Una varilla de vidrio de 250 mm de largo y 8 mm de diámetro aproximadamente.
- Cronómetro
- Tamiz número 200 y platón.
- Papel filtro whatman No 2
- Matraz volumétrico de 1000 ml
- Tres vasos de precipitado de 500 ml d tipo Griffin.
- Agua destilada a la temperatura del laboratorio
- Horno con la capacidad de mantener temperaturas de 110 +/- 5 °C
- Azul de Metileno fechado, de grado reactivo y almacenado por un tiempo de cuatro meses o menos, en un frasco de color café, envuelto en papel de aluminio y colocado en un gabinete sin luz, a una temperatura de laboratorio. Se disuelve un gramo de azul de metileno en 200 ml de agua destilada, para que cada ml de la solución contenga 5 mg de azul de metileno.

1.6.3.2.3. Procedimiento

- La muestra de suelo que representa el agregado fino que se requiere, se seca hasta una masa constante a una temperatura de 110 ± 5 °C, y se tamiza por la malla número 200, y utilizando para la prueba la muestra pasante y el retenido se descarga.
- Colocar 10 g de material pasante del tamiz número 200, seco en un vaso volumétrico tipo Griffin de 500 ml.
- Se añade 30 ml de agua destilada y se comienza a batir con el agitador.
- Se añade 0.5 ml de solución de Azul de Metileno con una bureta y se agita durante un minuto.
- Con la varilla agitadora se extrae una gota de lechada y se deja caer sobre el papel filtro.
- Si no se forma alrededor de la gota una aureola de color azul, se continua añadiendo 0.5 ml de azul de metileno, se agita durante un minuto, y se coloca una gota de la mezcla sobre el papel filtro para comprobar la aparición del aro azul sobre la gota.
- Cuando aparece una aureola de color azul alrededor de la muestra se procede a agitar la mezcla durante 5 minutos y se repite la prueba con el papel filtro. Si vuelve a aparecer la aureola después de los 5 minutos se da por terminado el ensayo, si no vuelve aparecer la aureola se añade 0,5 ml de azul de metileno, y se repite el proceso hasta que vuelva a aparecer el aura de color azul, y se vuelve a mezclar durante 5 minutos para hacer el ensayo en papel filtro para confirmar la presencia del aura de color azul.

1.6.3.2.4. Cálculo De Valor De Azul De Metileno (Va).

Ecuación 3 Valor de Azul de Metileno NORMA INV E- 235 – 07

$$VA = \frac{C \times V}{W}$$

C = concentración de la solución de Azul de Metileno, mg/ml.

V = ml de solución de Azul de Metileno usado en la prueba.

W = gramos de material seco utilizado en la prueba.

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1. OBTENCIÓN DE LOS MATERIALES

La obtención de los materiales se la realizó siguiendo con la norma colombiana INV E-235–07 referente al cálculo del valor de azul de metileno en agregados finos y en llenantes minerales, tomando de guía los equipos descritos en la normativa para realizar el ensayo de azul de metileno y la preparación preliminar de la muestra de suelo.

2.1.1. MATERIAL DE CANTERA

El material requerido para el estudio fue obtenido de tres canteras, de las cuales se recolectó una muestra de ½ quintal de base, ½ quintal de subbase, ½ quintal de mejoramiento y ½ quintal de piedra chispa, por cantera.

Las canteras que se visitan y de la cuales se recolectó el material fueron:

- GM Cantera. Ubicado en la ruta Km 6 (Redondel de colorado) Vía a la Refinería del Pacífico, Montecristi.

Ubicación geográfica:

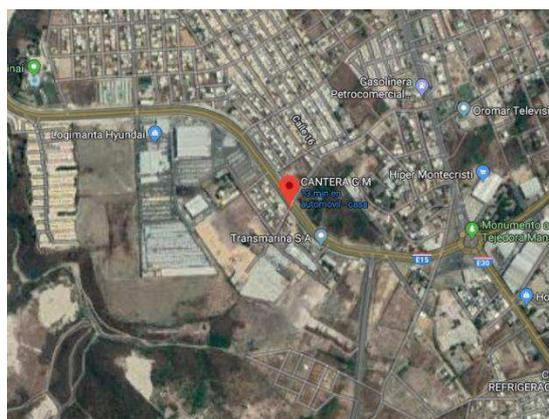


Ilustración 1. Ubicación geográfica de la Cantera GM, Google maps

- Uruzca, ubicada en la vía Manta-Portoviejo alrededor del sector Cerro Guayabal

Ubicación geográfica:



Ilustración 2 Ubicación geográfica de la Cantera Uruzca. Google maps

- Canteras Megarock, Chorrillo s/n. Km. 5 vía Manta - Montecristi por la entrada de EL CAFE 3 Km

Ubicación geográfica:

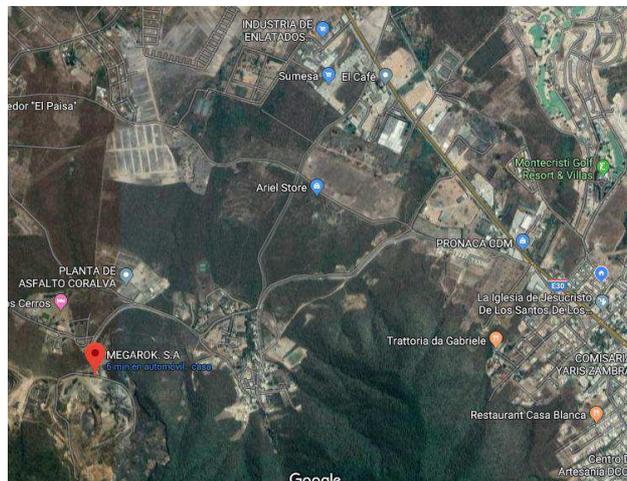


Ilustración 3 Ubicación geográfica de la Cantera Megarock. Google maps

2.1.2. MATERIAL REFERENCIAL

Arcilla expansiva

Para llevar a cabo una mejor obtención de resultados en esta investigación, se optó por realizar un ensayo para comparación, con un material que por su composición absorberá mayor cantidad de azul de metileno, como es la arcilla expansiva ya que es perjudicial la presencia de la misma en los agregados utilizados para estructuras de pavimentos. A continuación se presenta el lugar donde se extrajo una muestra de la misma, se verificó que se trata de este tipo de arcilla por el comportamiento del suelo:

Lugar: Desvío Tosagua- Calceta Ruta E38

Coordenadas: 0°48'08.8"S 80°14'31.6"W

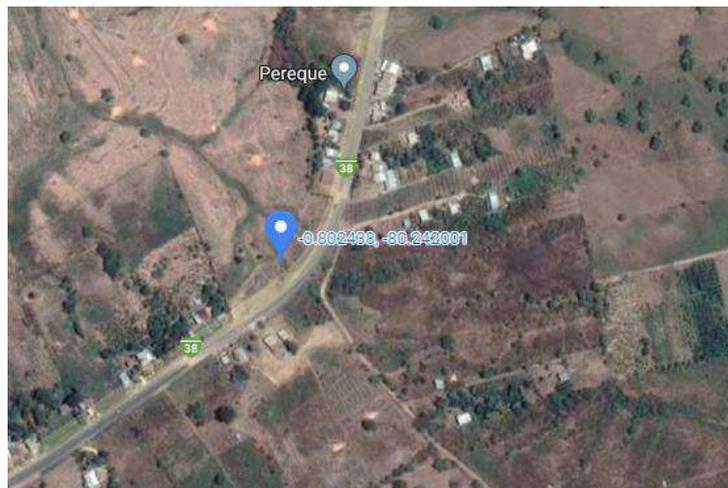


Ilustración 4 Ubicación geográfica, Tosagua- Calceta, lugar de extracción de la muestra de arcilla expansiva. Google maps

2.1.3. REACTIVOS

Las sustancias utilizadas en este proyecto de investigación para la reacción química:

- Agua destilada

Se compró un total de 3 botellas de agua destilada de un litro cada una

- Azul de metileno

3 pequeños botes de azul de metileno de 100ml c/u con una concentración 0,30 %.

2.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Los análisis granulométricos se realizaron mediante el uso de tamices de diferente numeración, considerando las especificaciones del libro amarillo del MOP, para los diferentes agregados pétreos de la estructura de la carretera.

2.2.1. BASE

Se consiguió un total de 3 sacos de muestra, medio quintal de material por cantera (MEGAROCK, GM y URUZCA), que sirve para formar la capa de base, siguiendo lo indicado por el MOP, (Ministerio de Obras Públicas), se considera el porcentaje de peso que debe pasar a través de los tamices. La tabla a considerar es la tabla 6 de este documento, en el que se describe los valores de peso que pasan por malla que deben cumplir un material para base y el número de malla a utilizar según el tipo de material base a utilizar, en este caso Base Clase 1, A:

- Cantera GM, con tres muestras de 1000 g cada una, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 9 Resultados de análisis granulométrico con las especificaciones del MOP, de material para Base de la cantera GM de Manta.

BASE CLASE 1 tipo A GM				
Peso de muestra:			1000 g	
Tamiz	Retiene	%	Pasa	%
1"	34,8	3,48 %	965,2	96,52 %
3/4"	87,1	8,71 %	878,1	87,81 %
3/8"	308,9	30,89 %	569,2	56,92 %
# 4	195,8	19,58 %	373,4	37,34 %
#10	161,4	16,14 %	212	21,20 %
#40	91,9	9,19 %	120,1	12,01 %
#200	101,9	10,19 %	18,2	1,82 %
1"	167,8	16,78 %	832,2	83,22 %
3/4"	154,8	15,48 %	677,4	67,74 %
3/8"	329,4	32,94 %	348	34,80 %
# 4	198,6	19,86 %	149,4	14,94 %
#10	92,9	9,29 %	56,5	5,65 %
#40	36,9	3,69 %	19,6	1,96 %
#200	14,7	1,47 %	4,9	0,49 %
1"	31,3	3,13 %	968,7	96,87 %
3/4"	69,9	6,99 %	898,8	89,88 %
3/8"	329,2	32,92 %	569,6	56,96 %
# 4	235,6	23,56 %	334	33,40 %
#10	184,8	18,48 %	149,2	14,92 %
#40	71,5	7,15 %	77,7	7,77 %
#200	64,6	6,46 %	13,1	1,31 %

Fuente: Análisis de investigación realizado por Paredes Lucas Rony y Quinde Macías Cristopher.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Cristopher Reynaldo

Tabla 10 Resultados promedio de los tres ensayos granulométricos realizados con el material para base de la cantera GM

Tamiz	Retiene %	Pasa %	MOP
1"	7,80 %	92,20 %	No cumple
3/4"	10,39 %	81,81 %	Cumple
3/8"	32,25 %	49,56 %	Cumple
# 4	21,00 %	28,56 %	Cumple
#10	14,64 %	13,92 %	No cumple
#40	6,68 %	7,25 %	Cumple
#200	6,04 %	1,21 %	No cumple

Fuente: Análisis de investigación realizado por Paredes Lucas Rony y Quinde Macías Cristopher.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Cristopher Reynaldo

Curva granulométrica

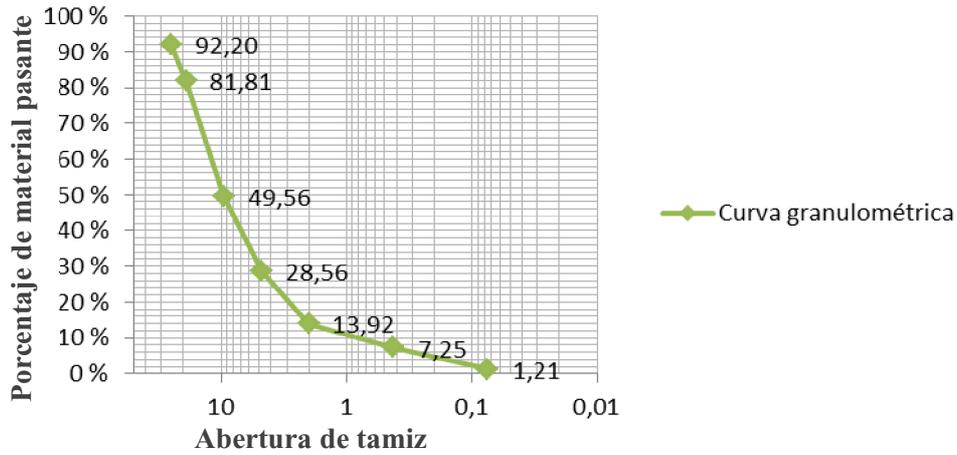


Ilustración 5 Curva granulométrica base GM.

Al finalizar los ensayos de granulometría, tomando en cuenta especificaciones dadas por el MOP en el Ecuador, se llevó a cabo la comparación entre los valores obtenidos en el ensayo y la norma. Determinando que el material en dos ensayos pasó satisfactoriamente la mayoría de los tamices, excepto los intervalos establecidos para las mallas 1" de (55-85) %, ¾" de (50 - 80) %, y #200 de (2 - 12) %.

➤ Cantera URUZCA, con dos muestras de 1000 g cada una, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 11 Resultados de análisis granulométrico con especificaciones del MOP, de material para Base Tipa A de la cantera Uruzca de Manta.

BASE URUZCA TIPO A				
Peso de muestra:			1000 g	
Tamiz	Retiene	%	Pasa	%
1"	144,2	14,42 %	855,8	85,58 %
3/4"	68,6	6,86 %	787,2	78,72 %
3/8"	167,6	16,76 %	619,6	61,96 %
# 4	132,1	13,21 %	487,5	48,75 %
#10	107,4	10,74 %	380,1	38,01 %
#40	124,6	12,46 %	255,5	25,55 %
#200	228,2	22,82 %	27,3	2,73 %
1"	221,7	22,17 %	778,3	77,83 %
3/4"	103,9	10,39 %	674,4	67,44 %
3/8"	151,8	15,18 %	522,6	52,26 %
# 4	118,9	11,89 %	403,7	40,37 %
#10	86,7	8,67 %	317	31,70 %
#40	104,3	10,43 %	212,7	21,27 %
#200	191,8	19,18 %	20,9	2,09 %

Fuente: Análisis de investigación realizado por Paredes Lucas Rony y Quinde Macías Cristopher.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Cristopher Reynaldo

Tabla 12 Resultados promedio de dos ensayos granulométricos realizados con el material para base de la cantera Uruzca

Tamiz	Retiene %	Pasa %	MOP
1"	18,30 %	81,71 %	Cumple
3/4"	8,63 %	73,08 %	Cumple
3/8"	15,97 %	57,11 %	Cumple
# 4	12,55 %	44,56 %	Cumple
#10	9,71 %	34,86 %	Cumple
#40	11,45 %	23,41 %	Cumple
#200	21,00 %	2,41 %	Cumple

Fuente: Análisis de investigación realizado por Paredes Lucas Rony y Quinde Macías Cristopher.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Cristopher Reynaldo

Curva granulométrica

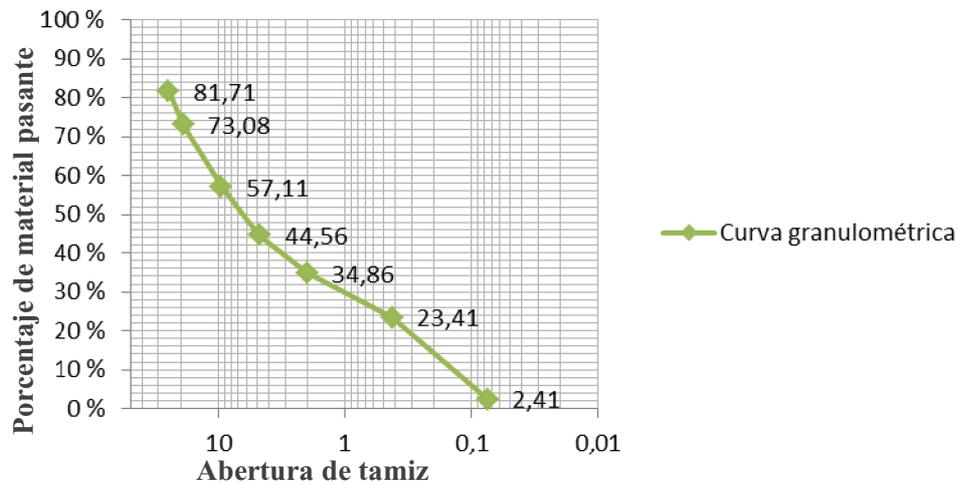


Ilustración 6 Curva granulométrica base Uruzca.

Los resultados del análisis granulométrico realizado a las dos muestras de 1000g de material para base la cantera Uruzca, cumplieron en su totalidad con los intervalos que determina el MOP del Ecuador para este tipo de material.

➤ Cantera MEGA ROCK, con dos muestras de 1000 g cada una, obteniendo los siguientes resultados :

Tabla 13 Resultados de análisis granulométrico con especificaciones del MOP, de material para Base Tipa A de la cantera Megarock de Manta

BASE MEGAROCK				
Peso de muestra:			1000 g	
Tamiz	Retiene	%	Pasa	%
1 1/2"	0	0,00 %	1000	100,00 %
1"	158,6	15,86 %	841,4	84,14 %
3/4"	72,9	7,29 %	768,5	76,85 %
3/8"	173,9	17,39 %	594,6	59,46 %
# 4	151,3	15,13 %	443,3	44,33 %
#10	152,2	15,22 %	291,1	29,11 %
#40	92,9	9,29 %	198,2	19,82 %
#200	164,8	16,48 %	33,4	3,34 %
1 1/2"	77,3	7,73 %	922,7	92,27 %
1"	35,7	3,57 %	887	88,70 %
3/4"	155	15,50 %	732	73,20 %
3/8"	178,7	17,87 %	553,3	55,33 %
# 4	162,3	16,23 %	391	39,10 %
#10	124,5	12,45 %	266,5	26,65 %
#40	75,4	7,54 %	191,1	19,11 %
#200	161,2	16,12 %	29,9	2,99 %

Fuente: Análisis de investigación realizado por Paredes Lucas Rony y Quinde Macías Christopher.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Christopher Reynaldo

Tabla 14 Resultados promedio de dos ensayos granulométricos realizados con el material para base de la cantera Megarock

Tamiz	Retiene %	Pasa %	MOP
1 1/2"	3,87 %	96,14 %	Cumple
1"	9,72 %	86,42 %	Cumple
3/4"	11,40 %	75,03 %	Cumple
3/8"	17,63 %	57,40 %	Cumple
# 4	15,68 %	41,72 %	Cumple
#10	13,84 %	27,88 %	Cumple
#40	8,42 %	19,47 %	Cumple
#200	16,30 %	3,17 %	Cumple

Fuente: Análisis de investigación realizado por Paredes Lucas Rony y Quinde Macías Christopher.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Christopher Reynaldo

Curva granulométrica

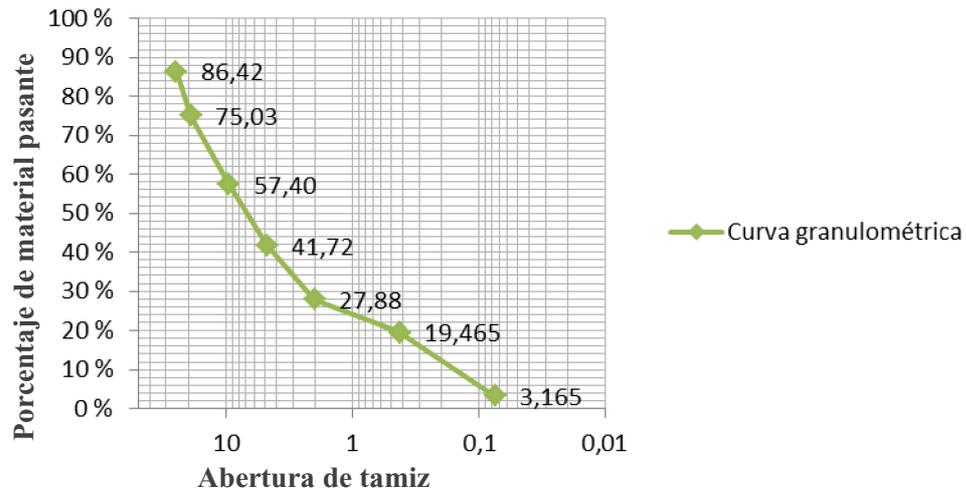


Ilustración 7 Curva granulométrica base Megarock.

Una vez culminado el análisis granulométrico para este material de dicha cantera podemos interpretar que el material cumple con los requisitos propuestos por el MOP del Ecuador para material de Base tipo 1 A.

2.2.2. SUB BASE

Se recolectó un total de 3 sacos de muestra de material para Subbase, un saco de medio quintal por cantera (MEGAROCK, GM y URUZCA), usando las especificaciones dadas por el MOP ,(Ministerio de Obras Públicas), para considerar el porcentaje de peso que debe pasar a través de los tamices, considerando la tabla 6, en el que se describe los valores de peso que pasan por malla que deben cumplir un material para subbase y el número de malla a utilizar según el tipo de sub base a utilizar.

:

➤ Cantera GM, con tres muestras de 1000 g cada una, de subbase clase 1 obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 15 Resultados de análisis granulométrico con especificaciones del MOP, de material para Subbase clase 1 de la cantera GM de Manta

Sub Base clase 1 GM				
Peso de muestra:			1000 g	
Tamiz	Retiene	%	Pasa	%
2"	0	0,00 %	1000	100,00 %
1 ½"	0	0,00 %	1000	100,00 %
# 4	552,2	55,22 %	448 g	44,78 %
# 40	240,7	24,07 %	207,1	20,71 %
# 200	185,2	18,52 %	21,9	2,19 %
2"	0	0,00 %	1000	100,00 %
1 ½"	0	0,00 %	1000	100,00 %
# 4	540,8	54,08 %	459 g	45,92 %
# 40	264,2	26,42 %	195	19,50 %
# 200	180,7	18,07 %	14,3	1,43 %
2"	0	0,00 %	1000	100,00 %
1 ½"	0	0,00 %	1000	100,00 %
# 4	613,5	61,35 %	387 g	38,65 %
# 40	227,9	22,79 %	158,6	15,86 %
# 200	147,2	14,72 %	11,4	1,14 %

Fuente: Análisis de investigación realizado por Paredes Lucas Rony y Quinde Macías Cristopher.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Cristopher Reynaldo

Tabla 16 Resultados promedio de tres ensayos granulométricos realizados con el material para Subbase de la cantera GM.

Tamiz	Retiene %	Pasa %	MOP
2"	0,00 %	100,00 %	Cumple
1 ½"	0,00 %	100,00 %	Cumple
# 4	56,88 %	43,12 %	Cumple
# 40	24,43 %	18,69 %	Cumple
# 200	17,10 %	1,59 %	Cumple

Fuente: Análisis de investigación realizado por Paredes Lucas Rony y Quinde Macías Cristopher.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Cristopher Reynaldo

Curva granulométrica

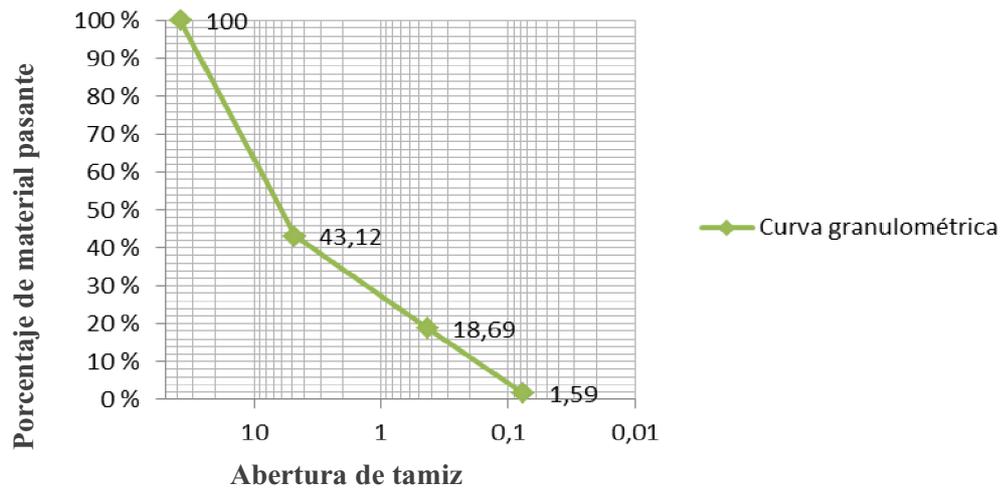


Ilustración 8 Curva granulométrica Subbase GM.

Analizando los resultados obtenidos en el análisis granulométrico del material para subbase Clase 1 de la cantera GM, se comprobó satisfactoriamente el cumplimiento de los porcentajes propuestos para los respectivos tamices especificados por el MOP.

➤ Cantera URUZCA, con dos muestras de 2000 g cada una, de subbase clase 3 obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 17 Resultados de análisis granulométrico con especificaciones del MOP, de material para Subbase clase 3 de la cantera Uruzca de Manta

SUB BASE URUZCA CLASE 3				
Peso de muestra:			2000 g	
Tamiz	Retiene	%	Pasa	%
#2	0	0,00 %	2000 g	100,00 %
#1 ½	0	0,00 %	2000	100,00 %
#4	570,5	28,53 %	1429,5	71,48 %
#20	303,9	15,20 %	1125,6	56,28 %
#100	104,6	5,23 %	1021	51,05 %
#200	15,2	0,76 %	1005,8	50,29 %
#2	0	0,00 %	2000 g	100,00 %
#1 ½	0	0,00 %	2000	100,00 %
#4	956	47,80 %	1044	52,20 %
#20	736,2	36,81 %	307,8	15,39 %
#100	104,6	5,23 %	203,2	10,16 %
#200	15,2	0,76 %	188	9,40 %

Fuente: Análisis de investigación realizado por Paredes Lucas Rony y Quinde Macías Christopher.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Christopher Reynaldo

Tabla 18 Resultados promedio de dos ensayos granulométricos realizados con el material para Subbase de la cantera Uruzca.

Tamiz	Retiene %	Pasa %	MOP
#2	0,00 %	100,00 %	Cumple
#1 ½	0,00 %	100,00 %	Cumple
#4	38,16 %	61,84 %	Cumple
#20	26,00 %	35,84 %	Cumple
#100	5,23 %	30,61 %	Cumple
#200	0,76 %	29,85 %	Cumple

Fuente: Análisis de investigación realizado por Paredes Lucas Rony y Quinde Macías Christopher.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Christopher Reynaldo

Curva granulométrica

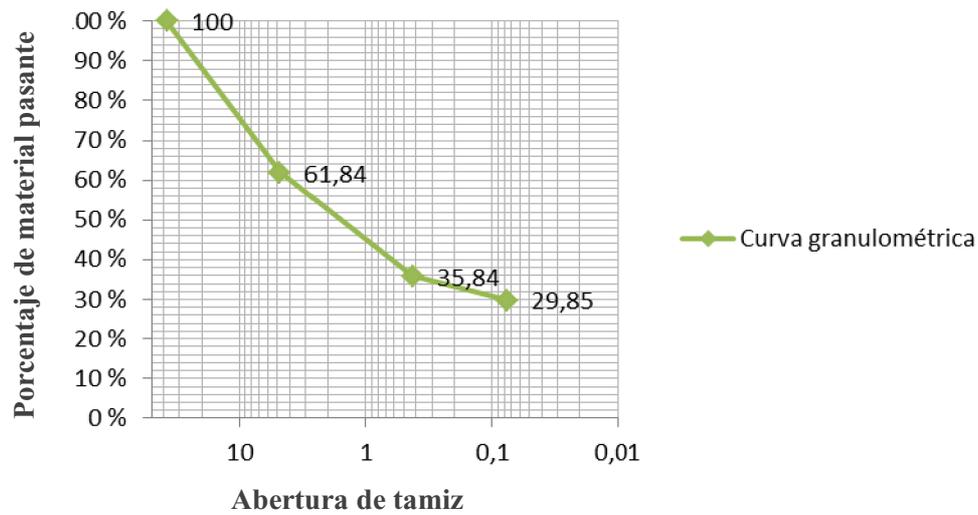


Ilustración 9 Curva granulométrica Subbase Uruzca.

Con los resultados obtenidos con el material de subbase clase 3 de la Cantera Uruzca, se puede concluir que el material cumple con las normas de granulometría establecidas, para la subbase clase 3, por el MOP, demostradas en la tabla 6.

- Cantera MEGA ROCK, con dos muestras de 1000 g cada una, de subbase clase 1 obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 19 Resultados de análisis granulométrico con especificaciones del MOP, de material para Subbase clase 1 de la cantera Megarock de Manta.

Sub Base MEGAROCK				
Peso de muestra:			1000 g	
Tamiz	Retiene	%	Pasa	%
#2	0	0,00 %	1000	100,00 %
#1 ½	0	0,00 %	1000	100,00 %
# 4	600,4	60,04 %	400 g	39,96 %
# 40	241,3	24,13 %	158,3	15,83
# 200	130,7	13,07 %	27,6	2,76 %
#2	0	0,00 %	1000	100,00 %
#1 ½	0	0,00 %	1000	100,00 %
# 4	539,4	53,94 %	461 g	46,06 %
# 40	278,9	27,89 %	181,7	18,17 %
# 200	169,3	16,93 %	12,4	1,24 %
#2	0	0,00 %	1000	100,00 %
#1 ½	0	0,00 %	1000	100,00 %
# 4	538,7	53,87 %	461 g	46,13 %
# 40	289	28,90 %	172,3	17,23 %
# 200	158,4	15,84 %	13,9	1,39 %

Fuente: Análisis de investigación realizado por Paredes Lucas Rony y Quinde Macías Christopher.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Christopher Reynaldo.

Tabla 20 Resultados promedio de tres ensayos granulométricos realizados con el material para Subbase de la cantera Megarock

Tamiz	Retiene %	Pasa %	MOP
#2	0,00 %	100,00 %	Cumple
#1 ½	0,00 %	100,00 %	Cumple
# 4	55,95 %	44,05 %	Cumple
# 40	26,97 %	17,08 %	Cumple
# 200	15,28 %	1,80 %	Cumple

Fuente: Análisis de investigación realizado por Paredes Lucas Rony y Quinde Macías Christopher.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Christopher Reynaldo.

Curva granulométrica

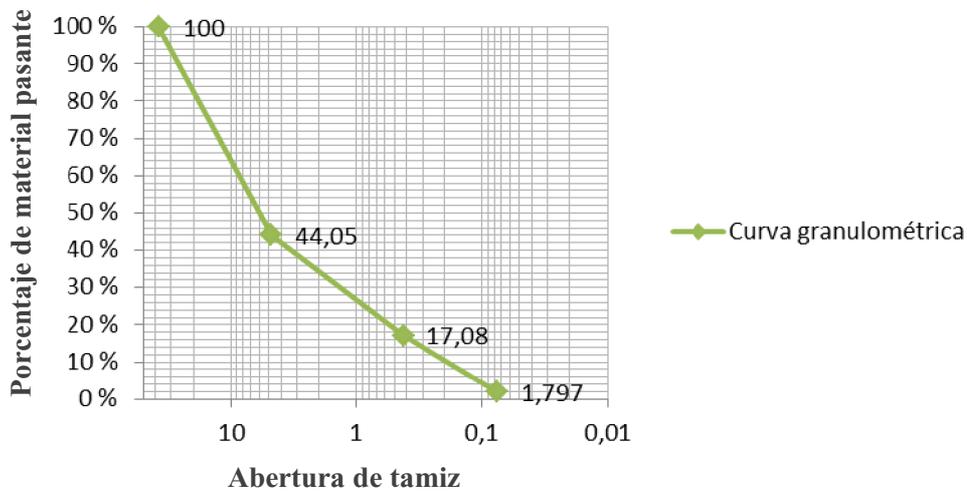


Ilustración 10 Curva granulométrica Subbase Megarock.

Se interpretan los resultados obtenidos gracias a los ensayos granulométricos y esto concluye sin novedad alguna ya que el material, sub base clase 1, de canteras Megarock, cumple satisfactoriamente los requisitos propuestos por el MOP.

2.2.3. MEJORAMIENTO.

Los siguientes resultados fueron obtenidos mediante ensayos granulométricos realizados a material de mejoramiento de diferentes canteras. Usando las indicaciones del MOP, (Ministerio de Obras Públicas), para considerar el porcentaje de peso que debe pasar a través de los tamices, basándose en la tabla 6 del presente documento, en el que se describe los valores de peso que pasan por malla que deben cumplir un material para mejoramiento:

➤ Cantera GM, con tres muestras de 1000 g cada una, de mejoramiento Tipo MOP
obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 21 Resultados de análisis granulométrico con especificaciones del MOP, de material para Mejoramiento tipo MOP de la cantera GM de Manta-

Mejoramiento GM				
Peso de muestra:			1000 g	
Tamiz	Retiene	%	Pasa	%
4"	0	0,00 %	1000	100,00 %
#200	997,7	99,77 %	2,3	0,23 %
4"	0	0,00 %	1000	100,00 %
#200	990,3	99,03 %	9,7	0,97 %
4"	0	0,00 %	1000	100,00 %
#200	991,8	99,18 %	8,2	0,82 %

Fuente: Análisis de investigación realizado por Paredes Lucas Rony y Quinde Macías Christopher.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Christopher Reynaldo.

Tabla 22 Resultados promedio de tres ensayos granulométricos realizados con el material para Mejoramiento de la cantera GM.

Tamiz	Retiene %	Pasa %	MOP
4"	0,00 %	100,00 %	Cumple
#200	99,33 %	0,67 %	Cumple

Fuente: Análisis de investigación realizado por Paredes Lucas Rony y Quinde Macías Christopher.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Christopher Reynaldo.

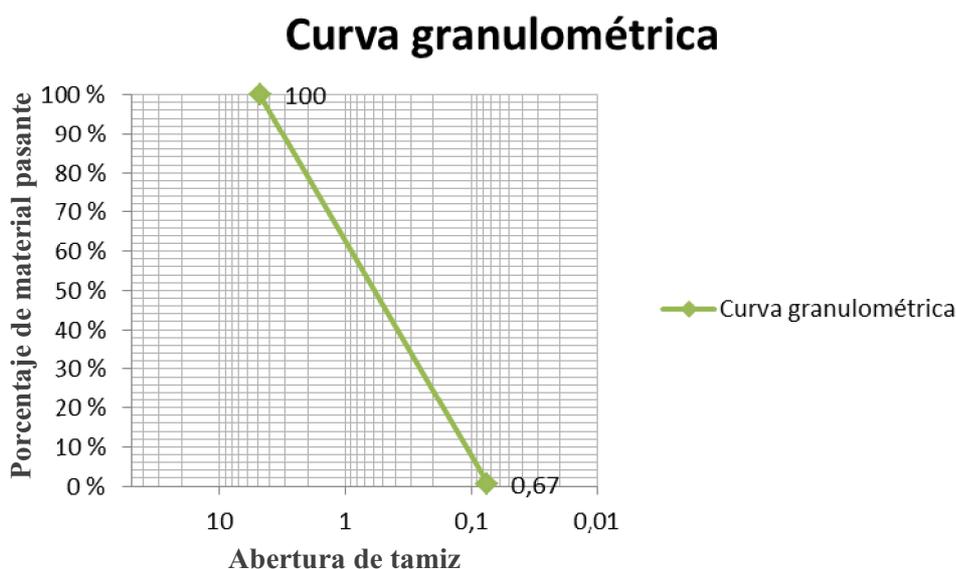


Ilustración 11 Curva granulométrica mejoramiento GM.

Con los valores obtenidos en los ensayos de granulometría se puede verificar, que el material de la cantera GM cumple con la especificación del MOP referente a la

granulometría para material de mejoramiento.

➤ Cantera Uruzca, con dos muestras de 1000 g cada una, de mejoramiento Tipo

MOP obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 23 Resultados de análisis granulométrico con especificaciones del MOP, de material para Mejoramiento tipo MOP de la cantera Uruzca de Manta.

Mejoramiento Uruzca				
Peso de muestra:			1000 g	
Tamiz	Retiene	%	Pasa	%
4"	0	0,00 %	1000	100,00 %
#200	974,7	97,47 %	25,3	2,53 %
4"	0	0,00 %	1000	100,00 %
#200	983,6	98,36 %	16,4	1,64 %

Fuente: Análisis de investigación realizado por Paredes Lucas Rony y Quinde Macías Cristopher.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Cristopher Reynaldo.

Tabla 24 Resultados promedio de dos ensayos granulométricos realizados con el material para Mejoramiento de la cantera Uruzca.

Tamiz	Retiene %	Pasa %	MOP
4"	0,00 %	100,00 %	Cumple
#200	97,92 %	2,09 %	Cumple

Fuente: Análisis de investigación realizado por Paredes Lucas Rony y Quinde Macías Cristopher.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Cristopher Reynaldo.

Curva granulométrica

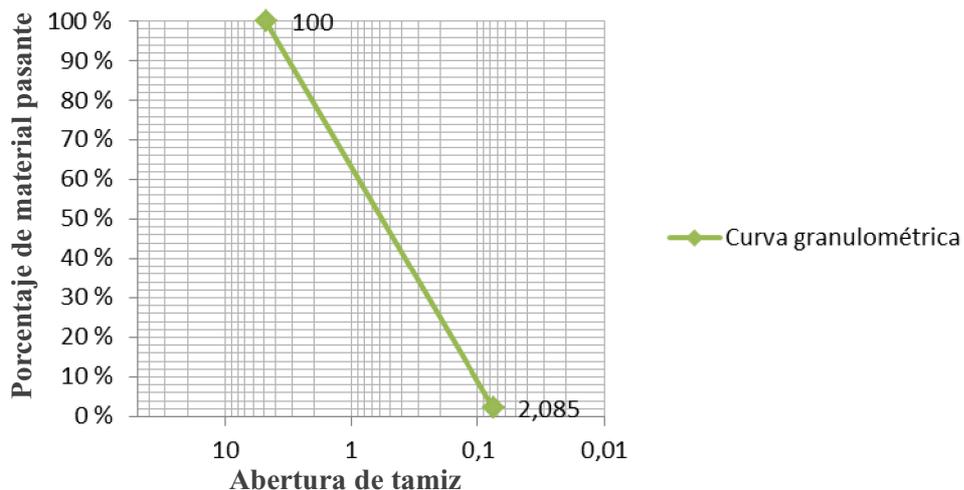


Ilustración 12 Curva granulométrica mejoramiento Uruzca.

Los resultados de granulometría del material para mejoramiento de la cantera Uruzca, cumplen con los requisitos especificados por el MOP para este tipo de material.

➤ Cantera MegaRock, con tres muestras de 1000 g cada una, de mejoramiento

Tipo MOP obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 25 Resultados de análisis granulométrico con especificaciones del MOP, de material para Mejoramiento tipo MOP de la cantera Megarock de Manta.

Mejoramiento Megarock				
Peso de muestra:			1000 g	
Tamiz	Retiene	%	Pasa	%
4"	0	0,00 %	1000	100,00 %
#200	971,8	97,18 %	28,2	2,82 %
4"	0	0,00 %	1000	100,00 %
#200	968,8	96,88 %	31,2	3,12 %
4"	0	0,00 %	1000	100,00 %
#200	975,2	97,52 %	24,8	2,48 %

Fuente: Análisis de investigación realizado por Paredes Lucas Rony y Quinde Macías Cristopher.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Cristopher Reynaldo.

Tabla 26 Resultados promedio de tres ensayos granulométricos realizados con el material para Mejoramiento de la cantera Megarock.

Tamiz	Retiene %	Pasa %	MOP
4"	0,00 %	100,00 %	Cumple
#200	97,19 %	2,81 %	Cumple

Fuente: Análisis de investigación realizado por Paredes Lucas Rony y Quinde Macías Cristopher.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Cristopher Reynaldo

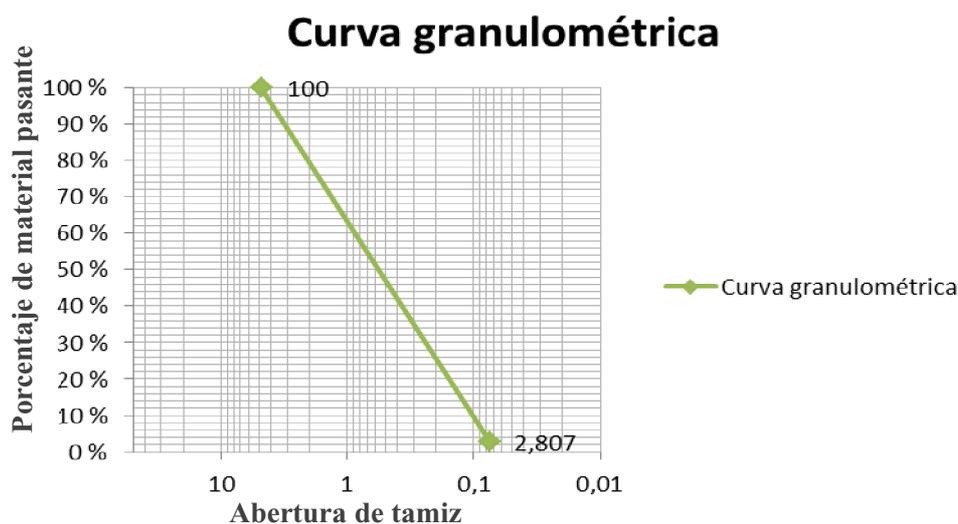


Ilustración 13 Curva granulométrica mejoramiento Megarock.

Con los resultados, de los ensayos granulométricos se determinó que el material de mejoramiento de Megarock cumple con los estándares establecidos en el MOP.

2.3. DISPOSICIÓN DE LA MUESTRA.

Para los próximos ensayos de límite líquido y límite plástico, así como para los ensayos que se realizan con el azul de metileno, se necesita una muestra de agregado fino. La muestra de suelo es secada en un horno a una temperatura de 110 grados aproximadamente por 24 horas, para luego ser tamizada por la malla número 200(0,075mm), utilizando el material pasante y desechando el material retenido en la malla, se tamizo el material hasta conseguir una muestra aproxima a 200 gramos. Este procedimiento es realizado en las muestras de material para base, subbase, mejoramiento y piedra chispa obtenido de las canteras de GM, Megarock y Uruzca.

2.4. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO

Uno de los ensayos preliminares que se le realiza a la muestra son los ensayos de límite de Atterberg, para esto se sustrajo una pequeña muestra de aproximadamente 100 gramos de material fino disponible para el ensayos. Todo esto se realiza con la finalidad de caracterizar los agregados finos de la muestra, procediendo mediante el uso de la normativa I.N.V. E – 125 – 07 sobre la determinación del límite líquido en suelos.

2.4.1. PROCEDIMIENTO

Se colocó la muestra en un recipiente para hidratarla mediante el uso de un gotero, luego de esto se ubicó en la copa de la máquina de Casagrande en donde seguidamente se dividió el material en dos partes utilizando un instrumento de separación, una vez realizada la separación con el instrumento de casagrande se comenzó a girar la manivela, la cual eleva la copa de casagrande hasta un centímetro de altura y un golpe de caída realizando este proceso de 2 golpes por segundo hasta observar que la muestra se una, aproximadamente, en 13mm. Cuando se consiguió esta unión se termina de girar la manivela teniendo en cuenta el número de golpes que se efectuaron para conseguir

ese resultado, seguido de esto se sacó una muestra representativa del material de la copa de casagrande, tomando en cuenta la parte de material que llegó a hacer contacto.

Una vez conseguidas las sub muestras del material se procedió a pesarlas, y luego fueron colocadas en el horno a una temperatura de aproximada de 110 °C por 24 horas, para así poder tomar el dato del peso sin humedad.

El proceso es iterativo mientras se consiga el objetivo del ensayo que es llegar a 25 golpes, caso contrario se puede realizar este proceso consiguiendo la unión en intervalos de 25 -35, 20- 30, 15 – 25 golpes, para luego realizar una curva o interpolando con los valores, donde se hará más fácil conseguir el valor cuando este en 25 golpes. Una vez obtenidos todos los datos, de muestra hidratada unida en la copa de casagrande y muestra seca por el horno se pasa a realizar el cálculo para determinar el límite líquido.

Finalizado este proceso se obtuvieron los siguientes resultados:

- Canteras GM con un **límite líquido** de 37,29 % de contenido de humedad.

Referencia en la Tabla 27

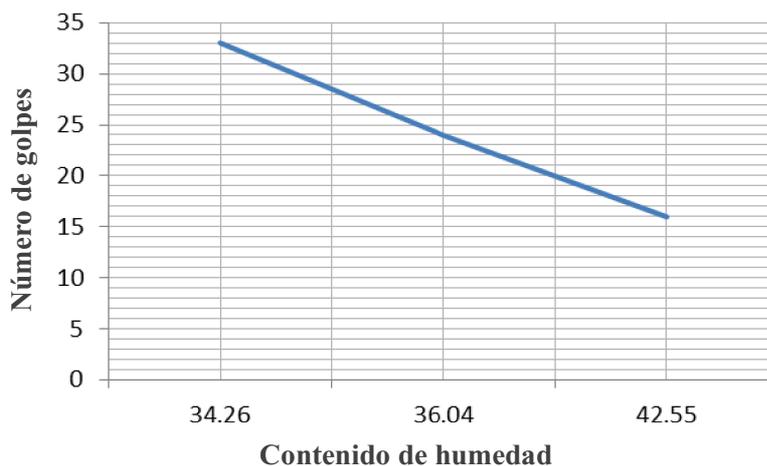


Ilustración 14 Curva de fluidez cantera GM

Con los resultados obtenidos para este material, podemos observar que tenemos un alto valor de límite líquido el cual es muy significativo considerando el tipo de material

al que pertenece. En primera instancia apreciamos un material con un alto contenido de humedad en un límite líquido, se procedió a llevar a cabo varias pruebas para así sacar un promedio el cual nos ayude a encontrar un valor más real para el límite líquido de este material, obteniendo un valor más elevado de porcentaje de humedad en límite líquido en comparación con el de las demás canteras.

- Canteras Uruzca con un **límite líquido de 35,34%** de contenido de humedad.

Referencia tabla 28

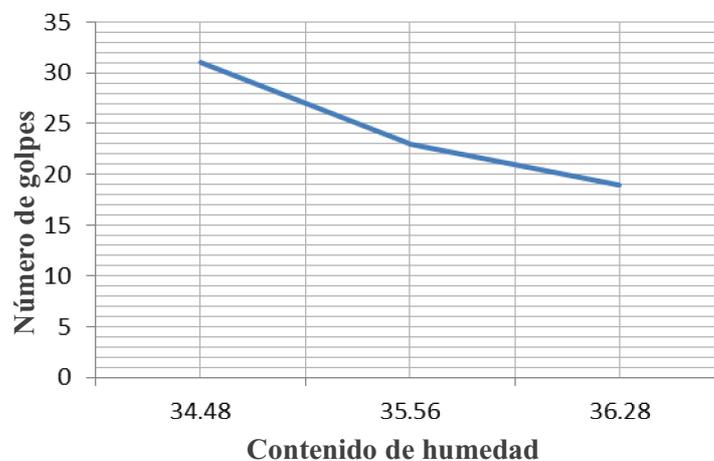


Ilustración 15 Curva de fluidez cantera Uruzca

En este caso luego de obtener los datos en el laboratorio se procedió a hacer el cálculo el cual nos arroja como primera instancia valores de límite líquido un poco elevado, con los cuales se pudo observar que en comparación con canteras GM poseen valores de límites líquidos parecidos.

- Canteras Megarock con un **límite líquido** de 32,47 % de contenido de humedad, referencia tabla 29

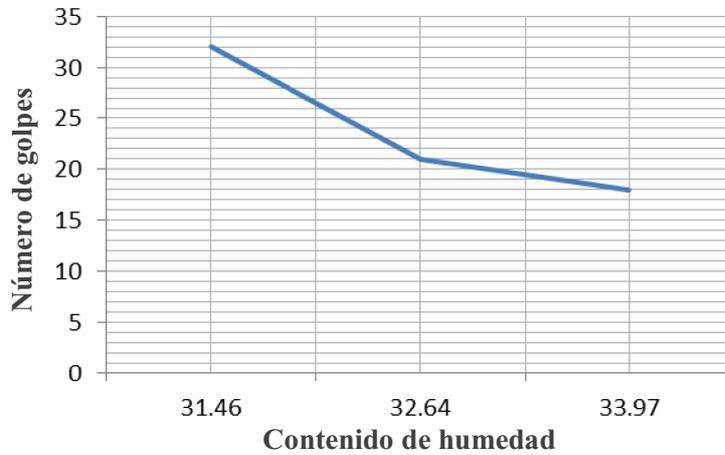


Ilustración 16 Curva de fluidez cantera Megarock.

Como se puede apreciar en estos resultados, en el material de Megarock, tiene un límite líquido menor al dado por los otros ensayos de las demás canteras, teniendo un contenido de humedad menor cuando el material cambia de una condición plástica a una condición semilíquida.

MATERIAL DE MEJORAMIENTO

- Canteras GM con un **límite líquido** de 44,37% de contenido de humedad.

Referencia en la Tabla 30

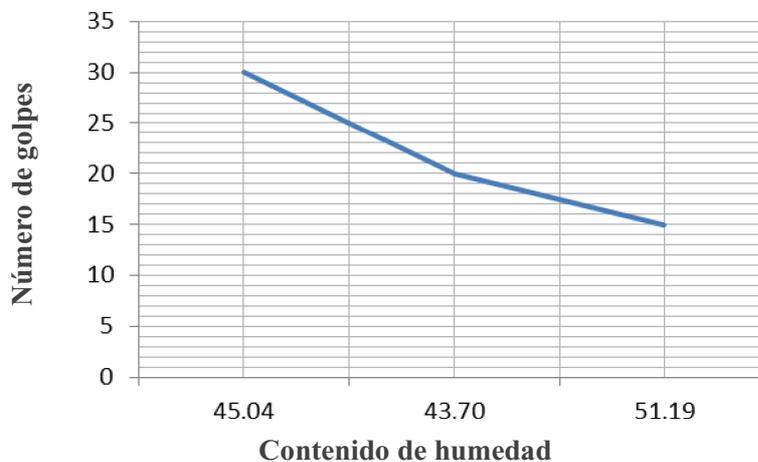


Ilustración 8 Curva de fluidez cantera GM

Con los resultados obtenidos se puede observar, que el límite líquido es muy significativo en comparación a los límites líquidos deducidos anteriormente. Teniendo el límite líquido más alto calculado en todos los ensayos realizados

- Canteras Uruzca con un **límite líquido de 27,29%** de contenido de humedad.

Referencia tabla 31

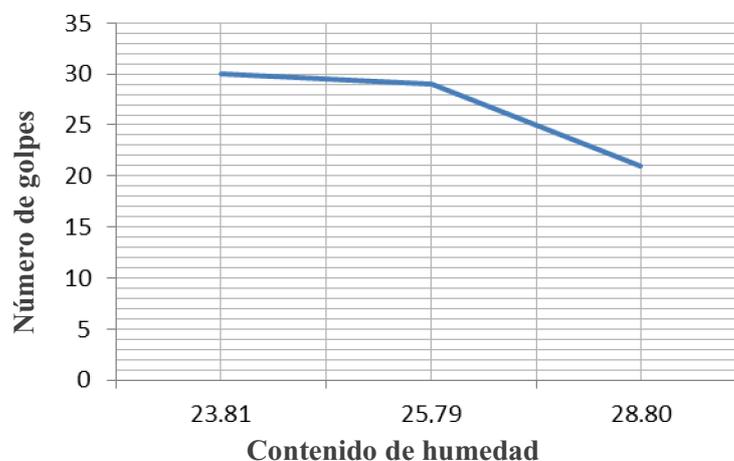


Ilustración 9 Curva de fluidez cantera Uruzca

Una vez obtenido el resultado de los ensayos, deduciendo el porcentaje de humedad en el límite líquido, se observó un valor menor en comparación a los otros ensayos de mejoramiento de las canteras.

- Canteras Megarock con un **límite líquido de 33,16%** de contenido de humedad, referencia tabla 32

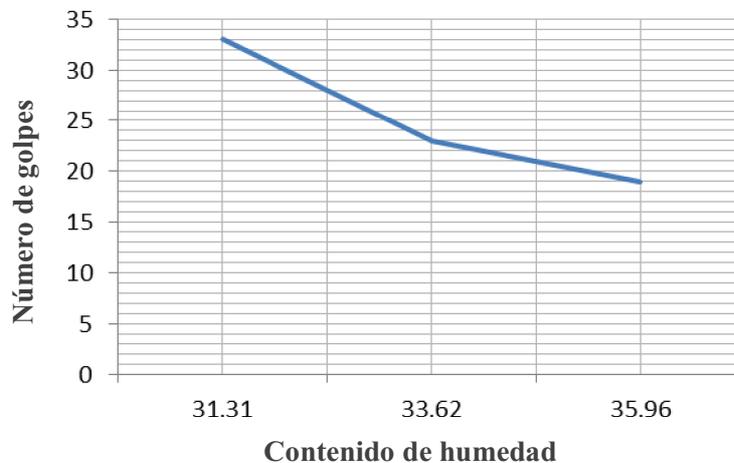


Ilustración 10 Curva de fluidez cantera Megarock.

Como se puede apreciar en estos resultados, en el material de Megarock, tiene un límite líquido menor al del primer ensayo realizado a la cantera GM, y teniendo un contenido de humedad mayor al de la cantera Uruzca.

2.5. DETERMINACIÓN DE LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD.

El límite plástico se llevó a cabo con un ensayos de límite de Atterberg para esto se utilizó una muestra de 30g de material fino disponibles para ensayos. Se realizó con el fin de hallar el contenido de humedad en porcentaje, cuando el suelo se encuentra en transición de fase entre los estados plástico y semisólido, procediendo mediante el uso de la normativa I.N.V. E – 126 – 07 sobre la determinación del límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

Procedimiento: primero se ubicó la muestra en un recipiente para luego ser hidratada y se amasó hasta tener una mezcla uniforme, conseguida esta mezcla se procedió a retirar una porción de masa la cual se presionó y se hizo rodar sobre una superficie plana formando un cilindro hasta conseguir que se humedad reduzca mostrando una fisura o una grieta, cabe recalcar que el cilindro formado solo puede

llegar a una aproximación máxima de 3.2mm de diámetro, en el momento que el material cumplió el agrietamiento se dio por terminado el ensayo y se pesó, se procedió a secar el material en un horno a 110° por 24 horas para luego pesar el material completamente sin humedad. Con estos datos ya procedimos a calcular el contenido de humedad. Se obtuvieron los siguientes resultados en el ensayo de plasticidad:

➤ Canteras GM:

Límite líquido	37,29 %
Límite plástico	32,38 %
Índice plástico	4,91 %

Se calculó un valor de límite plástico cercano al valor obtenido en el límite líquido, el valor de límite plástico fue conseguido mediante un promedio de los resultados de dos ensayos, referencia en la Tabla 27, obteniendo un valor de 32,38% , el resultado del límite líquido es de 37,20. El índice plásticos resultado de la diferencia entre los límites líquidos y plásticos obtenidos, teniendo como resultado un valor de 4,91%, se puede determinar que el material posee una ligera plasticidad, con características de suelo limo arcilloso.

➤ Canteras Uruzca

Límite líquido	35,34 %
Límite plástico	26,38 %
Índice plástico	8,96 %

Se calculó un valor de límite plástico mediante un promedio de los resultados de dos ensayos, tabla 28 del presente documento, obteniendo un valor de 26,38%, con un límite líquido es de 35,34. El índice plásticos calculado mediante la diferencia entre los límites líquidos y plásticos obtenidos, da como resultado un valor de 8,96%, se puede

determinar que el material posee una plasticidad baja, con características de suelo limo arcilloso.

➤ Canteras Megarock.

Límite líquido	32,47 %
Límite plástico	26,90 %
Índice plástico	5,57 %

Se calculó un valor de límite plástico mediante un promedio de los resultados de dos ensayos, Tabla 29, obteniendo un valor de 26,9%, con un límite líquido es de 32,47. El índice plásticos calculado mediante la diferencia entre los límites líquidos y plásticos obtenidos, da como resultado un valor de 5,56%, lo que nos permite caracterizar al suelo con contenido de plasticidad baja.

MATERIAL DE MEJORAMIENTO

➤ Canteras GM:

Límite líquido	44,37%
Límite plástico	32,02%
Índice plástico	12,35%

El valor de límite plástico fue calculado mediante un promedio de los resultados de dos ensayos, referencia en la Tabla 30, obteniendo un valor de 32,02% , el resultado del límite líquido es de 44,37%. El índice plásticos resultado de la diferencia entre los límites líquidos y plásticos obtenidos, teniendo como resultado un valor de 12,35%, se puede determinar que el material posee una plasticidad mediana, con características de suelo limo arcilloso.

➤ Canteras Uruzca

Límite líquido	27,29%
Límite plástico	17,05%
Índice plástico	10,25%

Se calculó un valor de límite plástico mediante un promedio de los resultados de dos ensayos, tabla 31 del presente documento, obteniendo un valor de 17,05%, con un límite líquido es de 27,29. El índice plásticos calculado mediante la diferencia entre los límites líquidos y plásticos obtenidos, da como resultado un valor de 10,25%, se puede determinar que el material posee una plasticidad mediana, con características de suelo limo arcilloso.

➤ Canteras Megarock.

Límite líquido	33,16%
Límite plástico	21,54%
Índice plástico	11,62%

Se calculó un valor de límite plástico mediante un promedio de los resultados de dos ensayos, Tabla 32, obteniendo un valor de 33,16%, con un límite líquido es de 21,54. El índice plásticos calculado mediante la diferencia entre los límites líquidos y plásticos obtenidos, da como resultado un valor de 11,62%, lo que nos permite caracterizar al suelo con contenido de plasticidad mediana.

2.6. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA Y LÍMITE DE ATTERBERG CON ESPECIFICACIONES DEL MOP.

Tabla 33 Verificación de cumplimiento de características con especificaciones del MOP

Cantera	Material	MOP					
		Granulometría		Limite líquido		Índice plástico	
GM	Base Clase 1,A	Cumple			No cumple	Cumple	
	Subbase clase 1	Cumple			No cumple	Cumple	
	Mejoramiento	Cumple			No cumple		No cumple
Uruzca	Base tipo A	Cumple			No cumple		No cumple
	Subbase clase 3	Cumple			No cumple		No cumple
	Mejoramiento	Cumple		Cumple			No cumple
Megarock	Base Tipo A	Cumple			No cumple	Cumple	
	Subbase clase 1	Cumple			No cumple	Cumple	
	Mejoramiento	Cumple		Cumple			No cumple

Fuente: Análisis de investigación realizado por Paredes Lucas Rony y Quinde Macías Cristopher.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Cristopher Reynaldo.

Se aprecia que en los materiales de cantera analizados, en su totalidad cumplen con las características determinadas para el MOP para la granulometría. Pero de las 9 muestras estudiadas para comparar con dichas especificaciones se calcula que un total de 7 muestras no cumplen con el límite líquido y 5 muestras no cumple con el índice plástico indicado por el MOP.

2.7. ENSAYO DE AZUL DE METILENO

Una vez realizados todos los estudios preliminares a los suelos (granulometría y límites de Atterberg), a utilizar para este ensayo, comenzamos a trabajar con el azul de metileno con el fin de identificar la cantidad de material de fracción fina potencialmente dañino dentro de estos agregados utilizados para la estructura de pavimento. Para la realización de los ensayos de azul de metileno se utilizó como guía la norma Colombiana INV E-235 – 07 referente al “Valor de Azul de Metileno en agregados finos y en llenantes minerales”.

2.7.1. EQUIPOS Y MATERIALES.

Para la obtención de equipos y materiales necesarios para el ensayo, se utilizó el laboratorio de suelos de la facultad de ingeniería de la ULEAM en donde encontramos equipos como:

- balanza electrónica
- horno eléctrico
- vaso de precipitado con una capacidad para 20 ml

Por otra parte la obtención de los demás equipos y materiales se realizó mediante su compra.

- Jeringuillas de 5 ml y otra de 2 ml.
- Varilla de vidrio
- 30 unidades de papel filtro

Reactivos:

- 3 botellas de agua destilada de un litro cada una
- 2 frascos de azul de metileno de 100ml con una concentración de 0,3%

Y como materiales para ensayar se utilizaron las muestras pasadas por el tamiz 200 disponibles:

- | | |
|--------------------------------|-----------|
| • Base GM clase 1 tipo A | 10 gramos |
| • Base URUZCA clase 1 tipo A | 10 gramos |
| • Base Megarock clase 1 tipo A | 10 gramos |
| • Subbase GM clase 1 | 10 gramos |
| • Subbase URUZCA clase 3 | 10 gramos |
| • Subbase Megarock clase 1 | 10 gramos |
| • Mejoramiento tipo MOP GM | 10 gramos |
| • Mejoramiento tipo MOP URUZCA | 10 gramos |

- Mejoramiento tipo MOP MEGAROCK 10 gramos

2.7.2. PROCEDIMIENTO

En el vaso de precipitado vaciamos los 10g de material a ensayar seguido se le añade 30ml de agua destilada, se mezcla por varios minutos usando la varilla de vidrio hasta conseguir una lechada a continuación se añadió con la jeringuilla 0.5ml de solución de azul de metileno seguido del mezclado constante de 2 vueltas por segundo durante un minuto, pasado ese tiempo proseguimos a recolectar una pequeña muestra de + - 3ml el cual se deja caer a manera de gota en el papel filtro, se chequea la reacción de la mezcla comprobando que haya presencia de una aureola de color azul que rodea el material en nuestro caso se le fue añadiendo 0.5ml hasta conseguir el objetivo en cada material ensayado.

Una vez conseguida la aureola de color azul se continúa mezclando por 5 minutos para luego comprobar si sigue la presencia del aro color azul si esto es así, se daba por terminado el ensayo caso contrario, se le seguía añadiendo solución de azul de metileno hasta cumplir con el objetivo. Terminado el ensayo se procedió a anotar la cantidad de solución de azul de metileno que se necesitó para que se produjera el aura alrededor de la mezcla, para proceder a calcular el valor de azul de la muestra, dato obligatorio para determinar la cantidad de material fino presente en las muestras de cada ensayo.

CAPÍTULO III

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. RESULTADOS

Una vez finalizados los ensayos de azul con los distintos materiales, con todas las muestras de las diferentes canteras, se registró los resultados obtenidos, teniendo las siguientes resoluciones:

3.1.1. ARCILLA EXPANSIVA DESVÍO CALCETA 1

Para asegurar la aplicabilidad del tinte de azul de metileno en la identificación de partículas finas contaminantes o nocivas en material de cantera, se utilizó como material de referencia la arcilla expansiva (tomada de la formación Tosagua), debido a ser un suelo fino y probablemente el material más problemático que puede presentarse en la construcción de vías al tener la capacidad de retener agua lo que produce cambios de volumen impredecible de manera no uniforme. Se utilizó hasta 22,8 ml de azul de metileno, sin poder obtener la presencia del aura, utilizando la fórmula 3, referente al valor de azul según NORMA INV E- 235 - 07 se determinó:

$$VA = \frac{C \times V}{W} = \frac{30 \times 22,8}{10} = 68,4 \text{ mg/g}$$

Con una solución de concentración (C) de 30% de azul de metileno, y la utilización de 10 gramos de material de muestra seca (W) se calculó un valor de azul de metileno de 68,4mg/g que usando la tabla 8 según la normativa INV E - 235 - 07, este valor ya califica este suelo como con un desempeño anticipado fallado.

1) Arcilla Expansiva desvío calceta 2

Igual que en el ensayo anterior se utilizó hasta 21.3 ml de azul de metileno, sin poder obtener la presencia del aura, utilizando la fórmula 3, referente al valor de azul según NORMA INV E- 235 - 07 se determinó:

$$VA = \frac{C \times V}{W} = \frac{30 \times 21,3}{10} = 63,9 \text{ mg/g}$$

Con una solución de concentración (C) de 30% de azul de metileno, y la utilización de 10 gramos de material de muestra seca (W) se calculó un valor de azul de metileno de 63.9mg/g que usando la tabla 8 según la normativa INV E - 235 - 07, este valor ya califica este suelo como con un desempeño anticipado fallado.

3.1.2. BASE GM CLASE 1 TIPO A

Se utilizó 5,5 ml de azul de metileno para lograr la presencia del aura alrededor de la gota de la muestra sobre el papel filtro. Utilizando la fórmula 3, referente al valor de azul según NORMA INV E- 235 - 07, se calcula considerando el uso de solución con una concentración (C) de 30% de azul de metileno, y la utilización de 10 gramos de material de muestra seca (W).

$$VA = \frac{C \times V}{W} = \frac{30 \times 5,5}{10} = 16,5 \text{ mg/g}$$

El valor de azul, calculado, es de 16,5 mg/g, según la normativa INV E - 235 - 07, en la tabla 8 en este documento referente al valor de azul de metileno y el comportamiento esperado de la mezcla asfáltica, este valor calificaría este suelo como con un desempeño con problemas o con posible falla.

3.1.3. BASE URUZCA CLASE 1 TIPO A.

Se utilizó 3,4 ml de azul de metileno para producir el aura alrededor de la gota de muestra sobre el papel filtro. Utilizando la fórmula 3, referente al valor de azul según NORMA INV E- 235 - 07, se calcula considerando el uso de solución con una concentración (C) de 30% de azul de metileno, y la utilización de 10 gramos de material de muestra seca (W).

$$VA = \frac{C \times V}{W} = \frac{30 \times 3,4}{10} = 10,2 \text{ mg/g}$$

El valor de azul es de 10,2 mg/g, según la normativa INV E - 235 - 07, en la tabla 8 en este documento referente, calificaría este suelo como con un desempeño anticipado de marginalmente aceptable.

3.1.4. BASE MEGAROCK CLASE 1 TIPO A

Se utilizó hasta 5,2 ml de azul de metileno, para producir el aura alrededor de la gota de muestra sobre el papel filtro, utilizando la fórmula 3, referente al valor de azul según NORMA INV E- 235 – 07 se determinó:

$$VA = \frac{C \times V}{W} = \frac{30 \times 5,2}{10} = 15,6 \text{ mg/g}$$

Con una solución de concentración (C) de 30% de azul de metileno, y la utilización de 10 gramos de material de muestra seca (W) un valor de azul de metileno de 15,6 que usando la tabla 8 según la normativa INV E - 235 - 07, este valor calificaría este suelo como con un desempeño con problemas o con posible falla.

3.1.5. SUBBASE GM CLASE 1

Se utilizó 2,8 ml de azul de metileno para producir el aura alrededor de la gota de la muestra en el papel filtro. Utilizando la fórmula 3, referente al valor de azul según NORMA INV E- 235 – 07, una solución con una concentración (C) de 30% de azul de metileno, y la utilización de 10 gramos de material de muestra seca (W).

$$VA = \frac{C \times V}{W} = \frac{30 \times 2,8}{10} = 8,4 \text{ mg/g}$$

El valor de azul, calculado, es de 8,4 mg/g, según la tabla 8 en este documento referente al valor de azul de metileno y el comportamiento esperado de la mezcla asfáltica de la normativa INV E - 235 - 07, este valor calificaría este suelo con un desempeño como marginalmente aceptable.

3.1.6. SUBBASE URUZCA CLASE 3.

Se utilizó 2,5 ml de azul de metileno para producir el aura alrededor de la gota de la muestra en el papel filtro. Utilizando la fórmula 3, referente al valor de azul según NORMA INV E- 235 – 07, con una solución con una concentración (C) de 30% de azul de metileno, y la utilización de 10 gramos de material de muestra seca (W).

$$VA = \frac{C \times V}{W} = \frac{30 \times 2,5}{10} = 7,5 \text{ mg/g}$$

El valor de azul, calculado, es de 7,4 mg/g, según la tabla 8 en este documento referente al valor de azul de metileno y el comportamiento esperado de la mezcla asfáltica de la normativa INV E - 235 - 07, este valor calificaría este suelo con un desempeño como marginalmente aceptable.

3.1.7. SUBBASE MEGAROCK CLASE 1.

Se utilizó 3.5 ml de azul de metileno para producir el aura alrededor de la gota de muestra en sobre el papel filtro. Utilizando la fórmula 3, referente al valor de azul según NORMA INV E- 235 – 07, con una solución de concentración (C) de 30% de azul de metileno, y la utilización de 10 gramos de material de muestra seca (W).

$$VA = \frac{C \times V}{W} = \frac{30 \times 3,5}{10} = 10,5 \text{ mg/g}$$

El valor de azul, calculado, es de 10.5 mg/g, según la tabla 8 en este documento referente al valor de azul de metileno y el comportamiento esperado de la mezcla asfáltica de la normativa INV E - 235 - 07, este valor calificaría este suelo con un desempeño marginalmente aceptable.

3.1.8. MEJORAMIENTO TIPO MOP GM.

Se utilizó 4,5 ml de azul de metileno para producir el aura alrededor de la gota de muestra en sobre el papel filtro. Utilizando la fórmula 3, referente al valor de azul según NORMA INV E- 235 – 07, con una solución de concentración (C) de 30% de azul de metileno, y la utilización de 10 gramos de material de muestra seca (W).

$$VA = \frac{C \times V}{W} = \frac{30 \times 4,5}{10} = 13,5 \text{ mg/g}$$

El valor de azul, calculado, es de 13,5 mg/g, según la tabla 8 en este documento referente al valor de azul de metileno y el comportamiento esperado de la mezcla asfáltica de la normativa INV E - 235 - 07, este valor calificaría este suelo con un desempeño con problemas o posibles falla.

3.1.9. MEJORAMIENTO TIPO MOP URUZCA.

Se utilizó 5,7 ml de azul de metileno para producir el aura alrededor de la gota de muestra en sobre el papel filtro. Utilizando la fórmula 3, referente al valor de azul según NORMA INV E- 235 – 07, con una solución de concentración (C) de 30% de azul de metileno, y la utilización de 10 gramos de material de muestra seca (W).

$$VA = \frac{C \times V}{W} = \frac{30 \times 5,7}{10} = 17,1 \text{ mg/g}$$

El valor de azul, calculado, es de 17,1 mg/g, según la tabla 8 en este documento referente al valor de azul de metileno y el comportamiento esperado de la mezcla asfáltica de la normativa INV E - 235 - 07, este valor calificaría este suelo con un desempeño con problemas o posibles falla.

3.1.10. MEJORAMIENTO TIPO MOP MEGAROCK.

Se utilizó hasta 5 ml de azul de metileno, sin poder obtener la presencia del aura, utilizando la fórmula 3, referente al valor de azul según NORMA INV E- 235 – 07 se determinó:

$$VA = \frac{C \times V}{W} = \frac{30 \times 5}{10} = 15 \text{ mg/g}$$

Con una solución de concentración (C) de 30% de azul de metileno, y la utilización de 10 gramos de material de muestra seca (W), dio un valor de azul de metileno de 15mg/g que usando la tabla 8 según la normativa INV E - 235 - 07, este valor calificaría este suelo como con un desempeño como problemas o posibles falla.

3.1.11. PIEDRA CHISPA GM.

Se utilizó 3,5 ml de azul de metileno para producir el aura alrededor de la gota de muestra sobre el papel filtro. Utilizando la fórmula 3, referente al valor de azul según NORMA INV E- 235 – 07, con una solución de concentración (C) de 30% de azul de metileno, y la utilización de 10 gramos de material de muestra seca (W)

$$VA = \frac{C \times V}{W} = \frac{30 \times 3,5}{10} = 10,5 \text{ mg/g}$$

El valor de azul, calculado, es de 10,5 mg/g, según la tabla 8 en este documento referente al valor de azul de metileno y el comportamiento esperado de la mezcla asfáltica de la normativa INV E - 235 - 07, este valor calificaría este suelo con un desempeño marginalmente aceptable

3.1.12. PIEDRA CHISPA URUZCA.

Se utilizó 3 ml de azul de metileno para producir el aura alrededor de la gota de muestra sobre el papel filtro. Utilizando la fórmula 3, referente al valor de azul según NORMA INV E- 235 – 07, con una solución de concentración (C) de 30% de azul de metileno, y la utilización de 10 gramos de material de muestra seca (W)

$$VA = \frac{C \times V}{W} = \frac{30 \times 3}{10} = 9 \text{ mg/g}$$

El valor de azul, calculado, es de 9 mg/g, según la tabla 8 en este documento referente al valor de azul de metileno y el comportamiento esperado de la mezcla asfáltica de la normativa INV E - 235 - 07, este valor calificaría este suelo con un desempeño marginalmente aceptable

3.1.13. PIEDRA CHISPA MEGAROCK.

Se utilizó 4 ml de azul de metileno para producir el aura alrededor de la gota de muestra sobre el papel filtro. Utilizando la fórmula 3, referente al valor de azul según NORMA INV E- 235 – 07, con una solución de concentración (C) de 30% de azul de metileno, y la utilización de 10 gramos de material de muestra seca (W)

$$VA = \frac{C \times V}{W} = \frac{30 \times 4}{10} = 12 \text{ mg/g}$$

El valor de azul, calculado, es de 12 mg/g, según la tabla 8 en este documento referente al valor de azul de metileno y el comportamiento esperado de la mezcla asfáltica de la normativa INV E - 235 - 07, este valor calificaría este suelo con un desempeño marginalmente aceptable.

Tabla 34 Resultados de ensayos de Azul de Metileno y de desempeño anticipado.

Cantera	Material	Valor de azul	Desempeño anticipado
GM	Base	16,50 mg/g	Problemas/Posibles falla
	Sub Base	8,40 mg/g	Marginalmente aceptable
	Mejoramiento	13,50 mg/g	Problemas/Posibles falla
Uruzca	Base	10,20 mg/g	Marginalmente aceptable
	Sub Base	7,50 mg/g	Marginalmente aceptable
	Mejoramiento	17,10 mg/g	Problemas/Posibles falla
Megarock	Base	15,60 mg/g	Problemas/Posibles falla
	Sub Base	10,50 mg/g	Marginalmente aceptable
	Mejoramiento	15,00 mg/g	Problemas/Posibles falla

Fuente: Análisis de investigación realizado por Paredes Lucas Rony y Quinde Macías Christopher.

Autores: Paredes Lucas Rony Johan, Quinde Macías Christopher Reynaldo.

3.2. IMPLEMENTACIÓN DE LA NORMATIVA DEL ENSAYO DE AZUL DE METILENO EN EL PAÍS.

La aplicabilidad del azul de metileno como reactivo para identificar finos dañinos radica en la capacidad que tienen estos finos en absorber este tinte, la confiabilidad del ensayo reside en la poca manipulación que tiene el usuario sobre los componentes que inciden en el resultado. En los ensayos realizados se dieron diferentes resultados colocando los materiales en diferentes categorías según la norma INV E- 235 - 07, se usó como referencia para los ensayos de azul de metileno el material de arcilla el cual dio un resultado totalmente fallido y muy alto de uso de azul en comparación a los demás.

En base a nuestra investigación podemos concluir que se puede aplicar fácilmente el ensayo de identificación de finos dañinos en el material de cantera través del uso del tinte azul de metileno, siendo un método confiable y de fácil realización, se puede formar una normativa que pueda aplicarse a la realidad del país, una vez desarrollado varios ensayos que permitan dar sustento a los conceptos que se pueden aplicar en dicha normativa.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Después de la observación directa, aplicación, estudio y comparación de las muestras obtenidas de suelo en las tres canteras (GM, Uruzca, Megarock), el análisis y la interpretación de resultados sobre la aplicabilidad del azul de metileno que determina la cantidad de material de fracción fina potencialmente dañino en los agregados utilizados para la estructura de pavimento según la normativa INV E – 235 – 07 se puede resultar que:

Los material base GM y la base Megarock a pesar de cumplir con los requerimientos indicados por el MOP en índice plástico, calificaron en el ensayo de azul de metileno según la norma INV E-235-07 como un suelo que puede presentar problemas o posible falla de desempeño, por lo que se puede estimar según la norma que poseen una presencia considerable de arcillas dañinas y materia orgánica presente en el agregado, la base Uruzca el material no cumplió con las indicaciones de índice plástico determinadas por el MOP, califica con el ensayo de azul de metileno en la normativa INV E-235-07 como un desempeño anticipado marginalmente aceptable, lo que se puede interpretar que existe una presencia de finos perjudicial baja no considerable.

La sub base GM clase 1, la subbase Uruzca clase 3 y subbase Megarock clase 1 mediante el ensayo de azul de metileno, de la norma INV E-235-07, califican con un desempeño como marginalmente aceptable indicando una presencia baja y permisible de finos dañinos. El material subbase de las canteras GM y Megarock cumple con los requerimientos del MOP para índice plástico, y el material de subbase de la cantera Uruzca no cumple con dichos requerimientos e igualmente se clasifica por el ensayo de azul como un material aceptable junto con los otros dos materiales.

Los materiales de mejoramiento GM, mejoramiento Uruzca y el mejoramiento Megarock no cumplieron con los requerimientos del MOP para índice plástico y calificaron con un desempeño con problemas o posibles fallas según la norma INV E-235-07 lo que indicaría una presencia de finos dañinos.

Las piedras chispas de las canteras GM, Uruzca y Megarock tienen un valor que calificó este material con un desempeño marginalmente aceptable según la norma INV E-235-07.

La arcilla expansiva según la norma INV E-235-07 se califica con un desempeño anticipado fallado, recalcando que en la muestra de arcilla expansiva fue requerida una mayor cantidad de azul de metileno, teniendo el valor más alto de azul superando significativamente al de los demás ensayos, hecho que se le atribuye por su elevada cantidad de finos dañinos presentes en su composición.

CONCLUSIONES

- Investigado los modos de uso del ensayo de azul de metileno para la identificación de finos dañinos para las estructuras de pavimentos en las normativa europea y colombiana, se define como guía la norma INV E-235-07(colombiana), considerando la semejanza de los tipos de suelo por un pasado geológico similar.
- La selección de las canteras permitió la obtención de muestras representativas que permitieron obtener diferentes materiales con algunas diferencias en sus propiedades físicas como el índice de plasticidad. Además la obtención de cantidad suficiente de finos que pasa por el tamiz número 200 para llevar a cabo la realización del ensayo de azul.
- En su totalidad las muestras cumplen con las indicaciones del MOP para lo que refiere a granulometría, se observa que no todos los materiales cumplen las especificaciones para índice plástico y tampoco cumplen en parte con el ensayo de azul de metileno.
- Las técnicas aplicadas según las normas INV E- 235-07 reflejan que la mayoría de las muestras ensayadas de las diferentes canteras (GM, Uruzca y Megarock) se encuentran en un rango marginalmente aceptable, siendo entre 7 a 12 la mayoría de valores de azul de metileno.
- El ensayo de azul de metileno que se realiza en el país es para hormigones, pero no se encontró ninguna normativa ecuatoriana al respecto, como tampoco para la identificación de finos dañinos para los diferentes tipos de materiales utilizados en la estructura de un pavimento.

RECOMENDACIONES

- A las entidades abastecedoras de materiales de mejoramiento de suelos, utilizar como guía la normativa colombiana INV E-235-07, debido a su efectividad, fácil aplicación, su diseño basado para una zona geológica similar a la del país, y por la inexistencia de normas nacionales de este tipo, para desarrollo de próximos ensayos referente al empleo de azul de metileno para la identificación de finos nocivos.
- Al Ministerio de Obras Públicas consideren el uso del método de azul de metileno para la identificación de finos dañinos en material de cantera, debido a su exactitud de resultados en comparación a los que se pueden obtener de los ensayos comunes para la identificación de finos nocivos.
- Para el ensayo de azul de metileno, haciendo uso de la normativa colombiana INV E-235-07, usar una solución de azul de concentración alta que posibilita la reacción rápida y presencia del aura de azul alrededor de la muestra en el ensayo.

BIBLIOGRAFÍA.

- Alberto Albis A., Alexandra J. López , María C. Romero. *Remoción de azul de metileno de soluciones acuosas utilizando cáscara de yuca*. Informativo, Barranquilla, Colombia.: Universidad del Atlántico, 2016.
- ASTM. *ASTM E-11 Especificación de Mallas*. Normativo, Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM internacional, 2011.
- ASTM, Sociedad Americana para Pruebas y Materiales. *Los métodos estándar de ensayo para Límite Líquido, Límite de plástico, y el índice de plasticidad de los suelos*. normativo, Comisión de suelos y rocas, 2005.
- César García Andreu, José Miguel Saval Pérez, Francisco Baeza Brotons, Antonio José Tenza Abril. *GRANULOMETRÍA Y DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE UN ÁRIDO*. Investigativo, San Vicente del Raspeig, Alicante, España: Universidad de Alicante, 2009.
- Europea, Norma. *Azul de Metileno UNE En 933-9*. normativo, Madrid: AENOR, 1999.
- Gonzalez, Jorge Luis Rodriguez. *Técnicas de empleo del azul de metileno para la caracterización de finos en materiales de ingeniería*. Revista facultad de ingeniería UPTC, 2010.
- I.N.V.E, Instituto Nacional de Vías de Colombia. *DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS I.N.V. E – 125 – 07*. Bogota: Instituto Nacional de Vías, 2019.
- I.N.V.E, Instituto Nacional de Vías de Colombia. *LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS I.N.V. E – 126 – 07*. Bogota: Instituto Nacional de Vías, 2019.
- I.N.V.E, Instituto Nacional de Vías de Colombia. *VALOR DE AZUL DE METILENO EN AGREGADOS FINOS Y EN LLENANTES MINERALES I.N.V. E – 235 – 07*. NORMATIVO, Instituto Nacional de Vías, 2019.
- INEN, INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO*. Quito - Ecuador: INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2011.
- Juan Ordoñez, Melissa Pacheco, Karina Palacios, Ing. Jéssica Criollo. *INTERCAMBIO IÓNICO EN LOS SUELOS*. Cuenca: Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, 2014.
- Koehler, Eric. *ASTM International, Sociedad Americana para Pruebas y Materiales* . junio de 2014. https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPMJ14/c0920_spmj14.html (último acceso: 03 de Diciembre de 2019).
- MONTENEGRO, MARCO TULLIO MATA. *GUÍA BÁSICA PARA LA CONFORMACIÓN DE BASES Y SUBBASES PARA CARRETERAS EN EL SALVADOR*. GUÍA BÁSICA PARA LA CONFORMACIÓN DE, San Salvador: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR, 2010.
- MOP, MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y COMUNICACIONES. *ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES* . informativo, QUITO: REPUBLICA DEL ECUADOR MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y COMUNICACIONES, 2002.
- Moreno, Anthony Ismael Manotoa. «Funciones de base, subbase, subrasante y material de mejoramiento.» Investigativo, LOJA, 2018.
- NEC, Ministerio de Desarrollo humano y vivienda. *NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN , NEC-SE-CM , GEOTECNIA Y CIMENTACIONES*. Quito: Plataforma gubernamental de desarrollo social, 2015.
- Rondón, Hugo Alexander, y Fredy Reyes. *DEFORMACIÓN PERMANENTE DE MATERIALES GRANULARES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES: ESTADO DEL CONOCIMIENTO*. Medellín, Colombia: Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 2011.
- SABOGAL, FERNANDO SÁNCHEZ. *MATERIALES PARA BASE Y SUBBASE*. 23 de Diciembre de 2016. <https://es.slideshare.net/castilloaroni/mdulo-7-materiales-para-base-y-subbase-fernando-snchez-sabogal> (último acceso: 26 de 10 de 2019).

UNE, comite tecnico AEN/CTN 146 Aridos. *Ensayos para determinar las propiedades geometricas de los áridos UNE-EN 933-9*. Madrid: UNE - Asociación Española de Normalización, 2013.

ANEXOS

Anexo 1: Tablas

Tabla 27 Resultados de ensayos de límite líquido y límite plástico GM

GM					
	LIMITE PLASTICO		LIMITE LIQUIDO		
Prueba N°					
Frasco N°	3	k7	E	J	F.H 10
N° de golpes			33	24	16
1 Peso de Frasco + suelo húmedo	9,5	12,5	19,5	21,6	20,4
2 Peso de Frasco + suelo seco	9,1	11,4	15,8	17,6	16,4
3 Peso de agua	0,4	1,1	3,7	4	4
4 Peso de frasco	7,9	7,9	5	6,5	7
5 Peso suelo seco	1,2	3,5	10,8	11,1	9,4
6 Contenido de humedad	33,33	31,43	34,26	36,04	42,55

Tabla 28 Resultados de ensayos de límite líquido y límite plástico Uruzca

URUZCA					
	LIMITE PLASTICO		LIMITE LIQUIDO		
Prueba N°					
Frasco N°	ml	17q	21	3	FA
N° de golpes			31	23	19
1 Peso de Frasco + suelo húmedo	8,9	10,3	20,9	20,1	21,8
2 Peso de Frasco + suelo seco	8,3	9,5	16,9	16,9	17,7
3 Peso de agua	0,6	0,8	4	3,2	4,1
4 Peso de frasco	6	6,5	5,3	7,9	6,4
5 Peso suelo seco	2,3	3	11,6	9	11,3
6 Contenido de humedad	26,09	26,67	34,48	35,56	36,28

Tabla 29 Resultados de ensayos de límite líquido y límite plástico Megarock

MEGA ROCK					
	LIMITE PLASTICO		LIMITE LIQUIDO		
Prueba N°					
Frasco N°	09	16	16	k7	t
N° de golpes			32	21	18
1 Peso de Frasco + suelo húmedo	10,8	13	30,3	33,5	29,1
2 Peso de Frasco + suelo seco	9,6	11,7	24,7	27,2	23,8
3 Peso de agua	1,2	1,3	5,6	6,3	5,3
4 Peso de frasco	5,2	6,8	6,9	7,9	8,2
5 Peso suelo seco	4,4	4,9	17,8	19,3	15,6
6 Contenido de humedad	27,27	26,53	31,461	32,642	33,974

Tabla 30 Resultados de ensayos de límite líquido y límite plástico GM en Material de mejoramiento.

GM						
	LIMITE PLASTICO		LIMITE LIQUIDO			
Prueba N°						
Frasco N°	3	da	3	2	Cr	
N° de golpes			30	20	15	
1	Peso de Frasco + suelo húmedo	73,7	53,5	31,3	22,8	25,2
2	Peso de Frasco + suelo seco	71,5	52	25,4	16,9	20,9
3	Peso de agua	2,2	1,5	5,9	5,9	4,3
4	Peso de frasco	64,5	47,4	12,3	3,4	12,5
5	Peso suelo seco	7	4,6	13,1	13,5	8,4
6	Contenido de humedad	31,43	32,61	45,04	43,70	51,19

Tabla 31 Resultados de ensayos de límite líquido y límite plástico Uruzca de Mejoramiento

URUZCA						
	LIMITE PLASTICO		LIMITE LIQUIDO			
Prueba N°						
Frasco N°	166	Ro	00	6	R	
N° de golpes			30	29	21	
1	Peso de Frasco + suelo húmedo	6,1	65,1	19	30,9	20,9
2	Peso de Frasco + suelo seco	5,7	64,8	16,5	26	17,3
3	Peso de agua	0,4	0,3	2,5	4,9	3,6
4	Peso de frasco	3,8	62,5	6	7	4,8
5	Peso suelo seco	1,9	2,3	10,5	19	12,5
6	Contenido de humedad	21,05	13,04	23,81	25,79	28,80

Tabla 32 Resultados de ensayos de límite líquido y límite plástico en material mejoramiento Megarock

MEGA ROCK						
	LIMITE PLASTICO		LIMITE LIQUIDO			
Prueba N°						
Frasco N°	3	Q	AN	B	AI	
N° de golpes			33	23	19	
1	Peso de Frasco + suelo húmedo	8,8	70,6	19,8	23,9	19,5
2	Peso de Frasco + suelo seco	7,9	69,9	16,7	20	16,3
3	Peso de agua	0,9	0,7	3,1	3,9	3,2
4	Peso de frasco	3,9	66,5	6,8	8,4	7,4
5	Peso suelo seco	4	3,4	9,9	11,6	8,9
6	Contenido de humedad	22,50	20,59	31,313	33,621	35,955

FOTOGRAFÍA DE EVIDENCIA DE LA INVESTIGACIÓN REALIZADA

ANEXOS 2: RECOLECCION DE MUESTRA



ARCILLA



Fuente: Fotografía de los autores de la investigación
Autores: Paredes Lucas Rony, Quinde Macías Christopher

TAMIZADO



Fuente: Fotografía de los autores de la investigación
Autores: Paredes Lucas Rony, Quinde Macías Cristopher

TAMIZADO



Fuente: Fotografía de los autores de la investigación
Autores: Paredes Lucas Rony, Quinde Macías Cristopher

LIMITE LÍQUIDO



Fuente: Fotografía de los autores de la investigación
Autores: Paredes Lucas Rony, Quinde Macías Cristopher

LIMITE LÍQUIDO



Fuente: Fotografía de los autores de la investigación
Autores: Paredes Lucas Rony, Quinde Macías Cristopher

LÍMITE PLÁSTICO



Fuente: Fotografía de los autores de la investigación
Autores: Paredes Lucas Rony, Quinde Macías Cristopher

LÍMITE PLÁSTICO



Fuente: Fotografía de los autores de la investigación
Autores: Paredes Lucas Rony, Quinde Macías Cristopher.

AZUL DE METILENO



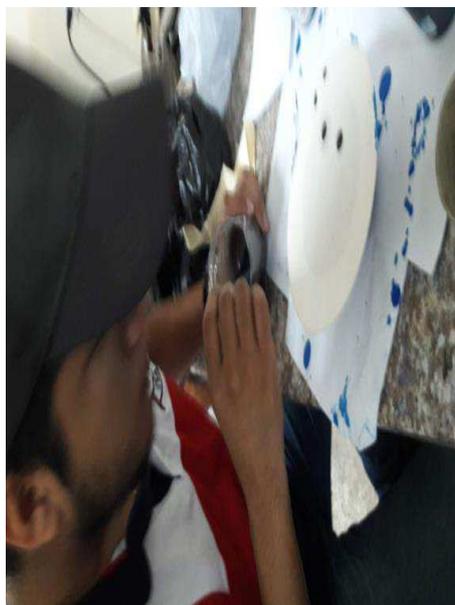
Fuente: Fotografía de los autores de la investigación
Autores: Paredes Lucas Rony, Quinde Macías Cristopher

AZUL DE METILENO



Fuente: Fotografía de los autores de la investigación
Autores: Paredes Lucas Rony, Quinde Macías Cristopher

AZUL DE METILENO



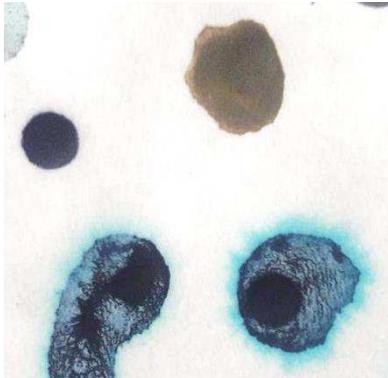
Fuente: Fotografía de los autores de la investigación
Autores: Paredes Lucas Rony, Quinde Macías Cristopher

ENSAYO DE AZUL DE METILENO

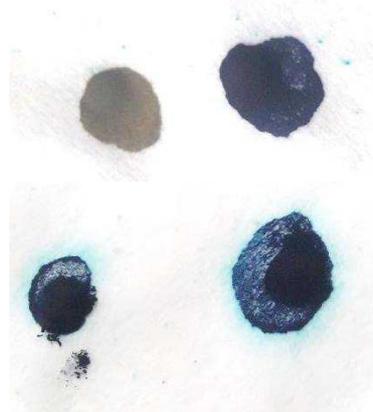
ARCILLA



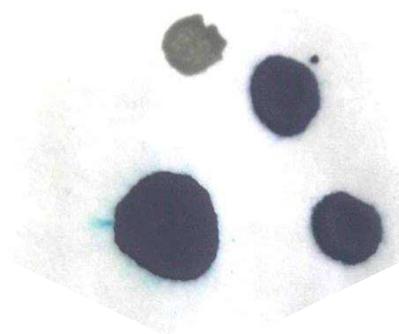
BASE GM



SUB BASE GM

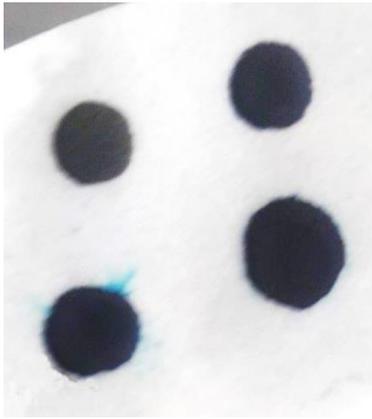


MEJORAMIENTO GM



Fuente: Fotografía de los autores de la investigación
Autores: Paredes Lucas Rony, Quinde Macías Christopher

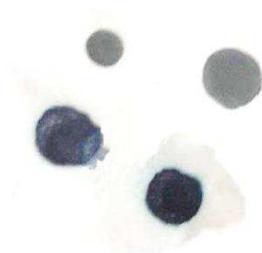
BASE URUZCA



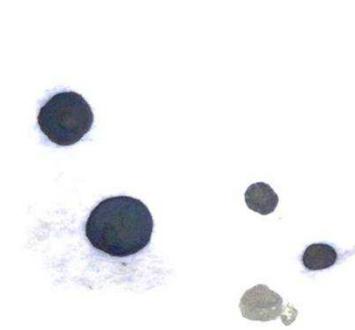
SUB BASE URUZCA



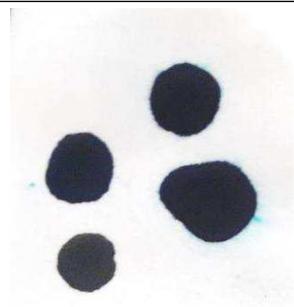
MEJORAMIENTO URUZCA



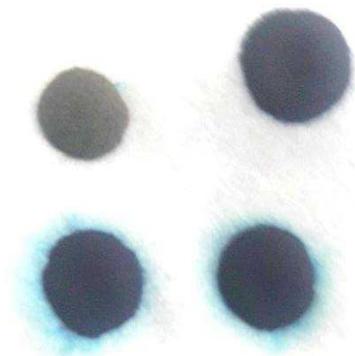
BASE MEGAROCK



SUB BASE MEGAROCK



MEJORAMIENTO MEGAROCK



Fuente: Fotografía de los autores de la investigación
Autores: Paredes Lucas Rony, Quinde Macías Cristopher

TRABAJO DE TESIS



Fuente: Fotografía de los autores de la investigación
Autores: Paredes Lucas Rony, Quinde Macías Cristopher