



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MATERIAL PROVENIENTE DE LAS
CANTERAS “MOLLEPAMBA”, “RUBÍ 2” Y CANTERA RUMIPAMBA DE LA
PROVINCIA DE COTOPAXI UTILIZADO PARA LA ELABORACIÓN DE BASE
Y SUBBASE EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS.**

AUTOR: Jonathan David Supe Castro.

TUTOR: Ing. Mayra Alexandra Viscaíno Cuzco, Mg.

AMBATO – ECUADOR

Agosto - 2024

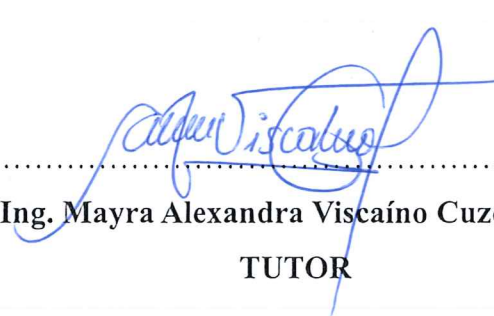
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutora del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MATERIAL PROVENIENTE DE LAS CANTERAS “MOLLEPAMBA”, “RUBÍ 2” Y CANTERA RUMIPAMBA DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI UTILIZADO PARA LA ELABORACIÓN DE BASE Y SUBBASE EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS”**, elaborado por el Sr. Jonathan David Supe Castro portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1850541366, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Trabajo Experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

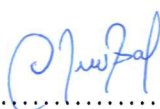
Ambato, agosto 2024


.....
Ing. Mayra Alexandra Viscaíno Cuzco, Mg.
TUTOR

AUTORIA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Jonathan David Supe Castro**, con C.I. 1850541366, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo Experimental con el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MATERIAL PROVENIENTE DE LAS CANTERAS “MOLLEPAMBA”, “RUBÍ 2” Y CANTERA RUMIPAMBA DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI UTILIZADO PARA LA ELABORACIÓN DE BASE Y SUBBASE EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS”**, Así como también los gráficos, propuestas, criterios, tablas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, agosto 2024



.....
Jonathan David Supe Castro

C.I. 1850541366

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, agosto 2024



.....
Jonathan David Supe Castro

C.I. 1850541366

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de grado aprueban el informe de Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Jonathan David Supe Castro de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MATERIAL PROVENIENTE DE LAS CANTERAS “MOLLEPAMBA”, “RUBÍ 2” Y CANTERA RUMIPAMBA DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI UTILIZADO PARA LA ELABORACIÓN DE BASE Y SUBBASE EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS”**.

Ambato, agosto 2024

Para constancia firman:



.....
Ing. Ruth Lorena Pérez Maldonado, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR



.....
Ing. Wladimir José Ramírez Cabrera, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Este proyecto de titulación dedico a mis padres Juan Supe y Angela Castro que me apoyaron incondicionalmente en todo este trayecto de preparación profesional. A mi abuelo Néstor Castro que dedico su tiempo para apoyarme y formarme como persona y como profesional, con sus consejos y su ejemplo me enseñó a salir adelante. A mis hermanos que me apoyaron en todo momento y creyeron que yo podía terminar mi carrera, A mis amigos que me acompañaron en este trayecto de preparación universitaria y me ofrecieron su ayuda cuando lo necesite.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida y por haberme permitido llegar a este momento de mi vida, agradezco especialmente a mi madre Angela Castro que siempre creyó en mí y me formo como la persona que soy hoy, de la misma manera agradezco a mi abuelo Néstor Castro quien siempre estuvo ahí en los momentos más cruciales de mi vida. A mis hermanos que me dieron afecto y aliento en los momentos difíciles.

Expreso mi agradecimiento al Ingeniero Bayrón López por su guía en los ensayos de laboratorio y por compartir sus conocimientos durante todo el desarrollo de este estudio. Asimismo, agradezco a la Ingeniera Mayra Viscaíno por su invaluable ayuda y orientación como tutora en la elaboración de este trabajo experimental.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORIA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN EJECUTIVO	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1 Antecedentes investigativos	1
1.2 Objetivos	5
1.2.1 Objetivo general	5
1.2.2 Objetivos específicos	5
CAPÍTULO II	6
METODOLOGÍA	6
2.1 Materiales	6
2.2 Método	9
2.1.1 Fase preliminar	10
2.1.1.1 Selección de canteras	10
2.1.1.2 Selección de muestras	11
2.2.2 Fase 1	11
2.2.2.1 Contenido de Humedad	11

2.2.2.2 Límites de Atterberg.....	14
2.2.2.3 Granulometría.....	16
2.2.2.4 Proctor Modificado	20
2.2.2.5 California Bearing Ratio (CBR).....	23
2.2.3 Fase 2.....	26
2.2.3.1 Resistencia a la abrasión.	26
2.2.3.2 Caras fracturadas	28
2.2.3.3 Resistencia a los sulfatos.....	31
2.2.4 Fase 3.....	33
2.2.4.1 Análisis de datos.....	33
CAPÍTULO III	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
3.1 Fase 1.....	35
3.1.1 Contenido de humedad.....	35
3.1.2 Límites de Atterberg.....	35
3.1.3 Granulometría.....	36
3.1.4 Proctor Modificado	40
3.1.5 California Bearing Ratio (CBR).....	41
3.2 Fase 2.....	42
3.2.1 Abrasión.	42
3.2.2. Caras fracturadas	43
3.2.3. Resistencia a los sulfatos.....	43
3.3 Fase 3.....	44
3.3.1 Análisis de datos.....	44
3.3.2 Verificación de hipótesis	47
3.3.2.1 Hipótesis.....	47
3.3.2.2 Verificación	47

CAPÍTULO IV	48
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
4.1 Conclusiones	48
4.2 Recomendaciones.....	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
ANEXOS.....	52

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I EQUIPOS Y MATERIALES.....	6
TABLA II CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS	7
TABLA III MÉTODOS PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD. .	12
TABLA IV GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO.	17
TABLA V TAMICES UTILIZADOS PARA AGREGADO GRUESO	18
TABLA VI TAMICES UTILIZADOS PARA AGREGADO FINO.....	19
TABLA VII MÉTODOS PARA EL ENSAYO DE PROCTOR (MODIFICADO)	20
TABLA VIII GRANULOMETRÍA DE MUESTRA DE ENSAYO.	27
TABLA IX MÉTODOS PARA EL ENSAYO DE LA GRANULOMETRÍA.....	28
TABLA X MATERIAL MÍNIMO DE ACUERDO CON EL TAMAÑO NOMINAL ..	29
TABLA XI TAMICES UTILIZADOS PARA EL AGREGADO GRUESO	32
TABLA XII TAMICES UTILIZADOS PARA EL AGREGADO FINO	32
TABLA XIII RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD.	35
TABLA XIV RESULTADO DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG..	36
TABLA XV RESULTADOS DEL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO.....	40
TABLA XVI RESULTADOS DEL ENSAYO CBR	41
TABLA XVII RESISTENCIA A LA ABRASIÓN	42
TABLA XVIII RESULTADOS DEL PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS .	43
TABLA XIX RESISTENCIA A LOS SULFATOS.....	44
TABLA XX MATRIZ DE RESULTADOS	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de las canteras en estudio.	10
Figura 2 Propiedades y comportamiento del suelo	11
Figura 3. Determinación del contenido de humedad.....	13
Figura 4. Ensayo límite líquido	15
Figura 5. Ensayo límite plástico.	16
Figura 6 Granulometría del material granular	17
Figura 7. Tamizado del agregado grueso.....	18
Figura 8. Tamizado agregado fino.....	19
Figura 9. Compactación del material granular.	21
Figura 10. Enrazado del exceso del material.....	22
Figura 11. Funcionalidad de la máquina de CBR	23
Figura 12. Colocación de pesas en el molde	24
Figura 13. Remojo de los moldes de CBR	25
Figura 14. Ensayo de CBR en la Máquina Universal.....	25
Figura 15. Ensayo de abrasión.....	28
Figura 16. Partículas fracturadas.	29
Figura 17. Ensayo visual de caras fracturadas.....	30
Figura 18. Curva Granulométrica del material base Mollepamba	37
Figura 19. Curva Granulométrica del material Subbase Mollepamba	37
Figura 20. Curva Granulométrica del material base Rumipamba	38
Figura 21. Curva Granulométrica del material Subbase Rumipamba.....	38
Figura 22. Curva Granulométrica del material base Rubí 2.....	39
Figura 23. Curva Granulométrica del material Subbase Rubí 2.....	39

RESUMEN EJECUTIVO

El análisis comparativo del material proveniente de las canteras "Mollepamba", "Rubí 2" y "Rumipamba" en la provincia de Cotopaxi, Ecuador, se llevó a cabo por diversos problemas en las carreteras aledañas al sector que presentaban deficiencias estructurales en los materiales granulares de base y subbase, produciendo hundimientos, fisuras, grietas entre otros problemas que afectan a la transitabilidad y seguridad en las vías.

La investigación analizó las propiedades índice y mecánicas de los materiales de las canteras mediante diversas pruebas de laboratorio para determinar si cumplen con la normativa ecuatoriana vial NEVI -12. Se evaluó el contenido de humedad, límites de Atterberg, granulometría, densidad máxima y capacidad de soporte (CBR). Además, se realizaron pruebas de resistencia a la abrasión, porcentaje de caras fracturadas y desgaste por sulfatos para determinar durabilidad y resistencia al desgaste.

Los resultados de los ensayos se compararon entre las tres canteras para identificar la idoneidad de los materiales en aplicaciones de bases y subbases los mismos que demuestran que los materiales de la cantera Mollepamba cumplieron con todos los requisitos de la normativa ecuatoriana vial NEVI-12, comprobando ser aptos para su uso en la construcción de carreteras. Los materiales de las canteras Rumipamba y Rubí 2 cumplen con la mayoría de los parámetros evaluados, lo que indica su buena calidad. Estos resultados enfatizan la importancia de realizar evaluaciones exhaustivas de los materiales antes de emplearlos en proyectos viales.

Palabras clave: Base, Subbase, Propiedades índices, Densidad, CBR, Abrasión, Sulfato

ABSTRACT

The comparative analysis of the material coming from the quarries “Mollepamba”, “Rubí 2” and “Rumipamba” in the province of Cotopaxi, Ecuador, was carried out due to several problems in the roads surrounding the sector that presented structural deficiencies in the granular base and subbase materials, producing subsidence, fissures, cracks among other problems that affect the trafficability and safety of the roads.

The research analyzed the index and mechanical properties of the quarry materials through various laboratory tests to determine if they comply with the Ecuadorian road standard NEVI -12. The moisture content, Atterberg limits, granulometry, maximum density and bearing capacity (CBR) were evaluated. In addition, abrasion resistance, percentage of fractured faces and sulfate wear were tested to determine durability and wear resistance.

The test results were compared between the three quarries to identify the suitability of the materials for base and subbase applications. The results show that the materials from the Mollepamba quarry met all the requirements of the Ecuadorian road standard NEVI-12, proving that they are suitable for use in road construction. The materials from the Rumipamba and Rubí 2 quarries comply with most of the parameters evaluated, indicating their good quality. These results emphasize the importance of carrying out thorough evaluations of the materials before using them in road projects.

Key words: Base, Subbase, Index properties, Density, CBR, Abrasion, Sulfate.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

Las vías son una de las infraestructuras más esenciales para facilitar la movilidad humana y el transporte de bienes y servicios. La creación de vías ha sido un factor clave que ha moldeado la sociedad contemporánea, haciéndola más accesible y conectada. Desde tiempos antiguos, la construcción y el mantenimiento de vías ha sido un proceso continuo, adaptándose constantemente a las necesidades cambiantes de la sociedad actual. En este artículo se examinará la importancia de la construcción de vías para la sociedad moderna y el impacto en diferentes aspectos de la vida humana [1].

Las vías de comunicación desempeñan un papel fundamental en el progreso económico de una región o país. Facilitan un medio de transporte conveniente y eficiente para la circulación de bienes y servicios, lo que contribuye al desarrollo económico. La optimización de las carreteras facilita una circulación más eficiente de bienes y servicios, lo que resulta en una reducción del tiempo y del coste del transporte. Esto, a su vez, hace que los bienes y servicios sean más accesibles para una audiencia más amplia, lo que estimula el crecimiento del comercio. Además de los impactos positivos en los ámbitos económicos y sociales, la construcción de vías también puede generar efectos ambientales beneficiosos. Por ejemplo, la optimización de la infraestructura vial facilita un transporte más eficiente de mercancías, lo que disminuye la cantidad de vehículos en circulación y, por ende, las emisiones contaminantes. Asimismo, la aplicación de materiales y métodos de construcción amigables con el entorno puede ayudar a reducir de manera significativa el impacto negativo de las obras viales en el medio ambiente [1].

En la actualidad, América Latina enfrenta un déficit significativo de infraestructuras de transporte en comparación con otras regiones del mundo, principalmente debido a los niveles bajos de inversión. En la región, las carreteras representan el medio de transporte primordial, sin embargo, sólo el 23% de estas vías están pavimentadas. Además, enfrenta deficiencias notables en infraestructuras de transporte urbano masivo, lo que ha llevado a que sus ciudades se encuentren entre las más congestionadas del mundo. En comparación con Europa, que cuenta con aproximadamente 35 kilómetros por millón de habitantes [2].

Ecuador posee una considerable cantidad de kilómetros de carreteras asfaltadas, una densa red vial nacional y varios puertos y aeropuertos. El país enfrenta significativas limitaciones en su infraestructura de transporte, ya que se sitúa en los mismos rangos o incluso inferiores al promedio de otros países de la región, hay deficiencias significativas en la gestión de esta infraestructura. El transporte interno en Ecuador depende principalmente de las carreteras para el traslado de carga y pasajeros. Aunque la cobertura de las carreteras es razonable, los datos revelan que la red vial nacional se extiende aproximadamente 42,670 kilómetros, sin haber experimentado una expansión desde los años noventa. De estos, 8,654 kilómetros (74% pavimentados) son parte de la Red Estatal gestionada por el Gobierno Nacional 12,477 km (9.2% pavimentados) son de la Red Provincial y 22,540 km (2% pavimentados) de la Red Cantonal. El 36% de la red vial estatal y provincial está pavimentada; el 52% de la red nacional son caminos terciarios y vecinales en la Sierra con malas condiciones.

Las carreteras en Ecuador son cruciales para el desarrollo de la sociedad. En la provincia de Cotopaxi la mayoría de las carreteras no se encuentran pavimentadas y las vías existentes presentan un problema por un mal diseño del pavimento, especialmente en las capas de base y subbase, esto se da porque los materiales seleccionados para base y subbase no son los adecuados [4].

Por otro lado, el material granular base y subbase es de mucha importancia en la construcción de una carretera, ya que en ésta se emplea roca triturada como material básico para pavimentar carreteras. Estos materiales son indispensables en grandes cantidades y a menudo resultan difíciles de obtener en diversas regiones. Sin embargo, este material es utilizado para las capas de base y subbase en los pavimentos y dicho material puede ser costoso debido a los procesos de producción, como voladura, trituración y transporte. Además, este material se deteriora con el tráfico intenso y las lluvias fuertes, y su disponibilidad en zonas urbanas puede ser limitada [5].

Dada la diversidad de criterios para definir la uniformidad superficial en las carreteras y la variedad de equipos utilizados para medir esta propiedad, junto con la necesidad de establecer un estándar que defina un índice uniforme de irregularidad, reconocido por todos los profesionales implicados en diferentes aspectos relacionados con esta característica. Es crucial regular la composición de las capas de rodadura, incluyendo la base y la subbase, para garantizar

una mayor durabilidad de las carreteras construidas, por esta razón cada distrito deberá contar con una norma que controle el diseño de los pavimentos [6].

En una estructura de pavimento, la base granular junto con la subbase son estratos de material compactado situados entre el concreto asfáltico o las capas de pavimento. La base, ubicada directamente bajo las capas de pavimento, brinda resistencia y soporte al pavimento superior. Por otro lado, la subbase, posicionada por debajo de la base funciona como el cimiento de toda la estructura del pavimento, transportando las cargas del tráfico a la subrasante, al tiempo que asegura el drenaje adecuado y protección contra heladas. Estas capas se configuran mediante la distribución de agregados en capas delgadas y compactándolos con maquinaria pesada hasta lograr una capa densa de agregado interconectada. Para un óptimo desempeño, los agregados de la base y la subbase deben ser robustos, duraderos y cumplir con requisitos de gradación altamente específicos [7].

La correcta conformación del material base de una carretera es un elemento crucial en el proceso de construcción de carreteras, cumpliendo diversas funciones y ventajas. Una función primordial de dicho material es garantizar un sólido soporte estructural a la carretera, permitiéndole resistir el tráfico intenso y las inclemencias del clima. En lugares con alto tráfico, es crucial seleccionar una base capaz de soportar una carga vehicular pesada. La elección inapropiada de la base puede derivar en necesidades frecuentes de mantenimiento, costosas tanto en materiales como mano de obra. Por ello, es esencial considerar el volumen de tráfico, las cargas por eje y las condiciones ambientales al elegir los materiales para la base de la carretera. Vías con gran tráfico o intensa circulación de camiones pueden requerir bases más gruesas y resistentes, mientras que las de menor tráfico pueden optar por bases más delgadas y económicas. La selección acertada de la base influye significativamente en la durabilidad y seguridad de la red vial, reduciendo los costos asociados con mantenimiento y reparaciones frecuentes [8].

La Asociación Estadounidense de funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO) es una organización responsable de establecer normas y publicar especificaciones, protocolos de prueba y directrices utilizadas en la planificación y construcción de infraestructuras viales en Estados Unidos. Aunque su nombre sugiere un enfoque en carreteras,

la asociación también abarca otros modos de transporte, incluyendo la aviación, el transporte público, el transporte marítimo, y el ferrocarril [9].

Por otro lado, las normas de la ASTM (American Society for Testing and Materials) establecen directrices para regular los materiales empleados en la subrasante, subbase y capa base, incluso los materiales reciclados, destinados al diseño de pavimentos en carreteras y aeropuertos. El índice CBR (California Bearing Ratio), obtenido a partir de esta evaluación, es un componente crucial en varios métodos de diseño de pavimentos flexibles. Las normas ASTM establecen pautas para construcciones que buscan optimizar el diseño y la ejecución de las carreteras, así como los materiales y técnicas adecuadas, mejorando la eficiencia de la infraestructura vial [10].

La importancia de potenciar la seguridad y la durabilidad de las carreteras radica en la selección de materiales que aseguren durabilidad; por lo tanto, al bordar las incertidumbres relacionadas con las propiedades geotécnicas y mecánicas de los materiales, un estudio contribuye de manera significativa a mejorar las prácticas de ingeniería en la región. La información generada posibilitará una planificación más precisa, optimizando la construcción de carreteras y garantizando la calidad de la infraestructura vial en el cantón o jurisdicción. Por lo tanto, para poder escoger materiales adecuados para la base y subbase se deben realizar los ensayos pertinentes citados en las normas vigentes, es por esta razón que un análisis comparativo de los materiales provenientes de canteras aledañas al sector ayudará a tener información de la calidad de los pavimentos, ya que con dichos materiales se diseñan las bases y subbases de las carreteras que se construyen en el sector [11].

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general.

Analizar el material proveniente de las canteras “Mollepamba”, “Rubí 2” y Rumipamba de la provincia de Cotopaxi utilizado para la elaboración de base y subbase en la construcción de carreteras.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades índice y mecánicas de las muestras mediante los ensayos de: contenido de humedad, límites de Atterberg, granulometría, Proctor y CBR.

- Realizar los ensayos de resistencia a la abrasión y porcentaje de las caras fracturadas de las muestras de agregado grueso.

- Desarrollar un análisis comparativo de las muestras ensayadas a ser empleadas como bases y subbase.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

La presente investigación se enfoca en cumplir los objetivos propuestos en este tema de investigación, que se basa en el análisis de materiales provenientes de diferentes canteras de la provincia de Cotopaxi utilizados como base y subbase para la construcción de carreteras, por lo cual se utilizó una metodología cuantitativa que implica la implementación de procedimientos rigurosos y controlados para la recopilación de datos numéricos. Además, también se utilizó la metodología documental y experimental. La metodología documental se empleó para revisar y recopilar información teórica a través de la revisión de manuales, normas técnicas vigentes y antecedentes relevantes del tema, permitiendo fundamentar y contextualizar el estudio. Por otro lado, la metodología experimental se utilizó para diseñar y ejecutar ensayos de laboratorio con el fin de obtener datos precisos. A continuación, se detallan los métodos y los materiales utilizados para desarrollar este capítulo.

2.1 Materiales

A continuación, en la Tabla I se detallan los equipos y materiales utilizados en cada ensayo de laboratorio.

TABLA I
EQUIPOS Y MATERIALES

ENSAYO	NORMA	MATERIALES	EQUIPOS
Muestreo	INEN 695	Palas, costales, fundas y etiquetadora.	Sin equipo
Contenido de humedad	ASTM D2216-19	Grava y arena	Balanza, recipientes, horno, Tamices.
Límite líquido	INEN 691	Muestra de polvo de piedra y arena que pasa el tamiz No 40, botella de agua destilada.	Copa Casagrande, balanza, espátula, acanalizador, recipientes herméticos, fuente de mezclado, horno.
Límite plástico	INEN 692	Muestra de polvo de piedra y arena que pasa el tamiz No 40, botella de agua destilada.	Balanza, fuente de mezclado, placa de vidrio, espátula, recipientes herméticos, horno.

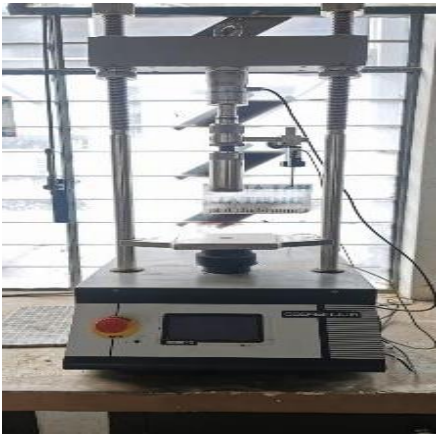
Granulometría	ASTM C136/136M-19	Grava y arena	Juego de tamices estándar, recipientes metálicos, balanza, brocha, máquina vibratoria.
Proctor modificado	ASTM D1557-12	Conformado de base que pasa el tamiz $\frac{3}{4}$ ", Conformación de subbase que pasa el tamiz $\frac{3}{4}$ ", agua.	Moldes cilíndricos, retorta, pistón compactador, bandeja metálica, palustre, enrazador, probeta, recipientes herméticos, balanza, horno.
California Bearing Ratio	ASTM D1883-16	Conformado de base que pasa el tamiz $\frac{3}{4}$ ", Conformación de subbase que pasa el tamiz $\frac{3}{4}$ ", agua.	Moldes cilíndricos, pistón compactador, bandeja metálica, palustre, probeta, enrazador recipientes herméticos, papel filtro, balanza, pesas, tanque de remojo, horno, máquina Multispeed.
Resistencia a la abrasión.	ASTM C131/131M -20	Muestra de grava.	Máquina de los Ángeles, esferas de acero, tamiz No. 12, balanza.
Porcentajes de caras fracturadas.	ASTM D5821	Muestra de grava.	Palustre, espátula, balanza.
Desgaste por sulfatos	ASTM C88-18	Muestra de grava y arena.	Tamices, recipientes, termómetro, balanza, sulfato de magnesio.

Nota: Equipo y material utilizados en los ensayos de laboratorio.

TABLA II
CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS

Recipientes herméticos	Balanza
	
Descripción: recipiente hermético metálico.	Descripción: Balanza marca Sartorius.

Horno	Juego de tamices
	
Descripción: Horno con temperatura 110 ± 5 °C.	Descripción: Juego de tamices para agregado fino.
Tamizadora	Juego de tamices
	
Descripción: Tamizadora eléctrica con temporizador.	Descripción: tamices para agregado grueso.
Copa Casagrande	Fuente de mezclado
	
Descripción: Copa Casagrande marca Humboldt.	Descripción: Mortero de porcelana con pistilo.

Acanalizador	Molde cilíndrico
	
Descripción: Acanalizador o ranurado metálico.	Descripción: Molde cilíndrico metálico.
Probeta	Bandeja
	
Descripción: Probeta plástica.	Bandeja metálica.
Máquina universal.	Máquina de los Ángeles
	
Descripción: Máquina Multispeed para CBR.	Descripción: Máquina de los Ángeles .

Nota: Características de los equipos utilizados en el laboratorio.

2.2 Método

Esta investigación se destaca por su enfoque experimental, el cual tiene como objetivo llevar a cabo evaluaciones y pruebas directas sobre las propiedades índice de los materiales extraídos de las canteras "Mollepamba", "Rubi 2", y la cantera "Rumipamba" en la provincia de Cotopaxi. La metodología experimental que se utilizó es cuantitativa, esto requiere

establecer procesos controlados para recolectar datos, realizar análisis y llevar a cabo pruebas de laboratorio, con el objetivo de lograr resultados medibles y fiables.

El desarrollo de la investigación se realizó mediante las siguientes fases, las mismas que corresponden a los objetivos específicos:

2.1.1 Fase preliminar

2.1.1.1 Selección de canteras

La selección de las canteras se realizó en base la disponibilidad, accesibilidad y la logística del sector de estudio. En este caso se seleccionaron tres canteras de manera intencional ya que son utilizadas en el sector para la construcción de vías, por esta razón se eligieron las canteras “Mollepamba”, “Rubí 2”, y la cantera “Rumipamba” ubicadas en la provincia de Cotopaxi; para llevar a cabo un análisis detallado de los materiales utilizados en la base y subbase en la construcción de pavimentos.

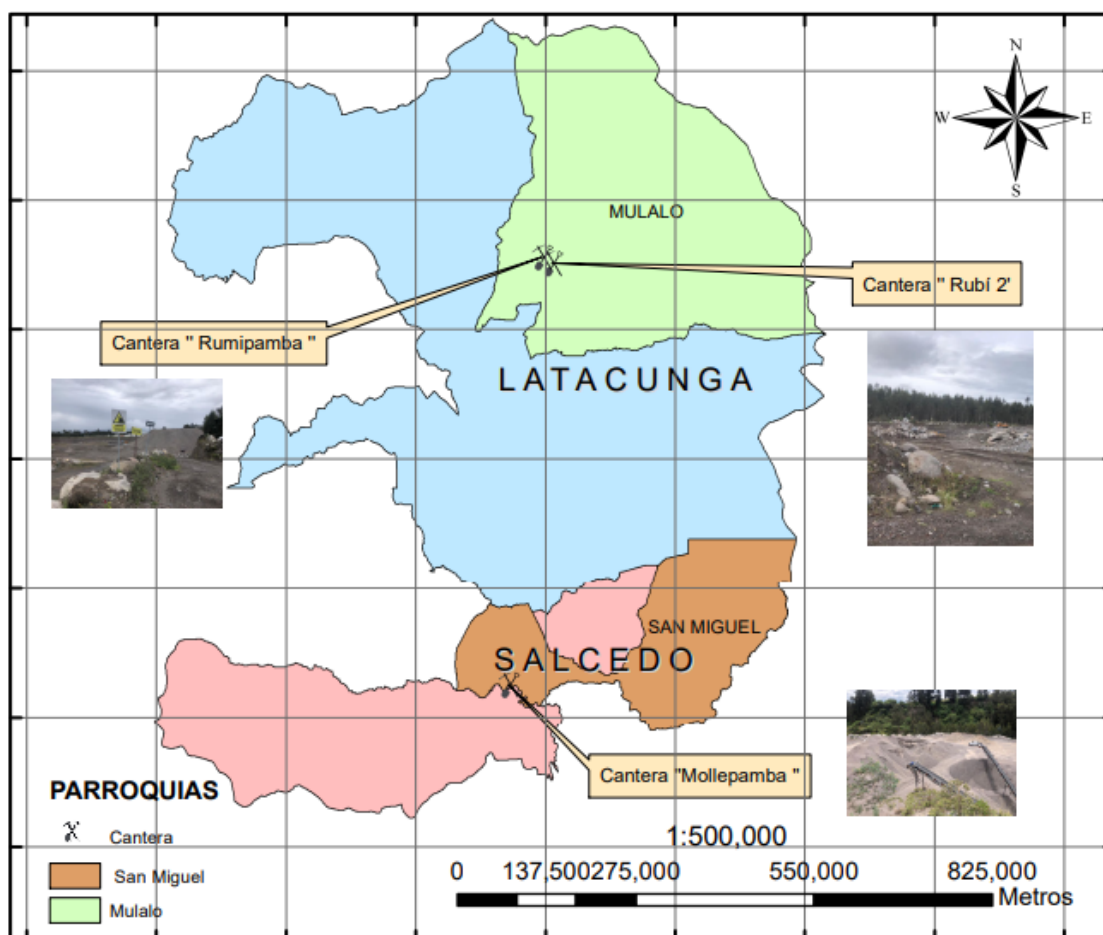


Figura 1. Localización de las canteras en estudio.

2.1.1.2 Selección de muestras.

Se realizó una selección de tres muestras de material granular de base clase 1B y subbase Clase 2 representativas de cada cantera siguiendo la norma INEN 695. Este paso es esencial para poder realizar los ensayos en el laboratorio y comprobar la hipótesis que establece que los materiales provenientes de dichas canteras satisfacen los criterios establecidos por la norma ecuatoriana vial para bases y subbases de un pavimento.

2.2.2 Fase 1

Se determinaron las propiedades índice y mecánicas de las muestras mediante los ensayos de: contenido de humedad, límites de Atterberg, granulometría, Proctor y CBR.

2.2.2.1 Contenido de Humedad

Para evaluar las características de los agregados es necesario comenzar por el contenido de humedad natural, que es la relación de la masa de agua alojada en los poros del agregado fino o grueso con la masa de las partículas sólidas. Este parámetro es importante ya que un exceso de humedad puede debilitar el suelo, provocando problemas como la consolidación, la erosión y la subsidencia, la Figura 2 indica las propiedades y comportamiento de un suelo [12].

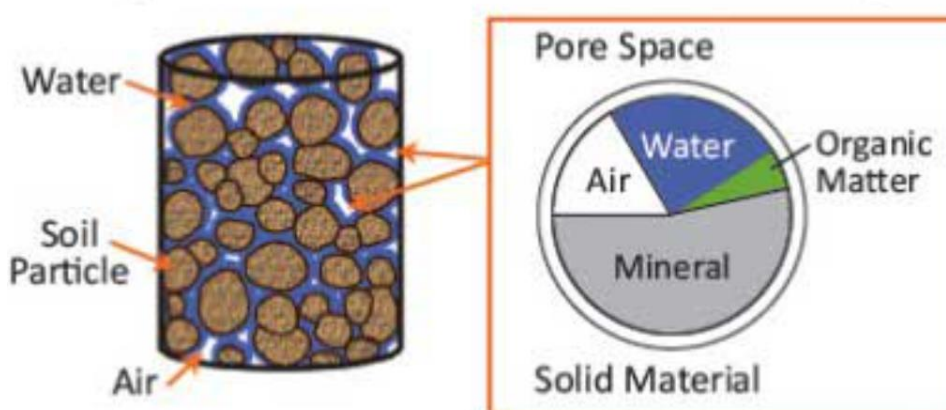


Figura 2 Propiedades y comportamiento del suelo [12]

Procedimiento para determinar el contenido de humedad.

Para este ensayo se utilizó la norma ASTM D2216-19 que establece las pautas para determinar la cantidad de humedad natural presente en el suelo y roca a través de una relación de masa específica.

Este procedimiento estándar establece las directrices para determinar el contenido de humedad natural en suelos y rocas o materiales similares utilizando una relación de masa. Hay dos métodos (A y B) para realizar esta prueba tal como se muestra en la TABLA III. En el Método A, el contenido de humedad se registra con una precisión de 1% y el Método B, el contenido de humedad se registra con una precisión de 0.1%.

TABLA III
MÉTODOS PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD.

Tamaño máximo de partícula (100% de paso)		Método A Contenido de agua registrado a $\pm 1\%$		Método B Contenido de agua registrado a $\pm 0,1\%$	
Tamaño del tamiz	Tamaño de tamiz alternativo	Masa mínima de muestra	Legibilidad de equilibrio (g)	Masa mínima de muestra	Legibilidad de equilibrio (g)
75,0 mm	3 in	5 kg	10	50 kg	10
37,5 mm	1 1/2 in	1 kg	10	10 kg	10
19,0 mm	3/4 in	250 g	0,1	2,5 kg	0,1
9,5 mm	3/8 in	50 g	0,1	500 g	0,1
4,75 mm	No. 4	-	-	100 g	0,01
2,00 mm	No. 10	-	-	20 g	0,01

Nota: Requisitos mínimos de legibilidad de equilibrio[13].

Agregado fino

Para el agregado fino se empleó el método B, se usaron 100 gramos como cantidad mínima de muestra para el ensayo obtenido de cada cantera, tal como se indica en la TABLA III, lo cual es requerido para el material que atraviesa el Tamiz No. 4 (4.75 mm). Se empleó una muestra de agregado fino extraído de cada cantera con el fin de analizar su contenido de humedad. Inicialmente, se registró el peso de los recipientes metálicos vacíos, posteriormente, se agregó el material en los recipientes para evaluar su contenido de humedad de manera independiente. Una vez completada esta etapa, se pesó

nuevamente el material junto con los recipientes y se colocaron en un horno durante un tiempo de 24 horas. Transcurrido dicho tiempo, se procedió a enfriar las muestras y se volvieron a pesar para poder determinar el contenido de humedad.

Agregado Grueso

Para el agregado grueso se eligió el método A de acuerdo con la TABLA III, se utilizaron 5 kg como la cantidad mínima de muestra, dado que el 100% del material que pasó a través del tamiz de tres pulgadas (75.0 mm). Una vez obtenidas las muestras mínimas requeridas para el ensayo, éstas se pesaron y se colocaron en recipientes para introducirlas en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C, esperando a que alcancen una masa constante. Manteniendo las muestras en el horno durante un período de 24 ± 4 horas. Al término de este proceso, las muestras se retiraron del horno y se pesaron tal como se indica en la Figura 3.



Figura 3. Determinación del contenido de humedad

El contenido de humedad se calculó mediante las Ecuaciones 1,2 y 3.

$$W_w = (W_m + rec) - (W_s + rec) \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$W_w = (W_m + rec) - rec \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$w\% = \left(\frac{W_w}{W_s} \right) * 100 \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

W_w : Peso del agua (g).

W_m : Peso húmedo del suelo (g).

W_s : Peso seco del suelo (g).

rec : Peso del recipiente (g).

2.2.2.2 Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg son propiedades índice utilizadas para caracterizar el comportamiento del suelo con respecto a su contenido de agua. Estos límites proporcionan información sobre las propiedades plásticas y la plasticidad del suelo. Los Límites de Atterberg incluyen tres estados específicos del suelo en función de su contenido de agua: límite líquido, límite plástico e índice plástico [14].

Límite líquido.

Este es el contenido de humedad del suelo, el cual se encuentra en el punto entre el estado plástico y el estado líquido. Es la cantidad de agua que hace que el suelo se comporte como un líquido bajo ciertas condiciones de carga [15].

Procedimiento para determinar el límite líquido.

Para llevar a cabo este ensayo, se siguió la normativa INEN 691. Se tomó una muestra de doscientos gramos de material que pasó por el tamiz No. 40. Esta muestra se humedeció con agua en el área de mezclado y se mezcló meticulosamente con una espátula. Posteriormente, la mezcla se colocó en la copa de Casagrande, donde se procedió a realizar una apertura en la mitad de la muestra utilizando un acanalador. Se

permitieron hasta seis pasadas del acanalador sobre la muestra, asegurándose de que solo la última tocara el fondo de la copa, tal como se indica en la Figura 4. Luego, se activó el dispositivo hasta que la apertura se cerrara con los golpes de la copa. Una vez alcanzado este punto, se añadió agua gradualmente para cumplir con los rangos de golpes establecidos en la normativa.



Figura 4. Ensayo límite líquido

Límite plástico.

Es la humedad presente en el suelo que lo sitúa en el punto de transición entre su estado semisólido y su estado plástico. Es la cantidad mínima de agua requerida para que el suelo pueda ser moldeado o deformado sin romperse [16].

Procedimiento para determinar el límite líquido.

Para este ensayo se utilizó la norma INEN 692, se tomó 100 gramos de muestra que pasó a través del tamiz N° 40 (425 μm). Se añadió agua de manera arbitraria hasta alcanzar una consistencia en la muestra que permitiera la formación de una bola sin que esta se volviera pegajosa al ser comprimida manualmente. Esta muestra se amasó en una placa de vidrio y con los dedos se formó un rollo el cual debía tener 3 mm de diámetro y 5 cm de largo, tal como se indica en la Figura 5, los rollos se colocaron en recipientes adecuados y se colocaron en el horno para extraer el contenido de humedad.



Figura 5. Ensayo límite plástico.

Para determinar el Índice de plasticidad se calcula mediante la ecuación 4.

$$IP = LL - LP \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde

IP: Índice de plasticidad.

LL: Límite líquido.

LP: Límite plástico

2.2.2.3 Granulometría

El ensayo de granulometría es un método utilizado para analizar la distribución de tamaños de las partículas presentes en un árido. Este proceso se lleva a cabo utilizando tamices estandarizados con diversas aberturas, los cuales separan y clasifican las partículas según su tamaño, como se describe en la Figura 6.

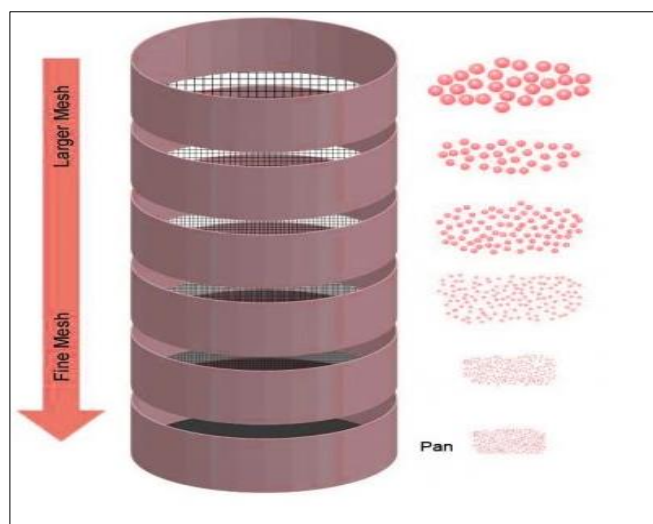


Figura 6 Granulometría del material granular [17]

Procedimiento para determinar la granulometría del material.

El proceso para llevar a cabo el análisis granulométrico se realizó conforme a la norma ASTM C136/136M-19. Este ensayo consistió en determinar la distribución de partículas que conforman el material de base y subbase, para ello se utilizaron tamices normalizados con diferentes aberturas como se muestra en la TABLA IV.

TABLA IV

GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO.

Tamaño máximo nominal, aberturas cuadradas, mm (pulg.)	Tamaño de muestra de prueba, min, kg (lb)
9.5 (3/8)	1(2)
12.5 (1/2)	2(4)
19.0 (3/4)	5(11)
25.0 (1)	10(22)
37.5 (1 1/2)	15(33)
50 (2)	20(44)
63(2 1/2)	35(77)
75 (3)	60(130)
90(3 1/2)	100(220)
100 (4)	150(330)
125 (5)	300(660)

Nota: Tamaño máximo nominal de partículas[18]

Para realizar la granulometría del árido grueso, se utilizó el material destinado tanto para la base como para la subbase de manera independiente. Se tomó una muestra de este material y se secó en el horno a una temperatura constante de 110 °C durante un lapso de 24 horas. Una vez transcurrido este tiempo, la muestra fue extraída del horno y se procedió de inmediato a separar una muestra de 10.000 gramos de material.

TABLA V

TAMICES UTILIZADOS PARA AGREGADO GRUESO

# TAMIZ	ABERTURA (mm)
2	50,8
1 1/2	38
1	25
3/4	19
1/2	12,7
3/8	10
4	4,75

Nota: Abertura de partículas de agregado grueso [18]

Para tamizar el material granular primero se ordenaron todos los tamices tal como se indica en TABLA V y luego se procedió a tamizar el material granular tal como se indica en la Figura 7. Luego se registró el peso de cada fracción retenida en los tamices utilizando una bandeja metálica.



Figura 7. Tamizado del agregado grueso.

Para el agregado fino, se seleccionaron 1000 gramos secados anteriormente en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C por 24 horas, luego se dispusieron a ordenar los tamices de acuerdo con la TABLA VI.

TABLA VI

TAMICES UTILIZADOS PARA AGREGADO FINO

# TAMIZ	ABERTURA (mm)
4	4,75
8	2,36
10	2
16	1,18
30	0,6
40	0,425
50	0,3
60	0,25
100	0,15
200	0,075

Nota: Abertura de partículas de agregado fino [18]

Para iniciar con el proceso de tamizado se colocó el material de manera cuidadosa para evitar la pérdida de material. Una vez que se ubicó el material en los tamices tal como se indica en la Figura 8, luego se colocó en la máquina vibratoria se inició con el proceso de tamizado durante quince minutos. Al completarse el tamizado, se procedió a pesar el material retenido en cada tamiz.



Figura 8. Tamizado agregado fino.

2.2.2.4 Proctor Modificado

El ensayo Proctor estándar es un procedimiento de compactación que busca identificar el contenido óptimo de humedad para un tipo específico de suelo. Este nivel de humedad facilita que el suelo se compacte de manera más eficiente, alcanzando su "máxima densidad seca". Esta densidad máxima representa el nivel más alto de compactación posible para el material, eliminando la mayoría de los espacios vacíos mientras está libre de humedad [19].

Procedimiento para realizar el ensayo de Proctor.

Para este ensayo se utilizó la norma ASTM D1557-12 la cual abarca las técnicas de compactación empleadas para determinar la relación entre el contenido de humedad y la densidad de los suelos (conocida como curva de compactación). Se utilizan moldes metálicos de 4 ó 6 pulgadas de diámetro con un pistón de 10.00 lb de fuerza, dejándolo caer desde una altura de 18.00 in, lo que genera un esfuerzo de compactación de 56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³). La norma especifica tres procedimientos detallados en la TABLA VII para realizar esta prueba.

TABLA VII
MÉTODOS PARA EL ENSAYO DE PROCTOR (MODIFICADO)

MÉTODO	DIÁMETRO DE MOLDE	MATERIAL	CAPAS	GOLPES POR CAPA	USO
A	4 in (101,6 mm)	Pasa el tamiz No. 4 (4,75 mm)	5	25	Si el 25% o menos en masa del material es retenido en el tamiz No. 4 (4.75-mm)
B	4 in (101,6 mm)	Pasa el tamiz de 3/8 de pulgada (9,5 mm)	5	25	Si el 25% o menos en masa del material es retenido en el tamiz No. 4 (4.75-mm)
C	6 in (152,4 mm)	Pasa el tamiz de 3/4 de pulgada (19,0 mm)	5	56	Si el 30% o menos en masa del material es retenido en el tamiz de 3/4 de pulgada.

Nota: Método para elegir el material adecuado para el ensayo de Proctor modificado [20]

Se optó por el método C porque menos del 30% de la combinación de agregados

queda retenida en el tamiz de $\frac{3}{4}$ de in (19 mm), lo cual se debe a la presencia de material granular de dimensiones significativas.

Para este ensayo se tomó 30000 gramos de muestra que pasó a través del tamiz de $\frac{3}{4}$ de pulgada, y luego se dividió la muestra en porciones de 6000 gramos cada una. A cada porción se le añadió gradualmente un porcentaje de agua. El agregado se mezcló con el agua en una bandeja hasta lograr una distribución homogénea de la humedad. Utilizando un palustre se dividió en 5 partes la muestra y se colocó esta mezcla en un molde previamente ensamblado con su correspondiente collarín, el cual se midió anteriormente para calcular su volumen. Golpeando cada capa 56 veces con el pistón, se compactó la mezcla en el molde, añadiendo capas sucesivas hasta alcanzar un total de cinco capas tal como se indica en la Figura 9.



Figura 9. Compactación del material granular.

Después de completar la quinta capa, se removió el collarín y se procedió a nivelar el exceso de material tal como se indica en la figura 10. El molde se pesó con el material compactado para después poder extraer muestras de la parte superior e inferior del molde. Este procedimiento se repitió para los cinco puntos con diferentes niveles de humedad, aumentando de manera progresiva.



Figura 10. Enrazado del exceso del material.

Los cálculos fueron llevados a cabo utilizando las ecuaciones 5 y 6.

$$\gamma_m = K * \frac{(M_t - M_{md})}{V} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1 + \frac{\omega}{100}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

γ_m : Densidad húmeda.

K: constante de conversión.

M_t : Masa de suelo húmedo en el molde.

M_{md} : Masa del molde de compactación.

V: Volumen del molde de compactación en cm^3 o m^3 .

γ_d : Densidad seca.

γ_m : Densidad húmeda.

ω : Contenido de humedad.

2.2.2.5 California Bearing Ratio (CBR)

El Índice de Soporte California (CBR) tiene como propósito evaluar la capacidad de carga de las subrasantes del suelo y los materiales utilizados en la capa base y subbase. Los ingenieros y planificadores de infraestructuras viales confían en los resultados obtenidos mediante la prueba CBR para seleccionar tanto el tipo de pavimento como los espesores adecuados de la base y subbase, la Figura 11. indica las partes de la máquina utilizada para los ensayos de CBR [21].

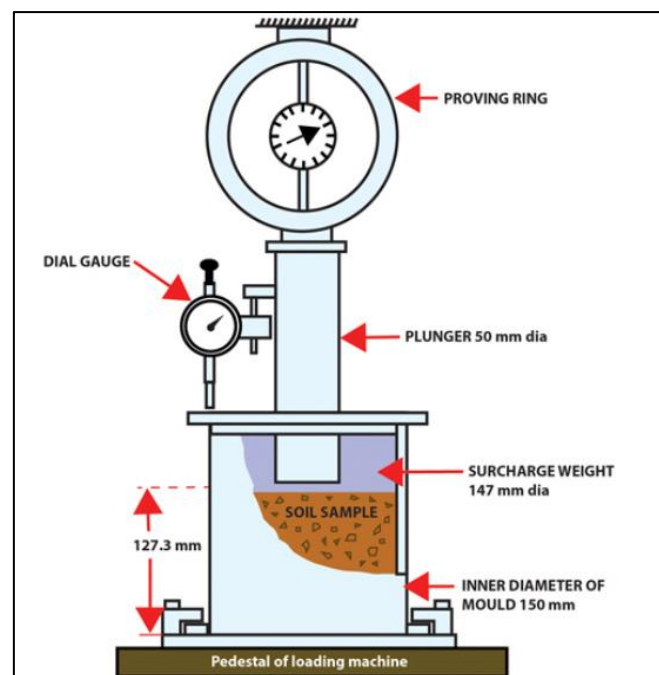


Figura 11. Funcionalidad de la máquina de CBR [21].

✚ Procedimiento para realizar el ensayo de CBR.

Para este ensayo se utilizó la norma ASTM D1883-16. Se empleó una muestra de 6000 gramos de material que atraviesa el tamiz de $\frac{3}{4}$ " de pulgada. Para la compactación, se utilizaron tres moldes con un diámetro de 150 mm, junto con una retorta. Primero se mezcló previamente los 6000 gramos de muestra en la bandeja metálica añadiendo agua hasta alcanzar el contenido de humedad óptimo determinado en el ensayo de Proctor.

Después de mezclar el material, se dividió la muestra en cinco capas y se colocó

cada una de ellas en un cilindro metálico. Se compactó usando un martillo, realizando 56 golpes en cada capa hasta llegar al borde del collarín. Posteriormente, se pesó el molde con la muestra y se extrajo dos muestras de la parte superior del cilindro para medir el contenido de humedad, seguidamente se retiró el collarín para nivelar cuidadosamente la muestra, luego se volteó el molde y se colocaron las pesas correspondientes según se muestra en la Figura 12.



Figura 12. Colocación de pesas en el molde

Luego de colocar las pesas sobre el molde cada uno fue sumergido en los tanques de remojo cuidadosamente tal como se indica en la Figura 13. Se comprobó que el nivel de agua del tanque sea el adecuado para que los moldes se sumerjan completamente, El material se mantuvo en remojo durante un período de 96 ± 2 horas, asegurándose de mantener un nivel de agua constante durante todo este tiempo.



Figura 13. Remojo de los moldes de CBR

Después de este período, se retiró el molde y se permitió que escurriera durante 15 minutos, con mucha precaución. Transcurrido ese tiempo se pesó molde sin las pesas, antes de empezar con el ensayo de CBR se calibró la máquina Multispeed y se colocó el molde cilíndrico tal como se indica en la Figura 14. Una vez en la máquina, se procedió con el ensayo.



Figura 14. Ensayo de CBR en la Máquina Universal.

Este procedimiento se llevó a cabo de manera similar, variando el número de golpes durante la compactación a 25 y 10 golpes por capa para los moldes restantes. Los cálculos se realizaron utilizando las ecuaciones 7 y 8.

$$\gamma_d = \frac{M_{sac}}{V_m} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$M_{sac} = \frac{M_{m+ws} - M_m}{(1 + w_{ac})} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

M_{sac} : Masa de suelo compactado.

M_{m+ws} : Masa de suelo húmedo más masa del molde.

M_m : Masa del molde

w_{ac} : Contenido de humedad durante el proceso de compactación.

V_m : Volumen del molde de compactación

2.2.3 Fase 2

Se determinó la resistencia a la abrasión y porcentaje de las caras fracturadas de las muestras de agregado grueso.

2.2.3.1 Resistencia a la abrasión.

Las pruebas de abrasión son métodos utilizados para evaluar la calidad relativa, la tenacidad y la durabilidad de los agregados minerales frente al impacto y la abrasión. Los resultados obtenidos de pruebas proporcionan información crucial sobre el rendimiento esperado de los agregados en aplicaciones prácticas. Estas pruebas ofrecen una visión sobre la capacidad de resistencia al desgaste a largo plazo de los agregados utilizados en asfalto y concreto. Además, sirven como indicadores útiles para monitorear cualquier cambio en las propiedades de la fuente de agregados, siendo una parte fundamental del control de calidad y del programa de garantía de calidad [22].

Procedimiento para realizar el ensayo de resistencia a la abrasión.

Para llevar a cabo este ensayo se utilizó norma ASTM C131/131M-20, para seleccionar el método se tomó en cuenta la TABLA VIII que indica los parámetros granulométricos del material, debido a los tamaños de los agregados que se obtuvo en el ensayo de granulometría se eligió el método A, primero se procedió a tamizar el agregado de acuerdo con las especificaciones utilizadas en el método A. Posteriormente, la muestra se lavó y se secó en un horno a una temperatura de 110 °C hasta que la masa alcanzó un valor constante.

TABLA VIII
GRANULOMETRÍA DE MUESTRA DE ENSAYO.

Tamaño del tamiz (Aberturas cuadradas)		Masa de los tamaños indicados (g)			
		Granulometría			
Pasa	Retenido	A	B	C	D
37,5mm (1 1/2 ")	25,0 mm (1")	1.250±25	...	...	...
25,0 mm (1")	19,0 mm (3/4")	1.250±25	...	...	...
19,0 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	1.250±10	2.500±10	...	...
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	1.250±10	2.500±10	...	...
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	...	...	2.500±10	...
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (Nº4)	...	...	2.500±10	...
4,75 mm (Nº4)	2,36 mm (Nº8)	...	...	...	5.000±10
Total		5.000±10	5.000±10	5.000±10	5.000±10

Nota: Granulometría de muestras de ensayo [23].

Una vez que la muestra estuvo completamente seca, se pesó el material con la cantidad establecida en el método A y se mezcló el material para luego colocar el mismo dentro de la máquina de ensayo juntamente con las 12 esferas de acero que especifica la TABLA IX.

TABLA IX
MÉTODOS PARA EL ENSAYO DE LA GRANULOMETRÍA.

Granulometría	No. de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5.000±25
B	11	4.584±25
C	8	3.330±20
D	6	2.500±15

Nota: Masa de carga dependiendo de la granulometría de ensayo [23].

Se programó la máquina para realizar 500 revoluciones, conforme a lo establecido en la normativa, y se puso en marcha. Al finalizar el ciclo, se extrajo el material de la maquina juntamente con las esferas tal como se indica en la Figura 15. Luego se procedió a tamizarlo, separando el material fino del grueso utilizando el tamiz No. 12 (1.70 mm), finalmente, se pesó el material retenido en el tamiz doce.



Figura 15. Ensayo de abrasión

2.2.3.2 Caras fracturadas

Este procedimiento de ensayo tiene como propósito proporcionar estabilidad a los agregados en tratamientos superficiales, así como mejorar la fricción y textura de los agregados utilizados en pavimentos superficiales para carreteras. Este método de ensayo

ofrece un procedimiento estándar para evaluar la idoneidad del agregado grueso en relación con dichos requisitos la Figura 16, detalla los parámetros de una partícula con caras fracturadas[24].

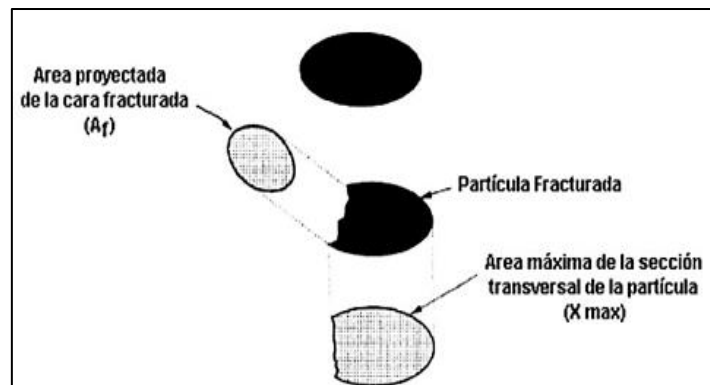


Figura 16. Partículas fracturadas [24].

✚ Procedimiento para realizar el ensayo de caras fracturadas.

Para este ensayo se utilizó la norma ASTM D5821, se procedió inicialmente a tamizar con el objetivo de separar el material en función de su tamaño. La cantidad de muestra tamizada se ajustó de acuerdo con las cantidades aproximadas indicadas en la TABLA X.

TABLA X
MATERIAL MÍNIMO DE ACUERDO CON EL TAMAÑO NOMINAL

Tamaño nominal abierto (mm)	Masa de muestras mínima de Prueba (g)
9,5	200
12,5	500
19	1500
25	3000
37,5	7500
50	15000
63	30000
75	60000
90	90000

Nota: Tamaño del espécimen a utilizar[25].

Posteriormente, se llevó a cabo el lavado del agregado, luego se secó la muestra en el horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C}$, retirándola una vez que su masa se mantuvo constante. Una vez enfriada a una temperatura manejable se pesó el material para tener el peso de acuerdo con la TABLA X, inmediatamente se extendió sobre una franela para empezar con el ensayo visual.

Se procedió entonces a realizar una minuciosa inspección de cada componente de la muestra, para asegurar si cumplía con el estándar de partícula fracturada. Se verificó que cada agregado tuviera al menos dos caras fracturadas, según se muestra en la Figura 17. Después de completar esta evaluación, se clasificaron las partículas, separando aquellas que cumplían con el criterio de tener caras fracturadas de las que no lo hacían, esto se realizó independientemente para cada muestra de árido grueso con diferente tamaño según especifica la norma.



Figura 17. Ensayo visual de caras fracturadas

El porcentaje de masa de las partículas de caras fracturadas se determinó utilizando la ecuación 9.

$$P = \left[\frac{F}{F+N} * 100 \right]$$

Ecuación 9

Donde:

P: Porcentaje de partículas con caras fracturadas.

F: Masa de partículas con caras fracturadas.

N: Masa de partículas que no cumplen el criterio de partículas fracturadas.

2.2.3.3 Resistencia a los sulfatos

El proceso de determinación de la solidez de los agregados consiste en someterlos a una serie de condiciones controladas para evaluar su resistencia frente a situaciones de carga y desgaste potenciales. Esto implica la aplicación de diversos métodos para simular condiciones de uso real, como la exposición a cambios de temperatura, ciclos de humedad y secado, así como la aplicación de cargas para verificar su capacidad de resistencia. El objetivo principal es identificar posibles debilidades en la estructura de los agregados y mejorar su rendimiento en aplicaciones de construcción [26].

 Procedimiento para el ensayo de resistencia a los sulfatos

Para evaluar la resistencia a los sulfatos de los agregados se utilizó la norma ASTM C88-18, la cual implica varios pasos que se aplican tanto a los agregados gruesos como a los finos.

Se inició la preparación del material con el lavado y posterior secado de la muestra en un horno a una temperatura estable de 110 ± 5 °C. Luego, se llevó a cabo el tamizado utilizando los tamices correspondientes especificados en la Tabla XI para agregados gruesos y en la Tabla XII para agregados finos.

TABLA XI
TAMICES UTILIZADOS PARA EL AGREGADO GRUESO

Tamaño (Tamices de abertura cuadrada)	Masa (g)
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (N° 4)	300 ± 5
19,0 mm (3/4") a 9,5 mm (3/8")	1000 ± 10
Consistente en:	
Material de 12,5 mm (1/2") a 9,5 mm (3/8")	330 ± 5
Material de 19,0 mm (3/4") a 12,5 mm (1/2")	670 ± 10
37,5 mm (1 1/2") a 19,0 mm (3/4")	1500 ± 50
Consistente en:	
Material de 25,0 mm (1") a 19,0 mm (3/4")	500 ± 30
Material de 37,5 mm (1 1/2") a 25,0 mm (1")	1000 ± 50
63 mm (2 1/2") a 37,5 mm (1 1/2")	5000 ± 300
Consistente en:	
Material de 50 mm (2") a 37,5 mm (1 1/2")	2000 ± 200
Material de 63 mm (2 1/2") a 50 mm (2")	3000 ± 300

Nota: Cantidad de agregado a ensayar [26].

TABLA XII
TAMICES UTILIZADOS PARA EL AGREGADO FINO

Pasa el Tamiz	Retenido en el tamiz
600 µm (N° 30)	300 µm (N° 50)
1,18 mm (N° 16)	600 µm (N° 30)
2,36 mm (N° 8)	1,18 mm (N° 16)
4,75 mm (N° 4)	2,36 mm (N° 8)
9,5 mm (3/8 in)	4,75 mm (N° 4)

Nota: Tamices utilizados para el ensayo [26].

Una vez que se completó el tamizado y se obtuvo el peso requerido según las indicaciones proporcionadas en las TABLAS XI y XII, se procedió a preparar la solución de sulfato de magnesio. Esto se realizó añadiendo la cantidad prescrita de sulfato de magnesio por cada litro de agua, conforme lo establece la normativa, y permitiendo que la solución reposara durante 48 horas. Posteriormente, se sumergió la muestra en esta solución de sulfato de magnesio durante un período de 16 horas, garantizando que el líquido cubriera el agregado hasta una profundidad de media pulgada.

Los recipientes se cubrieron para evitar la evaporación o cualquier posible contaminación externa. Tras finalizar el período designado, la muestra se secó durante 15 minutos y luego se sometió a un proceso de secado en un horno a una temperatura de 110 °C hasta alcanzar una masa constante. Este proceso se llevó a cabo en intervalos de tiempo de dos a cuatro horas hasta que la pérdida de peso de material fue inferior al 0.1 % del peso total de la muestra en un período de 4 horas de secado. Una vez que se logró un peso constante, las muestras fueron enfriadas a temperatura ambiente antes de volver a sumergirlas en la solución de sulfato de magnesio.

Este procedimiento se repitió durante cinco ciclos de inmersión y secado. Una vez completado el ciclo y después de que las muestras se enfriaron, fueron lavadas con agua a una temperatura de 43 °C para eliminar el sulfato de magnesio. Para el análisis cuantitativo, cada fracción del agregado se secó a 110 ± 5 °C y luego se tamizó utilizando los tamices especificados por la normativa.

2.2.4 Fase 3

Se realizó un análisis comparativo de las muestras ensayadas a ser empleadas como bases y subbase.

2.2.4.1 Análisis de datos.

Se llevó a cabo un análisis detallado de cada fuente de material a caracterizar, comenzando con una breve descripción de la composición geológica del material. Luego, se procedió a examinar los resultados de los ensayos de laboratorio realizados. Inicialmente, los resultados obtenidos se analizaron de manera individual para cada

material, después de revisarlos, se compararon con las especificaciones técnicas establecidas por la norma ecuatoriana vial NEVI-12 [27].

En base al análisis de datos, se formularon conclusiones y recomendaciones acerca de la calidad de los materiales extraídos. Se extraerán conclusiones tanto sobre la calidad intrínseca de los materiales como sobre su rendimiento en relación con las disposiciones establecidas por la normativa ecuatoriana vial NEVI-12, que son empleadas en proyectos de infraestructura vial [27].

Procedimiento para el análisis comparativo de las muestras ensayadas

Con el fin de efectuar un análisis comparativo exhaustivo de las muestras destinadas a ser empleadas como bases y subbase, se llevó a cabo un proceso detallado. Primero, se recopilaron todas las muestras provenientes de diferentes canteras y se registraron meticulosamente sus características. Luego, utilizando herramientas especializadas como hojas de cálculo de Excel, se tabularon los datos recogidos, organizándolos de manera sistemática para su posterior análisis.

El proceso de tabulación se realizó de acuerdo con las normativas vigentes establecidas para la calidad de los materiales de construcción. Estas normativas sirvieron como referencia para evaluar si las muestras cumplen con los estándares exigidos en términos de granulometría, resistencia, composición química y cualquier otro parámetro relevante.

Además, se emplearon métodos estadísticos y técnicas de comparación para identificar cualquier disparidad significativa entre las muestras procedentes de distintas canteras. Se buscó determinar si hay diferencias significativas que puedan afectar el desempeño de los materiales en sus respectivas aplicaciones.

Este análisis no solo permitió verificar la calidad de los materiales para cada aplicación específica, sino que también contribuirá a garantizar la durabilidad de las construcciones en las que se utilizarán estos materiales, asegurando así la integridad de las infraestructuras construidas.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Fase 1

3.1.1 Contenido de humedad

Se ha analizado el contenido de humedad natural de las muestras de agregado grueso y el agregado fino cabe recalcar que las muestras fueron traídas directamente de las canteras para determinar la humedad inherente de los agregados in situ. Este conocimiento facilitará la adición adecuada de agua durante la compactación en terreno, optimizando su uso al agregar solo una parte de la humedad óptima, considerando que los agregados ya contienen cierto nivel de humedad. Según el Ingeniero E. Garavito, la humedad en agregados fino y grueso se recomienda que sea inferior al 8% para agregado fino y el 3% para el agregado grueso [28]. Los resultados de humedad obtenidos tras el ensayo se presentan en la TABLA XIII.

TABLA XIII.
RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Mina	Material	Valor (%)	Límites Recomendados
Mollepamba	Agregado fino	5,93	< 8%
	Agregado grueso	0,76	< 3%
Rumipamba	Agregado fino	6,08	< 8%
	Agregado grueso	0,90	< 3%
Rubí 2	Agregado fino	4,12	< 8%
	Agregado grueso	1,03	< 3%

3.1.2 Límites de Atterberg

Se realizaron los ensayos de límites de Atterberg para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, los materiales de las canteras se analizaron independientemente para la base clase 1B y subbase clase 2 los resultados obtenidos se muestran en la siguiente TABLA XIV.

TABLA XIV.
RESULTADO DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG.

Límites de Atterberg					
Cantera		Mollepamba	Rubí 2	Rumipamba	Límites (NEVI-12)
Material		Polvo de piedra	Polvo de piedra	Polvo de piedra	
Base	Límite Líquido	13,77	15,81	13,44	< 25
	Límite Plástico	20,22	20,71	18,37	-
	Índice de Plasticidad	-6,45	-4,90	-4,93	< 6
Material		Arena	Arena	Arena	Límite (NEVI-12)
Subbase	Límite Líquido	13,37	15,46	13,87	< 25
	Límite Plástico	19,91	20,79	18,88	-
	Índice de Plasticidad	-6,54	-5,33	-5,01	< 6

Es importante mencionar la norma ecuatoriana vial NEVI-12 ya que la misma nos menciona que para un material granular base el límite líquido debe ser menor a 25 y el índice de plasticidad debe ser menor a 6, por otro lado, la normativa menciona que para el material subbase el límite líquido debe ser menor a 25 y el índice de plasticidad debe ser menor a 6, cabe recalcar que al tener un valor negativo en el índice de plasticidad indica que el material no es plástico, en este caso la tabla de resultados muestra que se cumplió todos los parámetros señalados por la norma para el material base y subbase de las tres canteras.

3.1.3 Granulometría

En relación con la granulometría, se llevó a cabo una verificación para asegurar que la curva granulométrica del árido fino y la curva granular del árido grueso se ajusten a los límites establecidos por la norma ecuatoriana vial NEVI -12, el material granular se analizó independientemente para base clase 1B y subbase clase 2 para cada una de las canteras.

Cantera Mollepamba

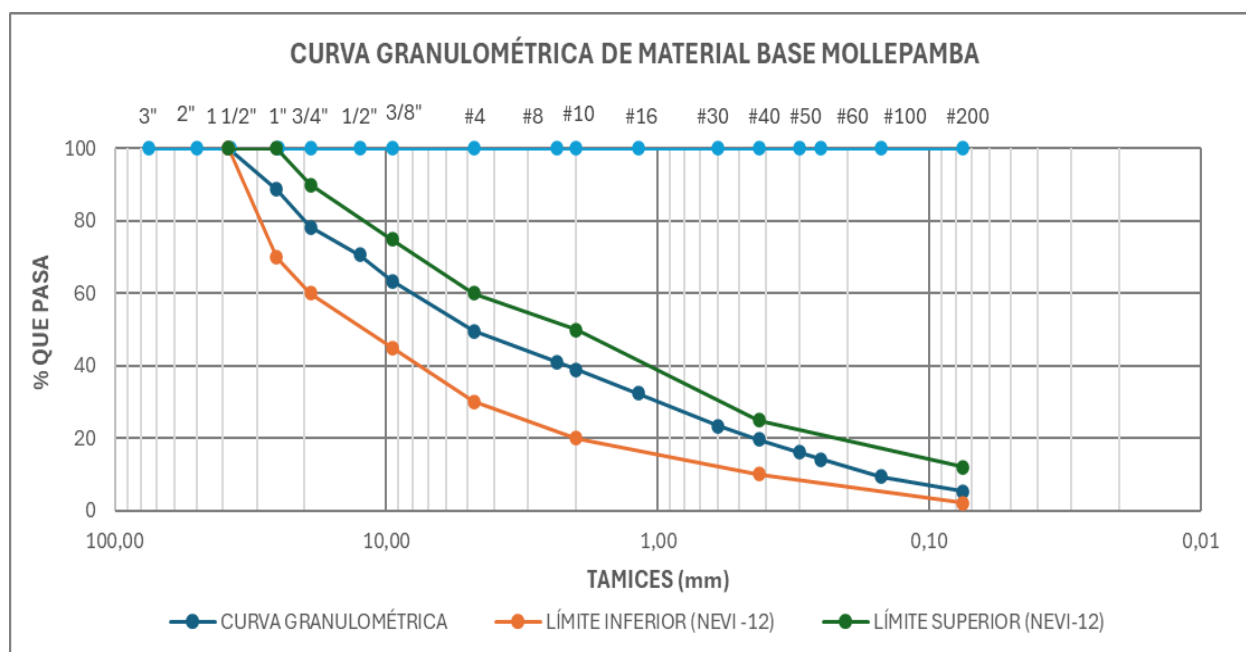


Figura 18. Curva Granulométrica del material base Mollepamba

Como se puede observar en la Figura 18. La Curva granulométrica del material de base se encuentra dentro de los límites proporcionados por la norma ecuatoriana vial NEVI -12, esto indica que el material se encuentra bien graduado.

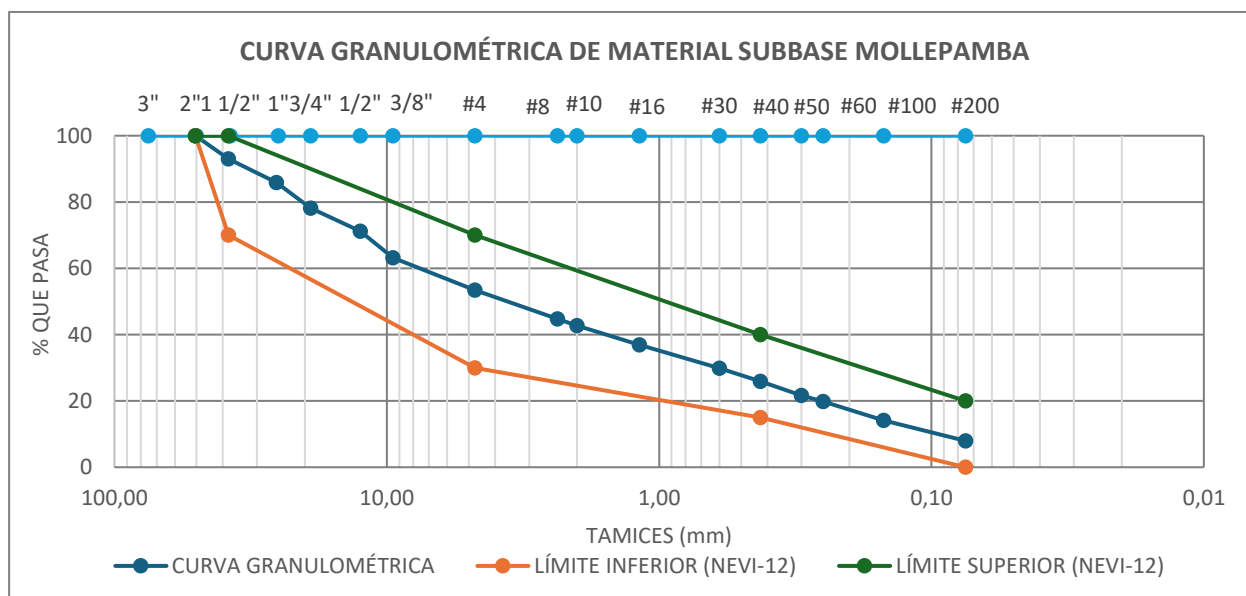


Figura 19. Curva Granulométrica del material Subbase Mollepamba

Como se puede observar en la Figura 19, el material subbase se encuentra dentro de los límites establecidos por la norma ecuatoriana vial NEVI -12, esto indica que el material se encuentra bien graduado.

Cantera Rumipamba

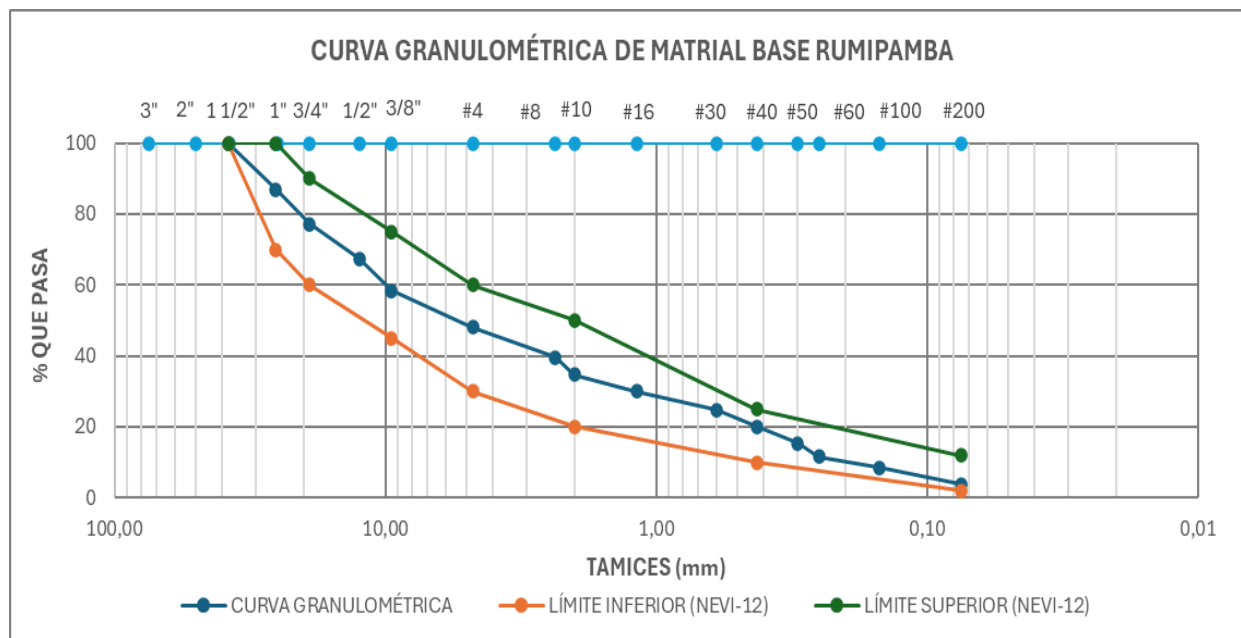


Figura 20. Curva Granulométrica del material base Rumipamba

Como se puede observar en la Figura 20, la curva granulométrica del material de base se encuentra dentro de los límites proporcionados por la norma ecuatoriana vial NEVI -12, esto indica que el material se encuentra bien graduado.

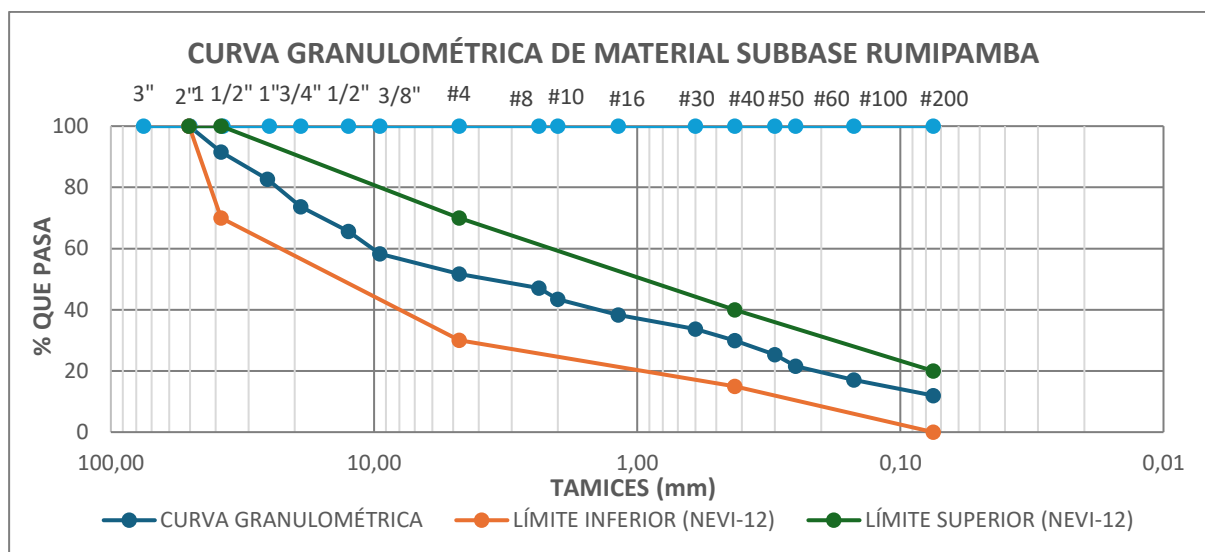
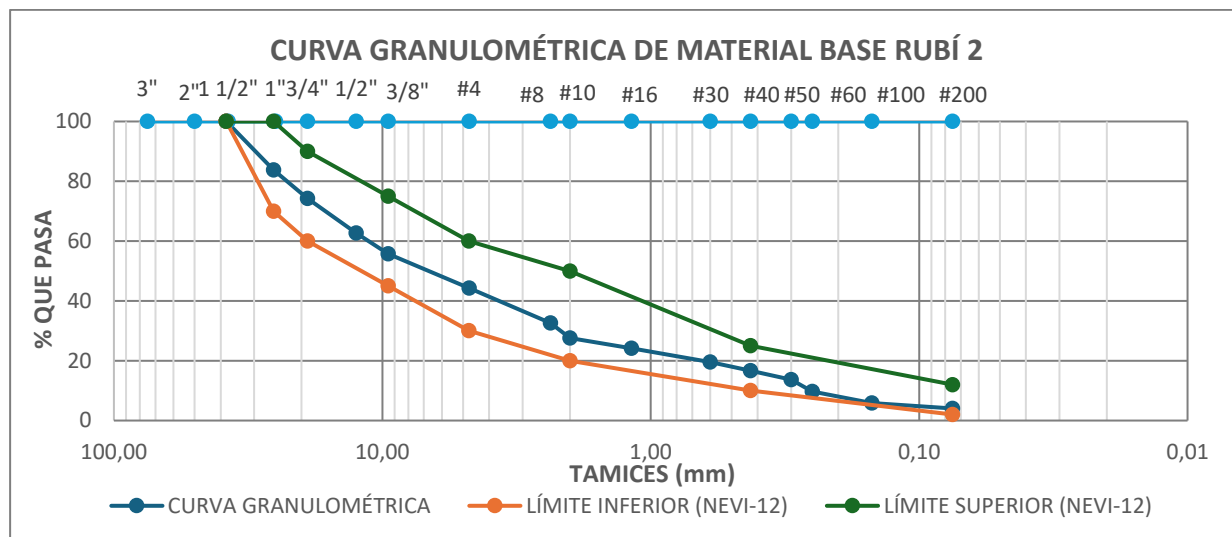


Figura 21. Curva Granulométrica del material Subbase Rumipamba

Como se puede observar en la Figura 21, el material subbase se encuentra dentro de los límites establecidos por la norma ecuatoriana vial NEVI -12, esto indica que el material se encuentra bien graduado, ya que tanto el árido grueso como el fino van dentro de los límites de la granulometría establecida.

Cantera Rubí 2



Como se observa en la Figura 23, el material de la subbase se encuentra dentro de los límites establecidos por la norma ecuatoriana vial NEVI -12, lo que indica que el material está bien graduado. Sin embargo, se puede notar que la curva granulométrica presenta una variación en el agregado fino, tendiendo a acercarse al límite inferior, lo que indica que está cerca de no cumplir con la granulometría establecida.

3.1.4 Proctor Modificado

El ensayo de Proctor permitió determinar la densidad máxima alcanzable del material base clase 1B y subbase clase 2 de las diferentes canteras analizadas, de igual modo este ensayo ayudó a determinar la humedad óptima requerida para lograr esta densidad. Los resultados obtenidos fueron los siguientes.

TABLA XV
RESULTADOS DEL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO.

Proctor Modificado			
Cantera	Material	Densidad seca máxima (g/cm ³)	Humedad óptima (%)
Mollepamba	Base	2,043	10,00
	Subbase	2,019	8,85
Rumipamba	Base	2,075	10,10
	Subbase	1,968	10,40
Rubí 2	Base	2,008	9,55
	Subbase	1,962	9,60

En general se puede decir que los materiales de base presentan mayores densidades secas máximas, y generalmente necesitan niveles de humedad diferentes a los de las subbases para alcanzar su compactación máxima. La cantera Mollepamba y Rumipamba se destacan por ofrecer el material más denso para el material base y subbase, mientras que la cantera Rubí 2 proporciona un material menos denso para base y subbase.

3.1.5 California Bearing Ratio (CBR)

El ensayo California Bearing Ratio (CBR). Permitió determinar la capacidad de soporte de los materiales de base y subbase de cada una de las canteras analizadas los resultados obtenidos se muestran en la TABLA XVI.

TABLA XVI
RESULTADOS DEL ENSAYO CBR

California Bearing Ratio			
Cantera	Material	CBR (%)	Límites (NEVI-12)
Mollepamba	Base	108	$\geq 80\%$
	Subbase	78	$\geq 30\%$
Rumipamba	Base	92	$\geq 80\%$
	Subbase	59	$\geq 30\%$
Rubí 2	Base	89	$\geq 80\%$
	Subbase	66	$\geq 30\%$

Los valores de CBR obtenidos para las bases clase 1B de cada una de las canteras superan el 80%, cumpliendo así con lo que establece la norma ecuatoriana vial NEVI -12, que exige un CBR igual o superior al 80%, en este caso la cantera que tuvo un mejor porcentaje de CBR fue la cantera Mollepamba con se indica en la TABLA XVI.

Para el material de la subbase clase 2 de cada una de las canteras los valores de CBR también están dentro de los estándares que establece la norma ecuatoriana vial NEVI -12, la cual indica que se requiere un CBR del 30% o más. Esto demuestra que los valores de CBR obtenidos están dentro de los límites establecidos por la normativa, del mismo modo el material que tuvo mayor porcentaje de CBR fue la cantera Mollepamba tal como se indica en la Tabla XVI.

3.2 Fase 2

3.2.1 Abrasión.

Se llevó a cabo el ensayo de resistencia a la abrasión para evaluar la disgregación del agregado grueso por impacto. Los resultados se muestran en la Tabla XVII.

TABLA XVII

RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

Resistencia a la abrasión				
Cantera		Material	Desgaste (%)	Límite (NEVI-12)
Base	Mollepamba	Ripio triturado	25,80	< 40%
	Rumipamba	Ripio triturado	30,04	< 40%
	Rubí 2	Ripio triturado	32,92	< 40%
Cantera		Material	Desgaste (%)	Límite (NEVI-12)
Subbase	Mollepamba	Ripio cribado	37,56	< 50%
	Rumipamba	Ripio cribado	40,70	< 50%
	Rubí 2	Ripio cribado	41,70	< 50%

Los valores de abrasión del ripio triturado utilizado para el material base clase 1B de cada una de las canteras cumplen con los estándares establecidos por la norma ecuatoriana vial NEVI -12, que especifica un desgaste por abrasión máximo del 40%. Esto indica que el nivel de desgaste del agregado está dentro de los límites aceptables según la norma, lo que confirma su calidad deseada.

Los valores de abrasión de ripio cribado de la Subbase clase 2 cumplen con los estándares establecidos por la norma ecuatoriana vial NEVI -12, para cada una de las canteras, la misma que especifica un desgaste por abrasión máximo del 50%. Esto indica que el nivel de desgaste del agregado está dentro de los límites aceptables según la norma, lo que confirma su calidad deseada.

3.2.2. Caras fracturadas

Los agregados con caras fracturadas mejoran la estabilidad y la resistencia al deslizamiento. Esto es crucial para la durabilidad y el desempeño de las carreteras y otras superficies pavimentadas por lo tanto es importante conocer este parámetro en cada una de las canteras analizadas. Los resultados obtenidos se detallan en la TABLA XVIII.

TABLA XVIII
RESULTADOS DEL ENSAYO DE CARAS FRACTURADAS

Porcentaje de caras fracturadas			
Cantera	Material	Porcentaje de caras fracturadas (%)	Límite (NEVI-12)
Mollepamba	Ripio triturado	94	$\geq 75\%$
Rumipamba	Ripio triturado	89	$\geq 75\%$
Rubí 2	Ripio triturado	83	$\geq 75\%$

La norma ecuatoriana vial NEVI -12, indica que los agregados gruesos retenidos en el tamiz 4.75 mm deben tener cierta angularidad, debiendo contener al menos el 75% en peso de elementos triturados que contengan dos o más caras fracturadas según la Norma ASTM D5821. En este caso el material de cada cantera cumple con este criterio.

3.2.3. Resistencia a los sulfatos

Después de realizar el ensayo de resistencia a los sulfatos utilizando sulfato de magnesio, el cual determina la resistencia de los agregados frente a condiciones adversas, como ciclos de humedecimiento y secado o de congelación y descongelación, los resultados fueron los siguientes mostrados en la TABLA XIX.

TABLA XIX
RESISTENCIA A LOS SULFATOS

Resistencia de los áridos en Sulfato			
Cantera	Material	Porcentaje ponderado de pérdida (%)	Límite (NEVI-12)
Mollepamba	Ripio triturado	9,7	< 18%
	Polvo de piedra	8,9	< 15%
Rumipamba	Ripio triturado	14,5	< 18%
	Polvo de piedra	15,5	< 15%
Rubí 2	Ripio triturado	15,6	< 18%
	Polvo de piedra	16,2	< 15%

De acuerdo con la norma ecuatoriana vial NEVI -12. La cual menciona que los agregados gruesos no deberán experimentar una desintegración ni pérdida total mayor del 12 % en peso, cuando se trata de sulfato de sodio y una pérdida total mayor al 18% cuando se trata de sulfato de magnesio. Esto se debe a que el ensayo es más severo cuando se utiliza el sulfato de magnesio, tomando en cuenta estas consideraciones se puede decir que las tres canteras cumplen con este parámetro en el agregado grueso. Sin embargo, en cuanto al agrega fino la cantera Rumipamba y Rubí 2 no cumplen con este parámetro ya que la norma establece que el material ensayado no deberá experimentar una desintegración ni pérdida total mayor del 15 % cuando se trata de sulfato de magnesio.

3.3 Fase 3

3.3.1 Análisis de datos

El análisis de datos se llevó a cabo a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio. Estos datos fueron tabulados y comparados norma ecuatoriana vial NEVI -12, la TABLA XX presenta la matriz de resultados.

TABLA XX
MATRIZ DE RESULTADOS

Ensayo	Cantera	Material	Resultado		Norma (NEVI-12)		Observación
			Tamiz (mm)	% Pasa	Tamiz (in,mm)	%Pasa	
Granulometría	Mollepamba	Base	38,1	100,00	1 1/2" (38,1)	100	Cumple
			25,4	88,74	1" (25,4)	70-100	Cumple
			19	78,32	3/4" (19)	60-90	Cumple
			9,5	63,33	3/8" (9,5)	45-75	Cumple
			4,75	49,56	Nº4 (4,76)	30-60	Cumple
			2,00	38,86	Nº10 (2,00)	20-50	Cumple
			0,425	19,64	Nº40 (0,425)	10-25	Cumple
			0,075	5,22	Nº 200 (0,075)	2-12	Cumple
Granulometría	Mollepamba	Subbase	50,4	100,00	2" (50,4)	100	Cumple
			38,1	93,00	1 1/2 " (38,1)	70-100	Cumple
			4,75	53,38	Nº4 (4,75)	30-70	Cumple
			0,425	25,86	Nº40 (0,425)	15-40	Cumple
			0,075	7,95	Nº200 (0,075)	0-20	Cumple
Granulometría	Rumipamba	Base	38,1	100,00	1 1/2" (38,1)	100	Cumple
			25,4	86,99	1" (25,4)	70-100	Cumple
			19	77,08	3/4" (19)	60-90	Cumple
			9,5	58,32	3/8" (9,5)	45-75	Cumple
			4,75	48,09	Nº4 (4,76)	30-60	Cumple
			2,00	34,78	Nº10 (2,00)	20-50	Cumple
			0,425	20,01	Nº40 (0,425)	10-25	Cumple
			0,075	3,73	Nº 200 (0,075)	2-12	Cumple
Granulometría	Rumipamba	Subbase	50,4	100,00	2" (50,4)	100	Cumple
			38,1	91,52	1 1/2 " (38,1)	70-100	Cumple
			4,75	51,71	Nº4 (4,75)	30-70	Cumple
			0,425	29,88	Nº40 (0,425)	15-40	Cumple
			0,075	11,97	Nº200 (0,075)	0-20	Cumple
Granulometría	Rubí 2	Base	38,1	100,00	1 1/2" (38,1)	100	Cumple
			25,4	83,73	1" (25,4)	70-100	Cumple
			19	74,24	3/4" (19)	60-90	Cumple
			9,5	55,76	3/8" (9,5)	45-75	Cumple
			4,75	44,31	Nº4 (4,76)	30-60	Cumple
			2,00	27,59	Nº10 (2,00)	20-50	Cumple
			0,425	16,69	Nº40 (0,425)	10-25	Cumple
			0,075	4,04	N.º 200 (0,075)	2-12	Cumple

Granulometría	Rubí 2	Subbase	50,4	100,00	2" (50,4)	100	Cumple
			38,1	89,61	1 1/2 " (38,1)	70-100	Cumple
			4,75	43,38	Nº4 (4,75)	30-70	Cumple
			0,425	18,85	Nº40 (0,425)	15-40	Cumple
			0,075	3,51	Nº200 (0,075)	0-20	Cumple
Límite liquido	Mollepamba	Base	13,77		LI≤25		Cumple
		subbase	13,37		LI≤25		Cumple
	Rumipamba	Base	13,44		LI≤25		Cumple
		Subbase	13,87		LI≤25		Cumple
	Rubí 2	Base	15,81		LI≤25		Cumple
		Subbase	15,46		LI≤25		Cumple
Plasticidad	Mollepamba	Base	No plástico		Ip<6		Cumple
		subbase	No plástico		Ip<6		Cumple
	Rumipamba	Base	No plástico		Ip<6		Cumple
		Subbase	No plástico		Ip<6		Cumple
	Rubí 2	Base	No plástico		Ip<6		Cumple
		Subbase	No plástico		Ip<6		Cumple
CBR (%)	Mollepamba	Base	108		>80%		Cumple
		subbase	78		>30%		Cumple
	Rumipamba	Base	92		>80%		Cumple
		Subbase	59		>30%		Cumple
	Rubí 2	Base	89		>80%		Cumple
		Subbase	66		>30%		Cumple
Abrasión (%)	Mollepamba	Base	25,8		< 40%		Cumple
		subbase	37,56		< 40%		Cumple
	Rumipamba	Base	30,04		< 40%		Cumple
		Subbase	40,70		< 40%		Cumple
	Rubí 2	Base	32,92		< 40%		Cumple
		Subbase	41,70		< 40%		Cumple
Resistencia a los sulfatos	Mollepamba	Agregado grueso	9,7		<18%		Cumple
		Agregado fino	8,9		<15%		Cumple
	Rumipamba	Agregado grueso	14,5		<18%		Cumple
		Agregado fino	15,5		<15%		No cumple
	Rubí 2	Agregado grueso	15,6		<18%		Cumple
		Agregado fino	16,2		<15%		No cumple

El análisis detallado de las muestras de bases y subbases de las canteras Mollepamba, Rumipamba y Rubí 2, basado en diversos ensayos de laboratorio, permitió verificar la conformidad de estos materiales con la norma vial ecuatoriana NEVI -12. Los resultados obtenidos, presentados en la TABLA XX, muestran que la mayoría de las muestras cumplen con los parámetros establecidos, garantizando su calidad y aptitud para proyectos de infraestructura vial. No obstante, algunos materiales, en particular los agregados finos de las canteras Rumipamba y Rubí 2, no cumplen con los requisitos de solidez especificados.

3.3.2 Verificación de hipótesis

3.3.2.1 Hipótesis

Los materiales extraídos de las canteras “Mollepamba”, “Rubí 2” y cantera Rumipamba de la provincia de Cotopaxi, Ecuador, ¿Satisfacen los criterios establecidos por la Norma Ecuatoriana vial para bases y subbases de un pavimento?

3.3.2.2 Verificación

Después de realizar los ensayos para evaluar las propiedades índice y mecánicas de los materiales extraídos de las canteras "Mollepamba", "Rubí 2" y "Rumipamba", se determinó lo siguiente:

Los materiales de la cantera Mollepamba cumplen con todos los requisitos establecidos por la norma ecuatoriana vial NEVI -12

Los materiales de las canteras Rumipamba y Rubí 2 cumplen con la mayoría de los parámetros, incluidos los límites de Atterberg, la granulometría, el CBR y la abrasión. Sin embargo, los materiales de las canteras Rumipamba y Rubí 2 no cumplen con el parámetro de desgaste por sulfatos.

Esto significa que la hipótesis no se valida completamente; ya que, al analizar los datos matemáticos, para ser considerada válida, cada cantera debe cumplir con todos los requisitos establecidos por la normativa.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

✚ Se determinó que los niveles de humedad de las tres canteras analizadas están dentro de los rangos aceptables. Además, el análisis de granulometría mostró que las curvas granulométricas se ajustan a los límites establecidos por la normativa. Por otro lado, los resultados del ensayo de límites de Atterberg indican que los materiales son no plásticos o tienen plasticidad nula, lo que los hace adecuados para su uso en subbases y bases de carreteras. En cuanto estos parámetros, es importante destacar que los datos obtenidos de todas las canteras cumplen con los estándares establecidos por la norma ecuatoriana vial NEVI -12, lo que confirma la idoneidad de estos materiales para su aplicación en proyectos de construcción vial.

✚ En base a los ensayos de Proctor Modificado y California Bearing Ratio (CBR), se concluye que los materiales extraídos de las canteras Mollepamba, Rumipamba y Rubí 2 cumplen con las especificaciones requeridas para su uso en la construcción de bases y subbases de la norma ecuatoriana vial NEVI -12, puesto que los valores de CBR obtenidos para las bases superan el 80%, lo que indica una excelente capacidad de resistencia. Del mismo modo, los valores de CBR para las subbases están por encima del 30%, cumpliendo así con los requisitos establecidos por la normativa.

✚ Los resultados de los ensayos de abrasión y porcentaje de caras fracturadas en el árido grueso confirman la calidad y la idoneidad de los materiales extraídos de las canteras Mollepamba, Rumipamba y Rubí 2; ya que los valores de desgaste por abrasión del material base y subbase de las tres canteras, cumplen con los estándares establecidos la norma ecuatoriana vial NEVI -12, que especifica un desgaste máximo del 40% para el material base y del 50% para el material subbase. Por otro lado, los resultados del ensayo de caras fracturadas muestran que el material de cada cantera cumple con los criterios de la norma ASTM D5821 y las especificaciones la norma ecuatoriana vial NEVI -12, que indican que los agregados gruesos deben contener al menos el 75% en peso de elementos triturados que contengan dos o más caras fracturadas.

✚ El ensayo de desgaste por sulfatos utilizando sulfato de magnesio, permitió evaluar la resistencia de los agregados. Los resultados mostraron que, en el caso del agregado grueso, las tres canteras cumplieron con los estándares establecidos por la norma ecuatoriana vial NEVI -12, que indican que estos agregados no deben experimentar una pérdida total superior al 18% cuando se someten al sulfato de magnesio. Sin embargo, es crucial destacar la importancia de la calidad del agregado fino en las canteras Rumipamba y Rubí 2, ya que no cumplen con los requisitos establecidos al exceder el límite del 15% para la pérdida total bajo las mismas condiciones de sulfato de magnesio.

✚ Se llevó a cabo un análisis comparativo exhaustivo de las muestras de bases y subbases provenientes de las canteras Mollepamba, Rumipamba y Rubí 2. Se examinaron detalladamente las características de cada material y se comparó con la norma ecuatoriana vial NEVI -12. Se determinó que para la cantera Mollepamba cumplen con todos los ensayos exigidos por la norma, sin embargo, las canteras Rumipamba y Rubí 2 no cumplen con el ensayo de desgaste por sulfatos.

4.2 Recomendaciones

✚ Se sugiere a la Universidad Técnica de Ambato que considere la adquisición de más equipos para realizar ensayos de CBR de laboratorio. La limitación de equipos actualmente provoca largos tiempos de espera para el uso de las herramientas y equipos, lo que a su vez prolonga el tiempo necesario para obtener resultados. Un mayor número de equipos agilizaría este proceso y mejoraría la eficiencia en la evaluación de materiales para construcción.

✚ Se sugiere realizar todos los ensayos de laboratorio siguiendo las normativas pertinentes con el fin de evitar posibles inconvenientes. Además, es recomendable mantener registros exhaustivos de los ensayos realizados para facilitar su posterior análisis y tabulación de manera precisa.

✚ Se recomienda utilizar equipos que se encuentren calibrados para así no tener datos erróneos que dispersen el resultado causando un mal análisis de resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “The Importance of Road Construction for Modern Society | by Azmanali | Medium.” Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: <https://medium.com/@azman16ali19/the-importance-of-road-construction-for-modern-society-79fb9255f1a3>
- [2] “Next stop - Latin America | LatAm Investor.” Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: <https://latam-news.co/news/next-stop-latin-america>
- [3] Ministerio de obras públicas y transporte, “Asistencia Técnica al Programa de Infraestructura y Conservación Vial.”
- [4] Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Cotopaxi, “Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cotopaxi 2025,” Cotopaxi, 2025.
- [5] A. A. Suryawanshi and P. Pale, “A Review on a Study of Importance in Base and Sub-base Layers of Road Pavement,” *International Journal of Advances in Engineering and Management (IJAEM)*, vol. 4, p. 1456, 2022, doi: 10.35629/5252-040514561458.
- [6] “Resumen boletines - Instituto Mexicano del Transporte.” Accessed: Apr. 09, 2024. [Online]. Available: <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=481&IdBoletin=177>
- [7] “Bases y Subbases | Sociedad Americana de Fundición.” Accessed: Apr. 09, 2024. [Online]. Available: <https://www.afsinc.org/bases-and-subbases>
- [8] “¿Qué es Road Base? | Para profesionales de la construcción.” Accessed: Apr. 09, 2024. [Online]. Available: <https://www.forconstructionpros.com/infrastructure/article/22864099/twisted-nail-sand-gravel-what-is-road-base>
- [9] “Una introducción a AASHTO.” Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: <https://civilengineerblogger.com/aashto-introduction/>
- [10] “D1883 Método de prueba estándar para la relación de rodamiento de California (CBR) de suelos compactados en laboratorio.” Accessed: Apr. 09, 2024. [Online]. Available: <https://www.astm.org/d1883-16.html>
- [11] Municipio de Latacunga, “Elaboración de PDOT.”
- [12] Alex Damián Menoscal Cevallos, “Análisis comparativo de las características físico-químicas y petrográficas del agregado grueso de las canteras de los sectores de picoazá,” Manabí, 2013.
- [13] ASTM D2216-19, “Métodos de prueba estándar para la determinación del contenido de agua,” 2019.

- [14] Damaris Zuleid Díaz Rodríguez, “Obtención del límite líquido y límite plástico usando el penetrómetro de cono de caída y la cazuela de Casagrande para la combinación de un suelo 50% caolín,” BOGOTÀ, 2017.
- [15] D. Andrés and A. Chica, “Aplicabilidad del penetrómetro cónico en la determinación del límite líquido,” 2019.
- [16] Álvaro Andrés Rueda Lizarazo, “Comparación de los asentamientos de los suelos arcillosos en modelos a escala con los estimados por medio de la teoría de la consolidación,” 2014.
- [17] César García, “Determinación de la granulometría de un árido,” 2008.
- [18] ASTM C136/C136M -19, “Método de prueba estándar para el análisis por tamizado de agregado fino y gruesos,” EE.UU., 2019.
- [19] “Prueba de Proctor modificada.” Accessed: May 02, 2024. [Online]. Available: <https://constructionmentor.net/modified-proctor-test/>
- [20] ASTM D1557-12 PROCTOR, “Métodos de ensayo normalizado para las características de compactación de una energía modificada,” 2012.
- [21] “Prueba de relación de rodamiento de California: valores de CBR y por qué son importantes - Gilson Co.” Accessed: May 02, 2024. [Online]. Available: <https://www.globalgilson.com/blog/cbr-testing>
- [22] “Prueba de abrasión LA: Prueba de abrasión agregada Pt 2 - Gilson Co.” Accessed: May 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.globalgilson.com/blog/aggregate-abrasion-testing-part-2-the-la-abrasion-test>
- [23] ASTM C 131-01, “Método de abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles,” EE. UU, 2021.
- [24] Norma ASTM D5821, “caras fracturas,” 2024.
- [25] ASTM D5821, “Porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso,” 2021.
- [26] ASTM C88/C88M -18, “Método de prueba estándar para determinar la solidez de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio o de magnesio,” 2018.
- [27] NEVI -12, “Ministerio de transporte y obras públicas del ecuador, Norma ecuatoriana vial NEVI -12,” 2013.
- [28] “Humedad en agregados y control de inventarios - 360 en concreto.” Accessed: May 16, 2024. [Online]. Available: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/humedad-en-agregados-y-control-de-inventarios-1/>

ANEXOS

Anexo 1: Contenido de humedad

 Cantera Mollepamba

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL CONTENIDO DE HUMEDAD NORMA: ASTM D2216-19 				
Elaborado por	Jonathan Supe			
Revisado por	Ing. Mg Mayra Viscaíno		Cantera	Mollepamba
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD				
Tipo de material	Agregado fino		Agregado grueso	
N° Recipiente	C1	C2	C3	C4
Masa suelo húmedo + recipiente (gr)	108,23	119,25	5023	5022
Masa suelo seco + recipiente (gr)	103,92	114,32	4992	4980
Masa Recipiente (gr)	31,2	31,2	218,9	208,94
Masa Agua Ww(gr)	4,31	4,93	31,00	42,00
Masa suelo seco Wr(gr)	72,72	83,12	4773,1	4771,06
Contenido de humedad W(%)	5,93	5,93	0,65	0,88
W Promedio (%)	5,93		0,76	

 Cantera Rumipamba

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL CONTENIDO DE HUMEDAD NORMA: ASTM D2216-19			
Elaborado por	Jonathan Supe				
Revisado por	Ing. Mg Mayra Viscaíno		Cantera	Rumipamba	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Tipo de material		Agregado fino		Agregado grueso	
N° Recipiente		B1	B2	B3	B4
Masa suelo húmedo + recipiente (gr)		133,72	127,81	5053	5033
Masa suelo seco + recipiente (gr)		130,21	120,12	4988	5012
Masa Recipiente (gr)		31,2	30,9	210,65	225,69
Masa Agua Ww(gr)		3,51	7,69	65,00	21,00
Masa suelo seco Wr(gr)		99,01	89,22	4777,35	4786,31
Contenido de humedad W(%)		3,55	8,62	1,36	0,44
W Promedio (%)		6,08		0,90	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CONTENIDO DE HUMEDAD

NORMA: ASTM D2216-19



Elaborado por	Jonathan Supe			
Revisado por	Ing. Mg Mayra Viscaino		Cantera	Rubí 2
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD				
Tipo de material	Agregado fino		Agregado grueso	
N° Recipiente	A1	A2	A3	A4
Masa suelo húmedo + recipiente (gr)	121,67	165,89	5065	5033
Masa suelo seco + recipiente (gr)	116,67	160,56	5005	4995
Masa Recipiente (gr)	10	10,2	250,67	213,67
Masa Agua Ww(gr)	5,00	5,33	60,00	38,00
Masa suelo seco Wr(gr)	106,67	150,36	4754,33	4781,33
Contenido de humedad W(%)	4,69	3,54	1,26	0,79
W Promedio (%)	4,12		1,03	

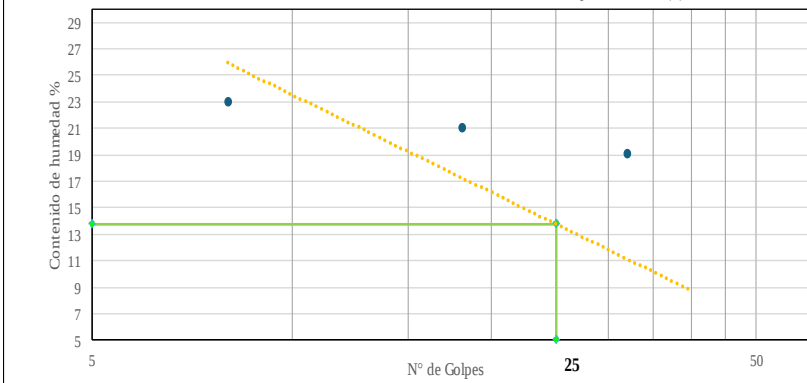
Anexo 2: Límites de Atterberg.

Cantera Mollepamba

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LÍMITES DE ATTERBERG							
Elaborado	Jonathan David Supe Castro								
Revisado	Ing. Mg. Mayra Viscaíno				Norma	INEN (691/692)			
ID.Muestra	Base clase 1B				Cantera	Mollepamba			
LÍMITE LÍQUIDO(LL)									
Número de Golpes	8		18		32		40		
Identificación de Cápsula	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	
Peso de Cápsula	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	0,00	0,000	g
Peso de muestra húmeda + cápsula	15,57	14,53	16,37	15,93	15,02	14,12	0,00	0,000	g
Peso de muestra seca + cápsula	13,21	12,39	14,11	13,62	13,10	12,33	0,00	0,000	g
Peso del agua	2,36	2,14	2,26	2,31	1,92	1,79	0,00	0,00	g
Peso de la muestra seca	10,21	9,39	11,11	10,62	10,10	9,33	0,00	0,00	g
Contenido de humedad (ω)	23,11	22,79	20,34	21,75	19,01	19,19			%
Promedio de contenido de humedad (ω)	22,952		21,047		19,098				%
Límite Líquido (LL)	13,767								%

LÍMITE LÍQUIDO (LL)

$y = -10,67\ln(x) + 48,112$

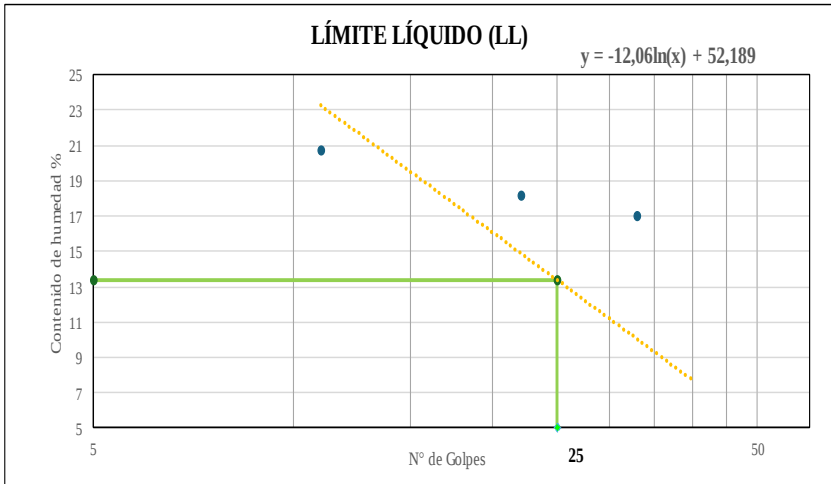


LÍMITE PLÁSTICO (LP)						
Recipiente Número	J1	J2	J3	J4	J5	
Peso muestra húmeda + recipiente	6,11	6,23	4,74	5,42	5,00	g
Peso muestra seca + recipiente	5,52	5,70	4,45	5,01	4,70	g
Peso del agua	0,59	0,53	0,29	0,41	0,30	g
Peso del recipiente	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	g
Peso de la muestra seca	2,52	2,70	1,45	2,01	1,70	g
Contenido de humedad (ω)	23,41	19,63	20,00	20,40	17,65	%
Promedio contenido de humedad (ω)	20,217					%
Límite Plástico (LP)	20,217					%
Límite Líquido (LL)	13,767					%
Índice Plástico (IP)	NP					%

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LÍMITES DE ATTERBERG 									
Elaborado		Jonathan David Supe Castro				Norma		INEN (691/692)	
Revisado		Ing. Mg. Mayra Viscaíno				Cantera		Mollepamba	
ID.Muestra		Subbase clase 2				Cantera		Mollepamba	
LÍMITE LÍQUIDO(LL)									
Número de Golpes		11		22		33		40	
Identificación de Cápsula		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Peso de Cápsula		3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	0,000	0,000
Peso de muestra húmeda + cápsula		14,320	14,110	14,130	13,980	13,770	13,880	0,000	0,000
Peso de muestra seca + cápsula		12,370	12,210	12,480	12,230	12,240	12,260	0,000	0,000
Peso del agua		1,95	1,90	1,65	1,75	1,53	1,62	0,00	0,00
Peso de la muestra seca		9,37	9,21	9,48	9,23	9,24	9,26	0,00	0,00
Contenido de humedad (ω)		20,81	20,63	17,41	18,96	16,56	17,49		
Promedio de contenido de humedad (ω)		20,720		18,182		17,027			
Límite Líquido (LL)		13,369							

LÍMITE LÍQUIDO (LL)

$y = -12,06\ln(x) + 52,189$



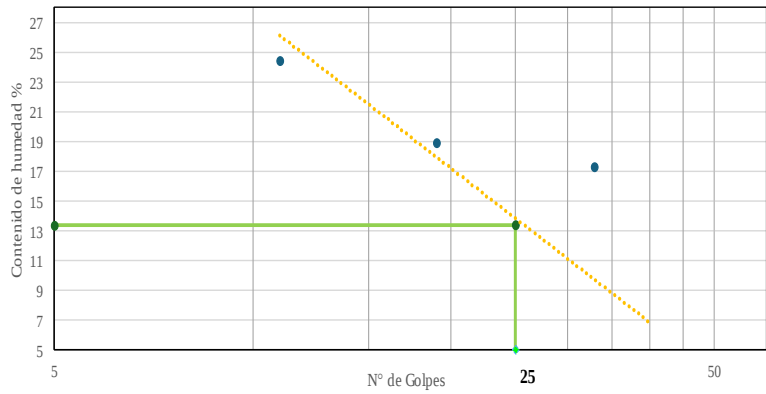
LÍMITE PLÁSTICO (LP)							
Recipiente Número		D1	D2	D3	D4	D5	
Peso muestra húmeda + recipiente		5,87	6,34	5,76	5,42	5,44	g
Peso muestra seca + recipiente		5,36	5,74	5,32	5,03	5,07	g
Peso del agua		0,51	0,60	0,44	0,39	0,37	g
Peso del recipiente		3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	g
Peso de la muestra seca		2,36	2,74	2,32	2,03	2,07	g
Contenido de humedad (ω)		21,61	21,90	18,97	19,21	17,87	%
Promedio contenido de humedad (ω)		19,912					%
Límite Plástico (LP)		19,912					%
Límite Líquido (LL)		13,369					%
Índice Plástico (IP)		NP					%

Cantera Rumipamba

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LÍMITES DE ATTERBERG						
Elaborado	Jonathan David Supe Castro							
Revisado	Ing. Mg. Mayra Viscaíno				Norma		INEN (691/692)	
ID.Muestra	Base clase 1B				Cantera		Rumipamba	
LÍMITE LÍQUIDO(LL)								
Número de Golpes	12		23		34		40	
Identificación de Cápsula	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
Peso de Cápsula	4,00	4,00	3,00	3,00	3,00	3,00	0,000	0,000
Peso de muestra húmeda + cápsula	16,10	16,88	16,63	15,12	13,21	13,81	0,000	0,000
Peso de muestra seca + cápsula	14,12	14,70	14,65	13,32	11,89	12,39	0,000	0,000
Peso del agua	1,98	2,18	1,98	1,80	1,32	1,42	0,00	0,00
Peso de la muestra seca	10,12	10,70	11,65	10,32	8,89	9,39	0,00	0,00
Contenido de humedad (ω)	19,57	20,37	17,00	17,44	14,85	15,12		
Promedio de contenido de humedad (ω)	19,970		17,219		14,985			
Límite Líquido (LL)					13,437			
								%

LÍMITE LÍQUIDO (LL)

$y = -14,9\ln(x) + 61,831$

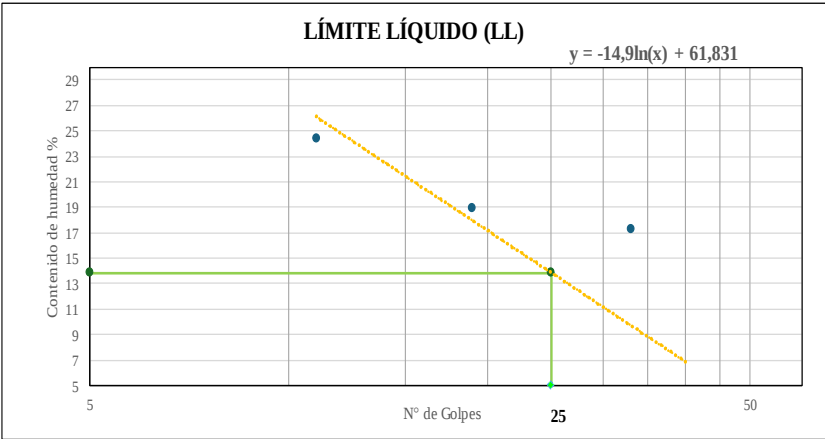


LÍMITE PLÁSTICO (LP)						
Recipiente Número	C1	C2	C3	C4	C5	
Peso muestra húmeda + recipiente	4,98	6,49	5,74	5,60	5,87	g
Peso muestra seca + recipiente	4,67	5,90	5,33	5,20	5,45	g
Peso del agua	0,31	0,59	0,41	0,40	0,42	g
Peso del recipiente	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	g
Peso de la muestra seca	1,67	2,90	2,33	2,20	2,45	g
Contenido de humedad (ω)	18,56	20,34	17,60	18,18	17,14	%
Promedio contenido de humedad (ω)	18,366					%
Límite Plástico (LP)	18,366					%
Límite Líquido (LL)	13,437					%
Índice Plástico (IP)	NP					%

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LÍMITES DE ATTERBERG				
Elaborado		Jonathan David Supe Castro				
Revisado		Ing. Mg. Mayra Viscaíno		Norma		
ID.Muestra		Subbase clase 2		Cantera		
				Rumipamba		
LÍMITE LÍQUIDO(LL)						
Número de Golpes	11		19		33	
Identificación de Cápsula	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Peso de Cápsula	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Peso de muestra húmeda + cápsula	16,45	15,44	14,23	14,26	14,22	14,56
Peso de muestra seca + cápsula	13,80	13,01	12,49	12,42	12,54	12,88
Peso del agua	2,65	2,43	1,74	1,84	1,68	1,68
Peso de la muestra seca	10,80	10,01	9,49	9,42	9,54	9,88
Contenido de humedad (ω)	24,54	24,28	18,34	19,53	17,61	17,00
Promedio de contenido de humedad (ω)	24,406		18,934		17,307	
Límite Líquido (LL)			13,870			

LÍMITE LÍQUIDO (LL)

$y = -14,9\ln(x) + 61,831$



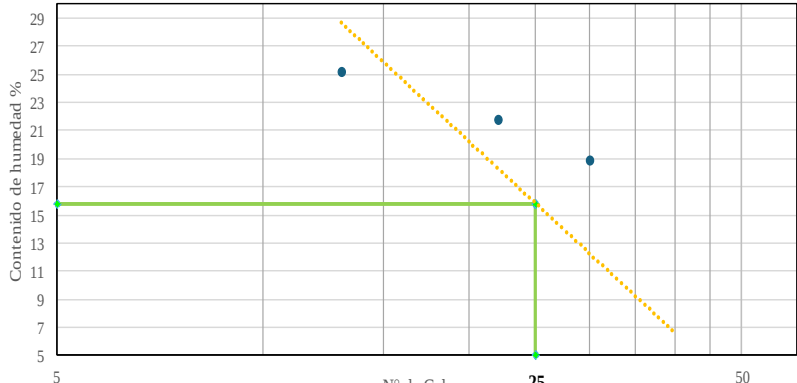
LÍMITE PLÁSTICO (LP)						
Recipiente Número	B1	B2	B3	B4	B5	
Peso muestra húmeda + recipiente	4,87	6,67	5,77	5,65	5,51	g
Peso muestra seca + recipiente	4,58	6,05	5,36	5,23	5,10	g
Peso del agua	0,29	0,62	0,41	0,42	0,41	g
Peso del recipiente	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	g
Peso de la muestra seca	1,58	3,05	2,36	2,23	2,10	g
Contenido de humedad (ω)	18,35	20,33	17,37	18,83	19,52	%
Promedio contenido de humedad (ω)	18,883					%
Límite Plástico (LP)	18,883					%
Límite Líquido (LL)	13,870					%
Índice Plástico (IP)	NP					%

Cantera Rubí 2

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LÍMITES DE ATTERBERG							
Elaborado		Jonathan David Supe Castro							
Revisado		Ing. Mg. Mayra Viscaíno				Norma			
ID.Muestra		Base clase 1B				Cantera			
						INEN (691/692)			
						Rúbí 2			
LÍMITE LÍQUIDO(LL)									
Número de Golpes		13		22		30		40	
Identificación de Cápsula		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
Peso de Cápsula		3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	0,00	0,00
Peso de muestra húmeda + cápsula		15,42	14,45	14,99	14,14	13,29	13,89	0,00	0,00
Peso de muestra seca + cápsula		12,90	12,17	12,89	12,11	11,65	12,16	0,00	0,00
Peso del agua		2,52	2,28	2,10	2,03	1,64	1,73	0,00	0,00
Peso de la muestra seca		9,90	9,17	9,89	9,11	8,65	9,16	0,00	0,00
Contenido de humedad (ω)		25,45	24,86	21,23	22,28	18,96	18,89		
Promedio de contenido de humedad (ω)		25,159		21,758		18,923			
Límite Líquido (LL)		15,809							%

LÍMITE LÍQUIDO (LL)

$y = -19,68\ln(x) + 79,156$

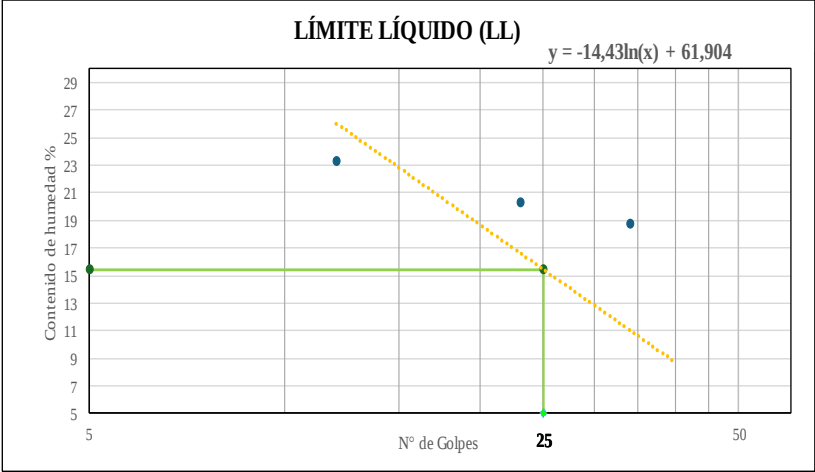


LÍMITE PLÁSTICO (LP)							
Recipiente Número		H1	H2	H3	H4	H5	
Peso muestra húmeda + recipiente		5,41	5,42	5,73	6,11	5,53	g
Peso muestra seca + recipiente		4,90	5,21	5,22	5,49	5,12	g
Peso del agua		0,51	0,21	0,51	0,62	0,41	g
Peso del recipiente		3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	g
Peso de la muestra seca		1,90	2,21	2,22	2,49	2,12	g
Contenido de humedad (ω)		26,84	9,50	22,97	24,90	19,34	%
Promedio contenido de humedad (ω)		20,711					%
Límite Plástico (LP)		20,711					%
Límite Líquido (LL)		15,809					%
Índice Plástico (IP)		NP					%

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LÍMITES DE ATTERBERG					
Elaborado	Jonathan David Supe Castro						
Revisado	Ing. Mg. Mayra Viscaíno			Norma		INEN (691/692)	
ID.Muestra	Subbase clase 2			Cantera		Rubí 2	
LÍMITE LÍQUIDO(LL)							
Número de Golpes	12		23		34		40
Identificación de Cápsula	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
Peso de Cápsula	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	0,00
Peso de muestra húmeda + cápsula	15,75	15,33	14,77	14,62	14,66	13,94	0,00
Peso de muestra seca + cápsula	13,34	12,99	12,78	12,65	12,82	12,23	0,00
Peso del agua	2,41	2,34	1,99	1,97	1,84	1,71	0,00
Peso de la muestra seca	10,34	9,99	9,78	9,65	9,82	9,23	0,00
Contenido de humedad (ω)	23,31	23,42	20,35	20,41	18,74	18,53	
Promedio de contenido de humedad (ω)	23,365		20,381		18,632		
Límite Líquido (LL)	15,456						%

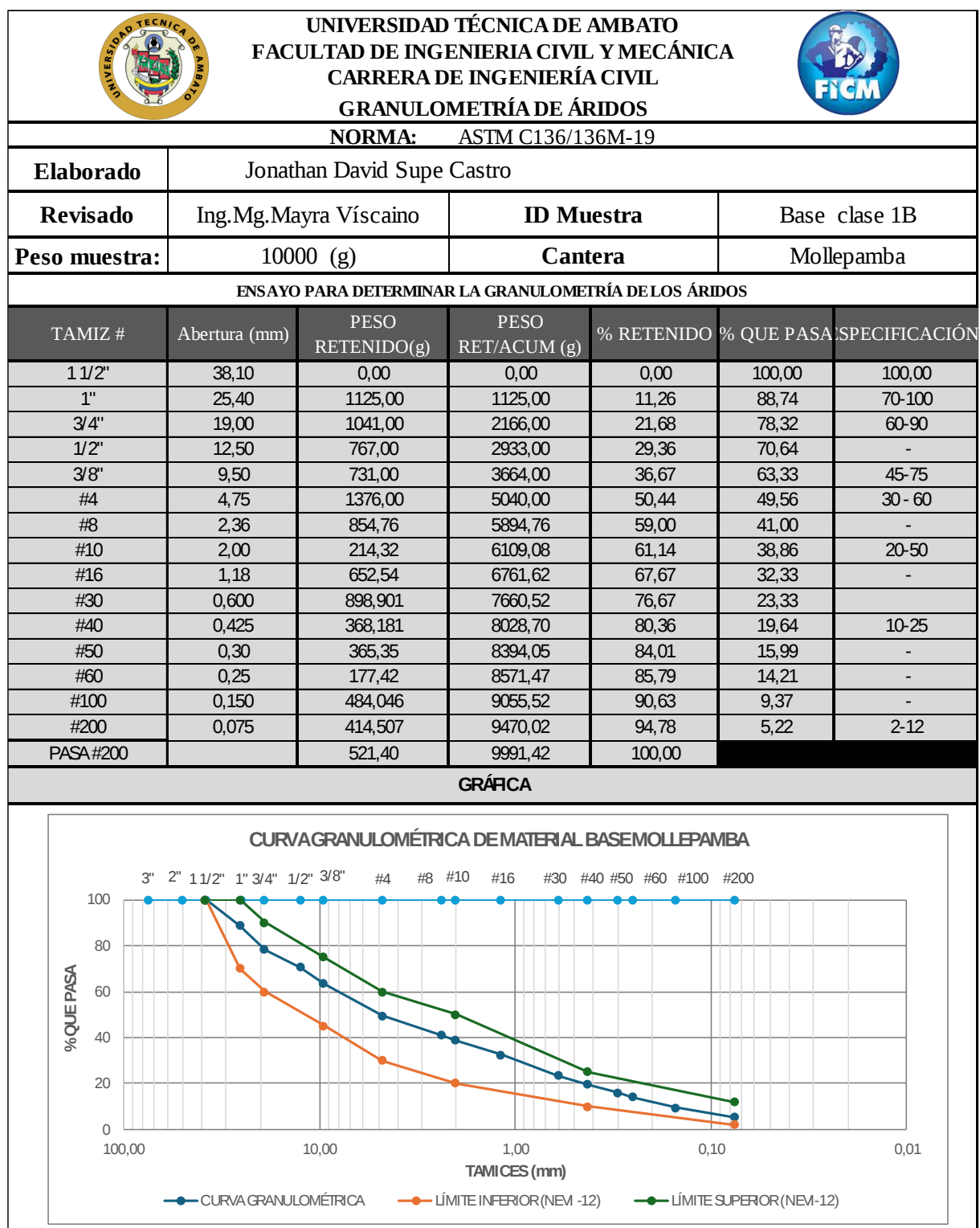
LÍMITE LÍQUIDO (LL)

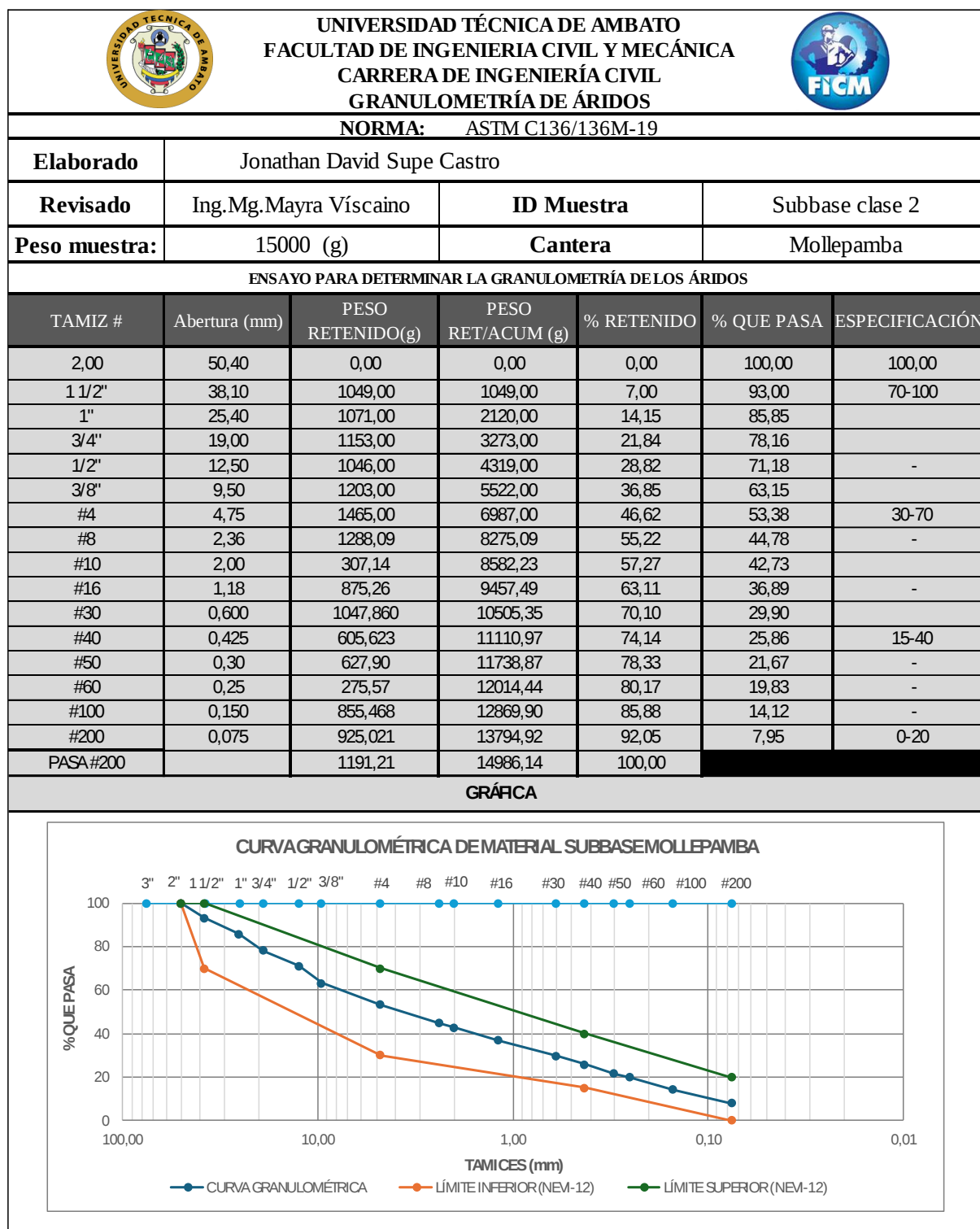
$y = -14,43\ln(x) + 61,904$



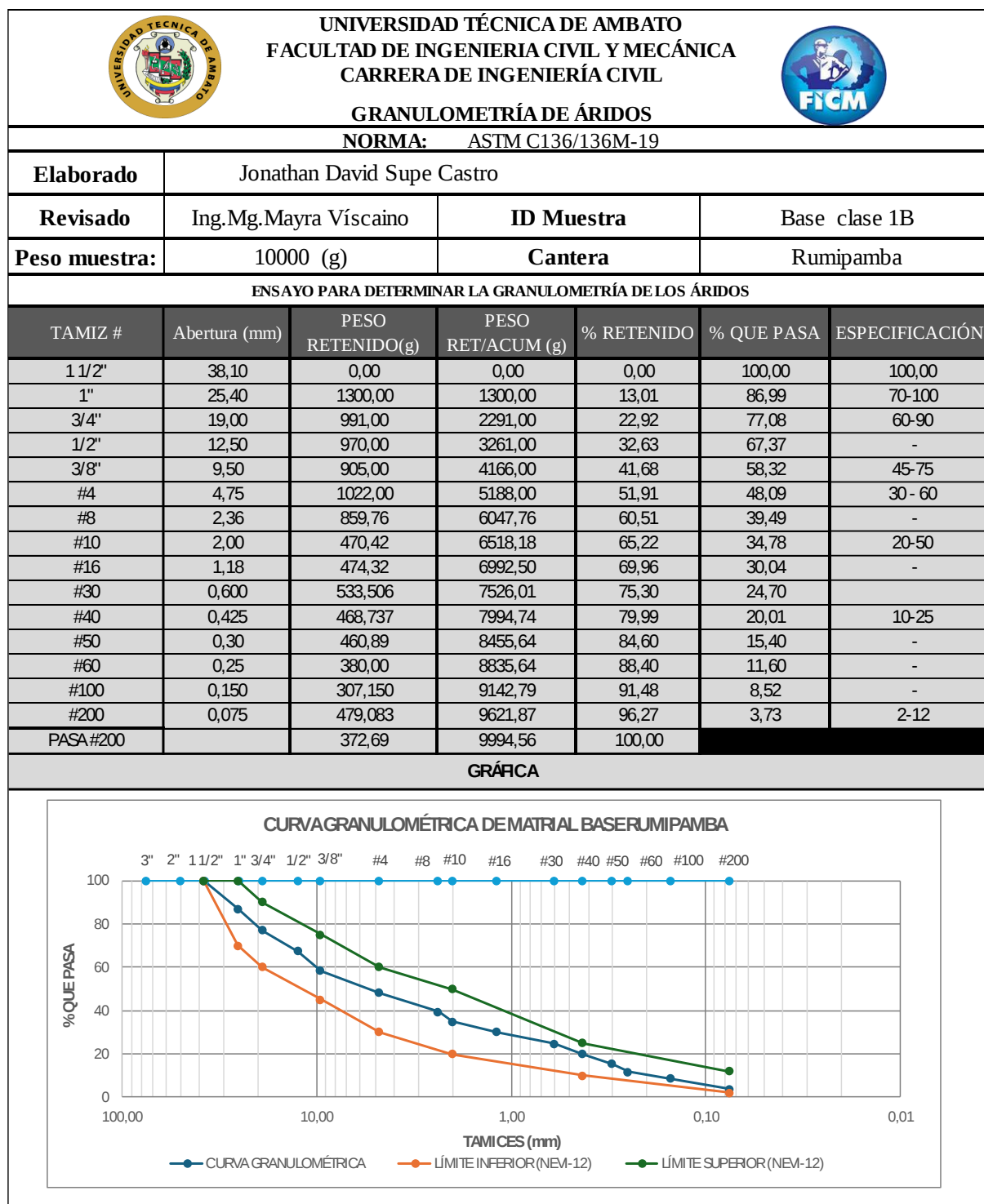
LÍMITE PLÁSTICO (LP)							
Recipiente Número	T1	T2	T3	T4	T5		
Peso muestra húmeda + recipiente	5,76	6,02	6,33	5,89	5,57	g	
Peso muestra seca + recipiente	5,30	5,47	5,75	5,41	5,13	g	
Peso del agua	0,46	0,55	0,58	0,48	0,44	g	
Peso del recipiente	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	g	
Peso de la muestra seca	2,30	2,47	2,75	2,41	2,13	g	
Contenido de humedad (ω)	20,00	22,27	21,09	19,92	20,66	%	
Promedio contenido de humedad (ω)	20,786					%	
Límite Plástico (LP)	20,786					%	
Límite Líquido (LL)	15,456					%	
Índice Plástico (IP)	NP					%	

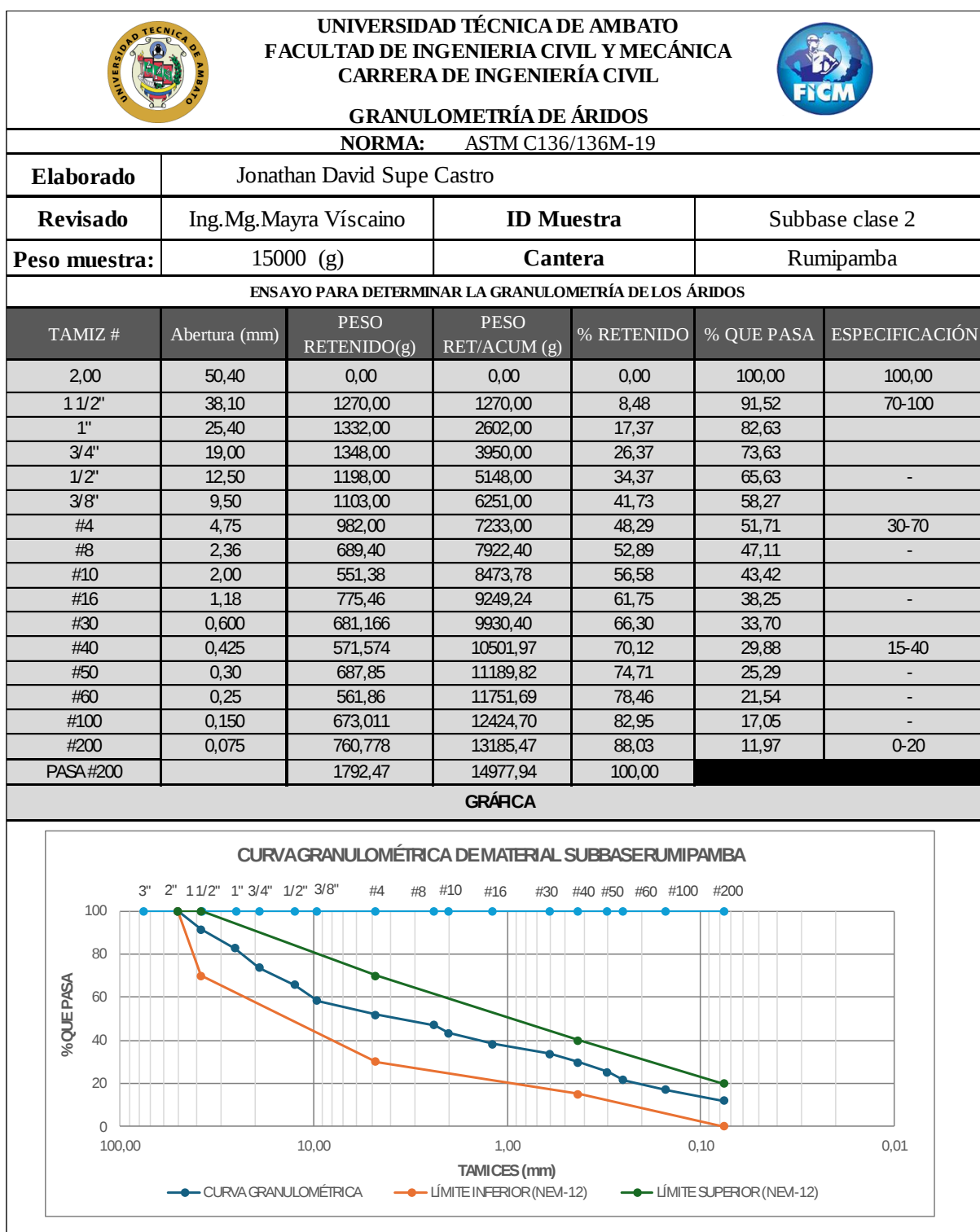
Anexo 3: Granulometría

 Granulometría de la cantera Mollepamba


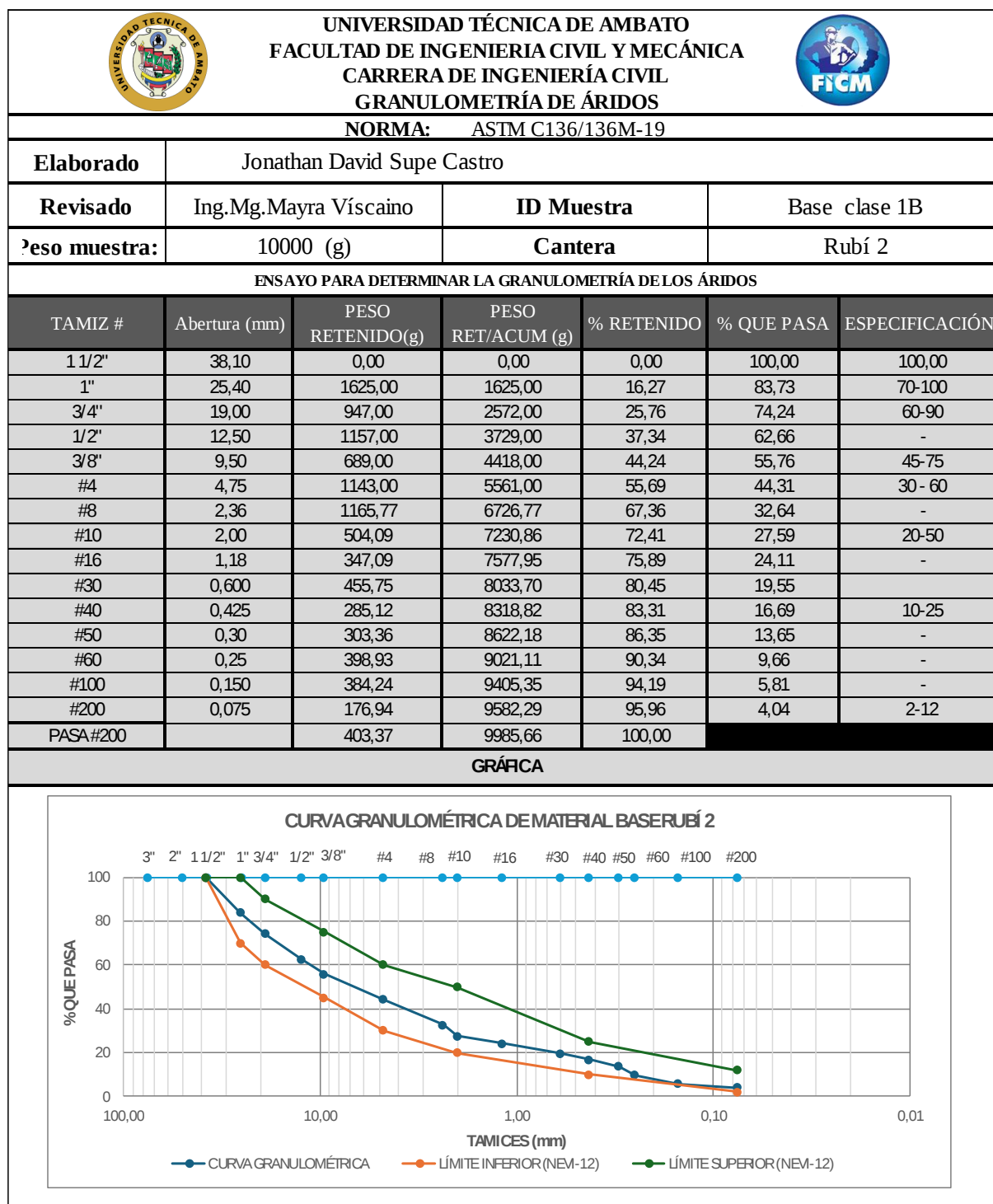
 Subbase


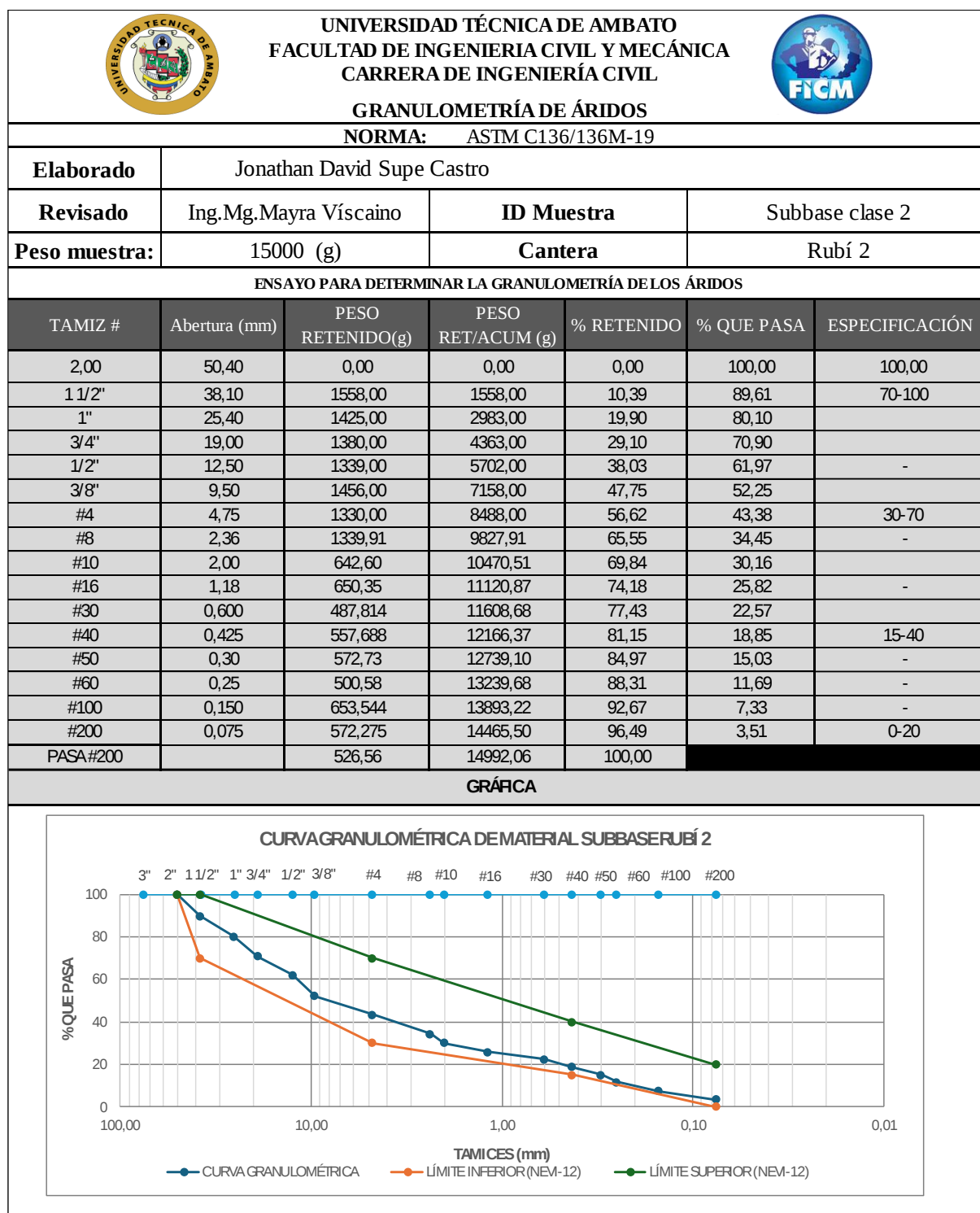
Granulometría de la cantera Rumipamba



 Subbase


Granulometría de la cantera Rubí 2



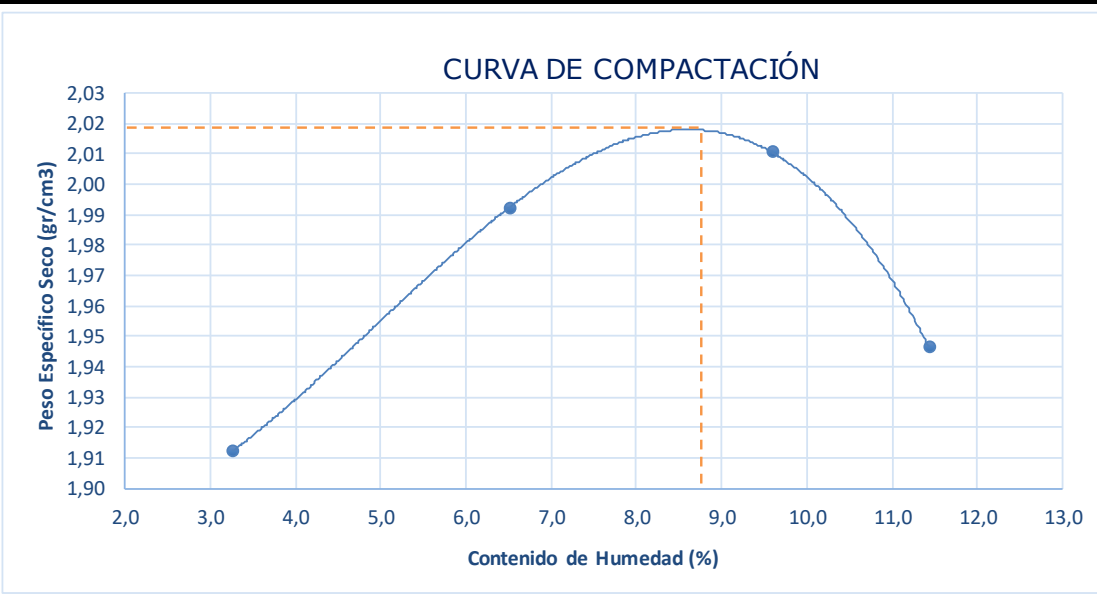


Anexo 4: Proctor Modificado

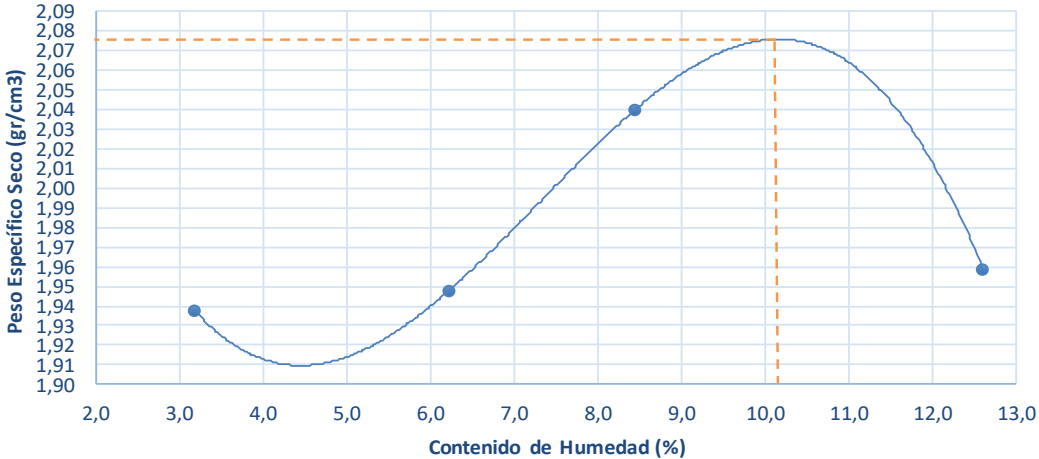
Cantera Mollepamba

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Elaborado	Jonathan David Supe Castro							
Revisado	Ing. Mg. Mayra Viscaíno	Norma	ASTM D1517-12					
ID.Muestra	Base clase 1B	Cantera	Mollepamba					
PROCTOR MODIFICADO								
Número de golpes:	56	Altura de caída:	18 "					
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10 lb					
Peso inicial deseado (gr):	6000	Peso del molde (gr):	17159					
		Volumen del molde (cm3):	1943,86					
Proceso de Compactación								
Numero de ensayo	1	2	3	4				
% Rango en aumento	3	6	9	12				
Suelo húmedo + molde (gr)	20989	21117	21532	21462				
Peso suelo húmedo (gr)	3830	3958	4373	4303				
Peso unitario húm. (gr/cm3)	1,970	2,036	2,250	2,214				
Determinacion del Contenido de Humedad								
Numero de recipiente	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Peso del recipiente (gr)	7,60	8,00	7,50	7,60	7,40	7,20	7,40	7,60
Peso suelo húm. + recip (gr)	87,30	86,10	128,40	91,80	74,30	71,10	70,00	97,20
Peso suelo seco + recip (gr)	84,10	84,00	122,00	87,60	68,20	65,20	62,70	88,20
Peso del agua (gr)	3,20	2,1	6,4	4,2	6,1	5,9	7,3	9
Peso suelo seco (gr)	76,5	76	114,5	80	60,8	58	55,3	80,6
Contenido de agua (%)	4,18	2,76	5,59	5,25	10,03	10,17	13,20	11,17
w (%) Promedio	3,473		5,420		10,103		12,183	
Peso unitario Seco (gr/cm3)	1,904		1,931		2,043		1,973	
Resultados								
Densidad Seca Máxima (gr/cm3):			2,043					
Humedad Óptima:			10,00					
GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
CURVA DE COMPACTACIÓN The graph plots Dry Density (Peso Especifico Seco in gr/cm3) on the Y-axis against Moisture Content (Contenido de Humedad in %) on the X-axis. The Y-axis ranges from 1.89 to 2.06 in increments of 0.01. The X-axis ranges from 2.0 to 13.0 in increments of 1.0. A blue curve represents the compactation data, starting at approximately (3.5, 1.90) and ending at (12.2, 1.97). A dashed orange line indicates the peak of the curve at 10.0% moisture content and 2.043 gr/cm3 dry density.								

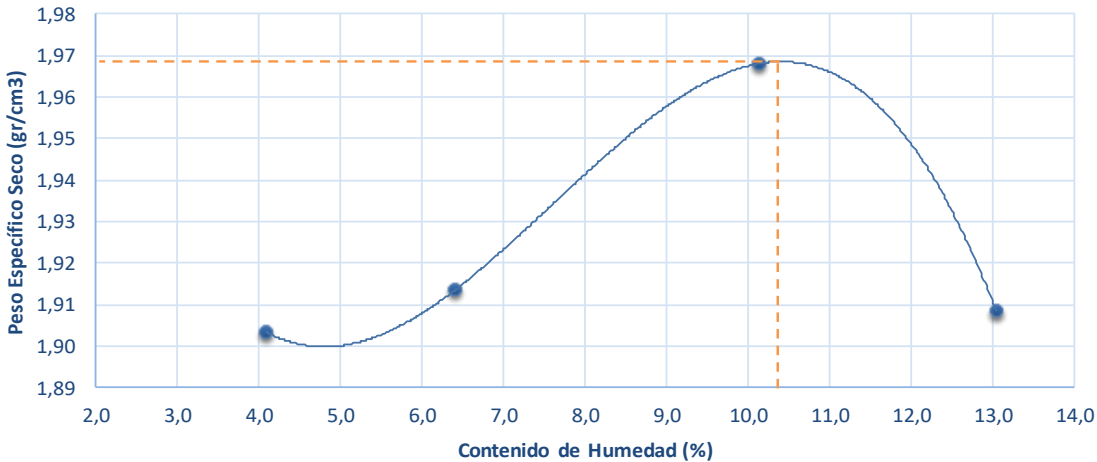
 Subbase

		UNIVERSIDA TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																	
Elaborado	Jonathan David Supe Castro																		
Revisado	Ing. Mg. Mayra Viscaino	Norma	ASTM D1517-12																
ID.Muestra	Subbase clase 2	Cantera	Mollepamba																
PROCTOR MODIFICADO																			
Número de golpes:	56	Altura de caída:	18																
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10																
Peso inicial deseado (gr):	6000	Peso del molde (gr):	17159																
		Volumen del molde (cm3):	1943,86																
Proceso de Compactación																			
Numero de ensayo	1	2	3	4															
% Rango en aumento	3	6	9	12															
Suelo húmedo + molde (gr)	20997	21284	21442	21375															
Peso suelo húmedo (gr)	3838	4125	4283	4216															
Peso unitario húm. (gr/cm3)	1,974	2,122	2,203	2,169															
Determinacion del Contenido de Humedad																			
Numero de recipiente	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8											
Peso del recipiente (gr)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00											
Peso suelo húm. + recip (gr)	93,70	100,80	93,34	85,95	105,80	99,40	141,40	126,90											
Peso suelo seco + recip (gr)	90,70	97,80	88,00	80,60	96,60	90,99	127,75	113,50											
Peso del agua (gr)	3,00	3	5,34	5,35	9,2	8,41	13,65	13,4											
Peso suelo seco (gr)	88,7	95,8	86	78,6	94,6	88,99	125,75	111,5											
Contenido de agua (%)	3,38	3,13	6,21	6,81	9,73	9,45	10,85	12,02											
w (%) Promedio	3,257		6,508		9,588		11,436												
Peso unitario Seco (gr/cm3)	1,912		1,992		2,011		1,946												
Resultados																			
Densidad Seca Máxima (gr/cm3):			2,019																
Humedad Óptima:			8,85																
GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA																			
 CURVA DE COMPACTACIÓN The graph plots Dry Density (Peso Especifico Seco in gr/cm3) on the y-axis against Moisture Content (Contenido de Humedad in %) on the x-axis. The y-axis ranges from 1.90 to 2.03 in increments of 0.01. The x-axis ranges from 2.0 to 13.0 in increments of 1.0. A blue curve with data points shows the relationship. A horizontal dashed orange line at 2.019 gr/cm3 and a vertical dashed orange line at 8.85% intersect at the peak of the curve. <table border="1"> <caption>Data points from the Compaction Curve</caption> <thead> <tr> <th>Contenido de Humedad (%)</th> <th>Peso Especifico Seco (gr/cm3)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3.38</td> <td>1.912</td> </tr> <tr> <td>3.13</td> <td>1.974</td> </tr> <tr> <td>6.21</td> <td>2.122</td> </tr> <tr> <td>6.81</td> <td>2.169</td> </tr> <tr> <td>9.73</td> <td>2.011</td> </tr> <tr> <td>10.85</td> <td>1.946</td> </tr> </tbody> </table>						Contenido de Humedad (%)	Peso Especifico Seco (gr/cm3)	3.38	1.912	3.13	1.974	6.21	2.122	6.81	2.169	9.73	2.011	10.85	1.946
Contenido de Humedad (%)	Peso Especifico Seco (gr/cm3)																		
3.38	1.912																		
3.13	1.974																		
6.21	2.122																		
6.81	2.169																		
9.73	2.011																		
10.85	1.946																		

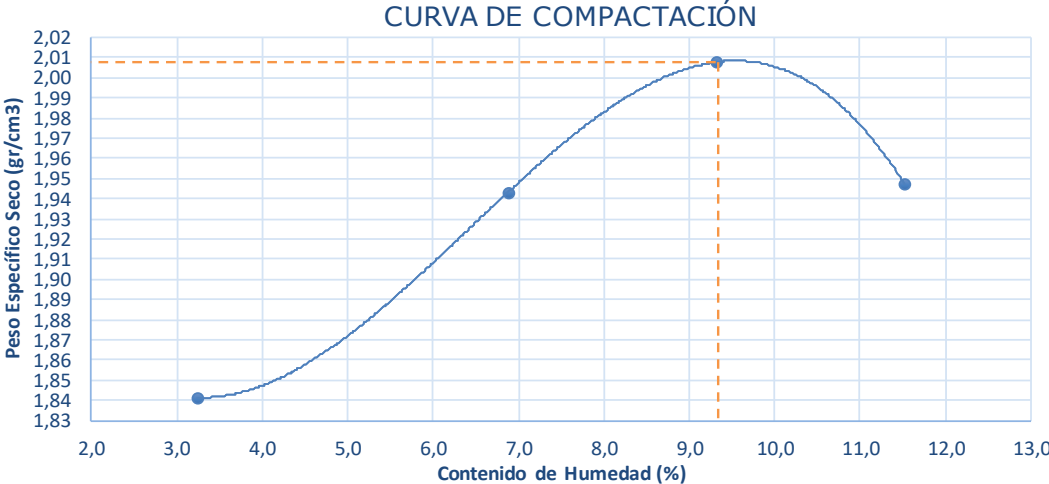
 Cantera Rumipamba

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Elaborado	Jonathan David Supe Castro							
Revisado	Ing. Mg. Mayra Viscaíno	Norma	ASTM D1517-12					
ID.Muestra	Base clase 1B	Cantera	Rumipamba					
PROCTOR MODIFICADO								
Número de golpes:	56	Altura de caída:	18 "					
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10 lb					
Peso inicial deseado (gr):	6000	Peso del molde (gr):	17159					
		Volumen del molde (cm3):	1943,86					
Proceso de Compactación								
Numero de ensayo	1	2	3	4				
% Rango en aumento	3	6	9	12				
Suelo húmedo + molde (gr)	21045	21182	21460	21446				
Peso suelo húmedo (gr)	3886	4023	4301	4287				
Peso unitario húm. (gr/cm3)	1,999	2,070	2,213	2,205				
Determinacion del Contenido de Humedad								
Numero de recipiente	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Peso del recipiente (gr)	2,00	2,00	2,00	2,00	9,90	7,60	10,10	7,20
Peso suelo húm. + recip (gr)	177,00	176,50	147,42	169,23	125,70	116,90	91,90	93,10
Peso suelo seco + recip (gr)	171,20	171,50	138,30	160,10	117,40	107,70	84,10	82,10
Peso del agua (gr)	5,80	5	9,12	9,13	8,3	9,2	7,8	11
Peso suelo seco (gr)	169,2	169,5	136,3	158,1	107,5	100,1	74	74,9
Contenido de agua (%)	3,43	2,95	6,69	5,77	7,72	9,19	10,54	14,69
w (%) Promedio	3,189		6,233		8,456		12,613	
Peso unitario Seco (gr/cm3)	1,937		1,948		2,040		1,958	
Resultados								
Densidad Seca Máxima (gr/cm3):			2,075					
Humedad Óptima:			10,10					
GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
CURVA DE COMPACTACIÓN  The graph plots Dry Density (Peso Especifico Seco) in g/cm³ on the y-axis (ranging from 1.90 to 2.09) against Moisture Content (Contenido de Humedad) in % on the x-axis (ranging from 2.0 to 13.0). A smooth curve is drawn through the data points, peaking at 10.1% moisture content and 2.075 g/cm³ dry density. A vertical dashed line marks the optimum moisture content at 10.1%, and a horizontal dashed line marks the maximum dry density at 2.075 g/cm³.								

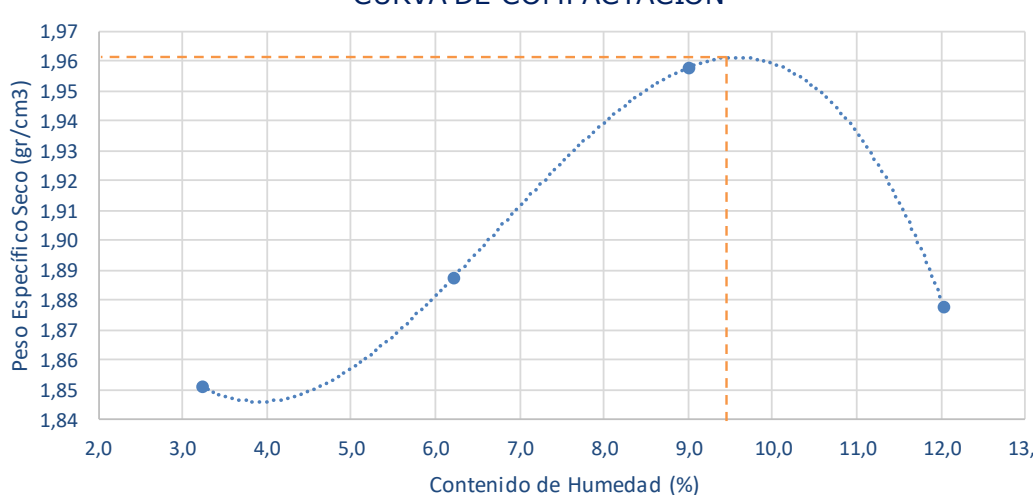
 Subbase

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 													
Elaborado	Jonathan David Supe Castro												
Revisado	Ing. Mg. Mayra Viscaíno	Norma	ASTM D1517-12										
ID.Muestra	Subbase clase 2	Cantera	Rumipamba										
PROCTOR MODIFICADO													
Número de golpes:	56	Altura de caída:	18 "										
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10 lb										
Peso inicial deseado (gr):	6000	Peso del molde (gr):	17159										
		Volumen del molde (cm ³):	1943,86										
Proceso de Compactación													
Numero de ensayo	1	2	3										
% Rango en aumento	3	6	9										
Suelo húmedo + molde (gr)	21010	21117	21373										
Peso suelo húmedo (gr)	3851	3958	4214										
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,981	2,036	2,168										
Determinación del Contenido de Humedad													
Numero de recipiente	A1	A2	A3										
Peso del recipiente (gr)	2,00	2,00	2,00										
Peso suelo húm. + recip (gr)	96,10	122,50	85,60										
Peso suelo seco + recip (gr)	91,80	118,57	79,45										
Peso del agua (gr)	4,30	3,93	6,15										
Peso suelo seco (gr)	89,8	116,57	77,45										
Contenido de agua (%)	4,79	3,37	7,94										
w (%) Promedio	4,0799	6,4071	10,1492										
Peso unitario Seco (gr/cm ³)	1,9035	1,9136	1,9681										
Resultados													
Densidad Seca Máxima (gr/cm³):		1,968											
Humedad Óptima:		10,40											
GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA													
CURVA DE COMPACTACIÓN  The graph plots Dry Density (Peso Específico Seco) in g/cm³ on the y-axis (ranging from 1.89 to 1.98) against Moisture Content (Contenido de Humedad) in % on the x-axis (ranging from 2.0 to 14.0). A smooth curve is drawn through four data points. The peak of the curve is marked with a vertical dashed orange line at 10.4% moisture and a horizontal dashed orange line at 1.968 g/cm³ dry density. <table border="1"> <caption>Data points from the Compaction Curve</caption> <thead> <tr> <th>Contenido de Humedad (%)</th> <th>Peso Específico Seco (gr/cm³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4.0</td> <td>1.9035</td> </tr> <tr> <td>6.4</td> <td>1.9136</td> </tr> <tr> <td>10.4</td> <td>1.9681</td> </tr> <tr> <td>13.0</td> <td>1.9085</td> </tr> </tbody> </table>				Contenido de Humedad (%)	Peso Específico Seco (gr/cm ³)	4.0	1.9035	6.4	1.9136	10.4	1.9681	13.0	1.9085
Contenido de Humedad (%)	Peso Específico Seco (gr/cm ³)												
4.0	1.9035												
6.4	1.9136												
10.4	1.9681												
13.0	1.9085												

 Cantera Rubí 2

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
Elaborado	Jonathan David Supe Castro							
Revisado	Ing. Mg. Mayra Viscaíno	Norma	ASTM D1517-12					
ID.Muestra	Base clase 1B	Cantera	Rubí 2					
PROCTOR MODIFICADO								
Número de golpes:	56	Altura de caída:	18 "					
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10 lb					
Peso inicial deseado (gr):	6000	Peso del molde (gr):	17159					
		Volumen del molde (cm3):	1943,86					
Proceso de Compactación								
Numero de ensayo	1	2	3	4				
% Rango en aumento	3	6	9	12				
Suelo húmedo + molde (gr)	20854	21196	21426	21381				
Peso suelo húmedo (gr)	3695	4037	4267	4222				
Peso unitario húm. (gr/cm3)	1,901	2,077	2,195	2,172				
Determinacion del Contenido de Humedad								
Numero de recipiente	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
Peso del recipiente (gr)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	31,60	31,60
Peso suelo húm. + recip (gr)	146,20	150,00	127,90	149,40	125,92	156,74	143,70	134,10
Peso suelo seco + recip (gr)	145,58	141,58	118,52	141,45	114,19	145,02	130,90	124,66
Peso del agua (gr)	0,62	8,42	9,38	7,95	11,73	11,72	12,8	9,44
Peso suelo seco (gr)	143,58	139,58	116,52	139,45	112,19	143,02	99,3	93,06
Contenido de agua (%)	0,43	6,03	8,05	5,70	10,46	8,19	12,89	10,14
w (%) Promedio	3,232		6,876		9,325		11,517	
Peso unitario Seco (gr/cm3)	1,841		1,943		2,008		1,948	
Resultados								
Densidad Seca Máxima (gr/cm3):			2,008					
Humedad Óptima:			9,55					
GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
CURVA DE COMPACTACIÓN  The graph plots Dry Density (Peso Específico Seco) in g/cm³ on the y-axis (ranging from 1.83 to 2.02) against Moisture Content (Contenido de Humedad) in % on the x-axis (ranging from 2.0 to 13.0). A blue curve represents the compaction data, with a peak marked by a blue dot at approximately 9.55% moisture content and 2.008 g/cm³ dry density. Dashed orange lines extend from this peak to the axes. Several other data points are plotted along the curve.								

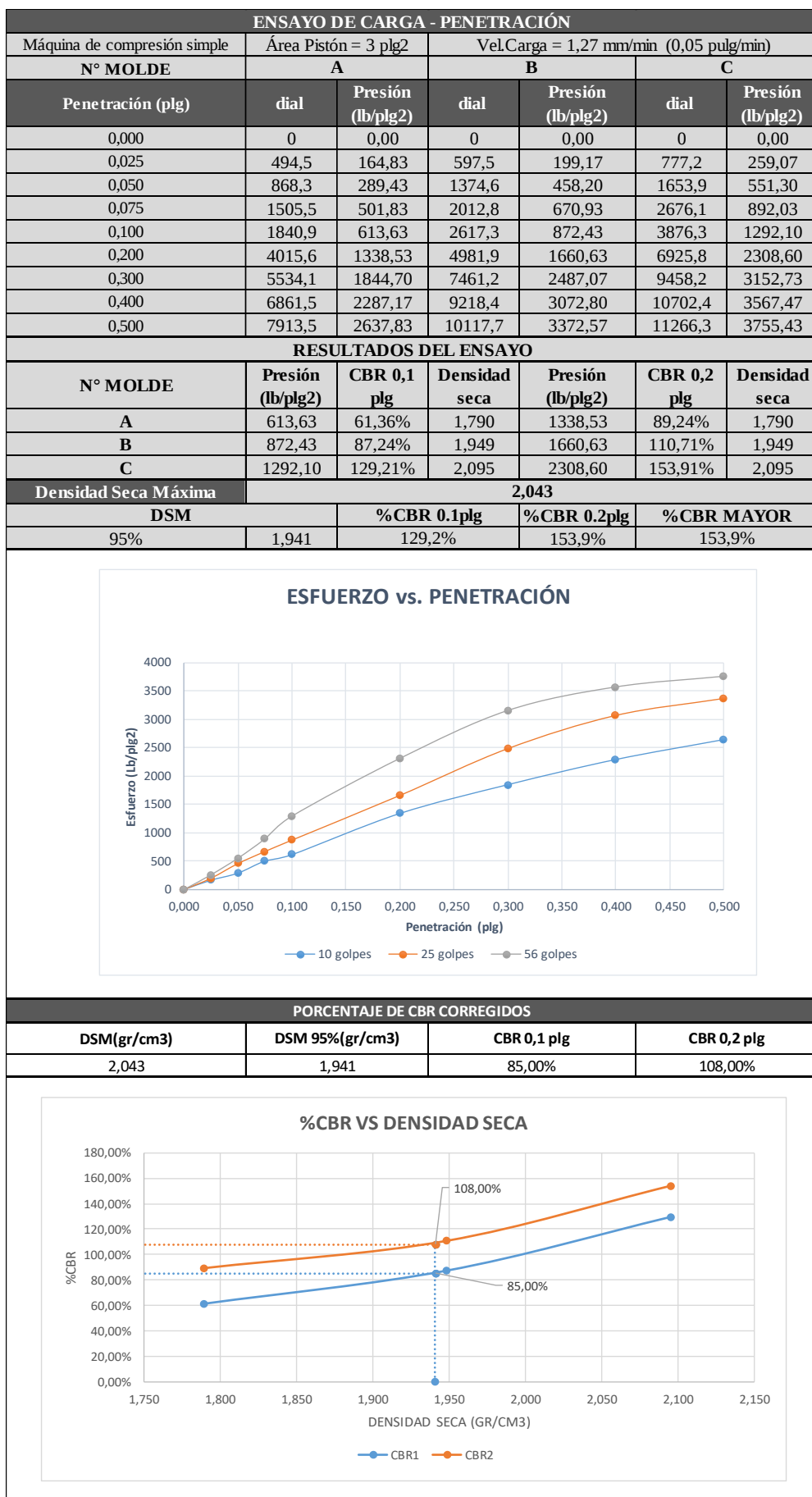
 Subbase

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL												
Elaborado	Jonathan David Supe Castro													
Revisado	Ing. Mg. Mayra Viscaíno	Norma	ASTM D1517-12											
ID.Muestra	Subbase clase 2	Cantera	Rubi 2											
PROCTOR MODIFICADO														
Número de golpes:	56	Altura de caída:	18 "											
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10 lb											
Peso inicial deseado (gr):	6000	Peso del molde (gr):	17159											
		Volumen del molde (cm ³):	1943,86											
Proceso de Compactación														
Numero de ensayo	1	2	3	4										
% Rango en aumento	3	6	9	12										
Suelo húmedo + molde (gr)	20874	21056	21308	21249										
Peso suelo húmedo (gr)	3715	3897	4149	4090										
Peso unitario húm. (gr/cm ³)	1,911	2,005	2,134	2,104										
Determinacion del Contenido de Humedad														
Numero de recipiente	S	I	S	I	S	I	S	I						
Peso del recipiente (gr)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00						
Peso suelo húm. + recip (gr)	123,80	130,50	106,20	110,30	164,44	181,34	154,10	176,10						
Peso suelo seco + recip (gr)	119,20	127,31	100,28	103,79	149,17	168,60	137,50	157,70						
Peso del agua (gr)	4,60	3,19	5,92	6,51	15,27	12,74	16,6	18,4						
Peso suelo seco (gr)	117,2	125,31	98,28	101,79	147,17	166,6	135,5	155,7						
Contenido de agua (%)	3,92	2,55	6,02	6,40	10,38	7,65	12,25	11,82						
w (%) Promedio	3,235		6,210		9,011		12,034							
Peso unitario Seco (gr/cm ³)	1,851		1,888		1,958		1,878							
Resultados														
Densidad Seca Máxima (gr/cm³):		1,962												
Humedad Óptima:		9,60												
GRÁFICO DENSIDAD SECA MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA														
CURVA DE COMPACTACIÓN  The graph plots Dry Density (Peso Específico Seco) in gr/cm³ on the y-axis (ranging from 1.84 to 1.97) against Moisture Content (Contenido de Humedad) in % on the x-axis (ranging from 2.0 to 13.0). A series of data points connected by a dotted line forms a curve that rises to a peak and then falls. The peak is marked with a vertical dashed orange line at 9.60% moisture and a horizontal dashed orange line at 1.962 gr/cm³ dry density. <table border="1"> <caption>Data points from the Compactation Curve</caption> <thead> <tr> <th>Contenido de Humedad (%)</th> <th>Peso Específico Seco (gr/cm³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3.2</td> <td>1.851</td> </tr> <tr> <td>6.2</td> <td>1.888</td> </tr> <tr> <td>9.6</td> <td>1.962</td> </tr> <tr> <td>12.0</td> <td>1.878</td> </tr> </tbody> </table>					Contenido de Humedad (%)	Peso Específico Seco (gr/cm³)	3.2	1.851	6.2	1.888	9.6	1.962	12.0	1.878
Contenido de Humedad (%)	Peso Específico Seco (gr/cm³)													
3.2	1.851													
6.2	1.888													
9.6	1.962													
12.0	1.878													

Anexo 5: California Bearing Ratio (CBR)

Cantera Mollepamba

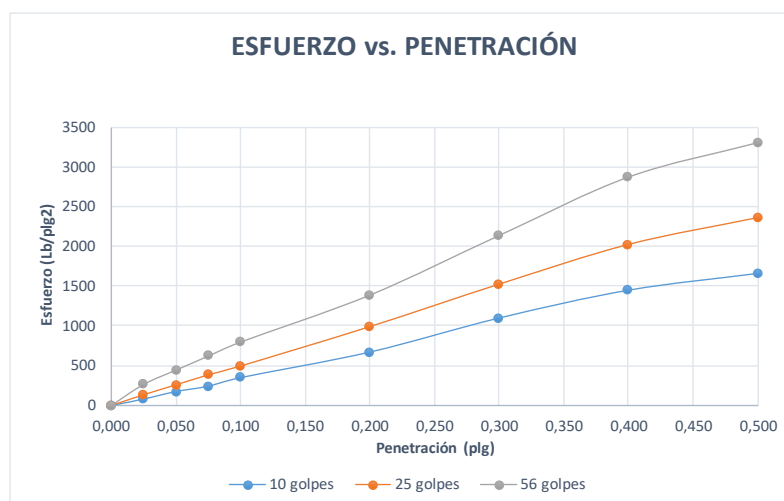
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)							
Elaborado		Jonathan David Supe Castro					
Revisado		Ing. Mg. Mayra Viscaíno					
ID. Muestra		Base clase 1B		Norma:		ASTM D-1883-16	
Cantera		Mollepamba		Wópt:		10,00	
MOLDE		A		B		C	
DIMENSIONES		Diámetro	15	Diámetro	15	Diámetro	15
		Altura	12,4	Altura	12,4	Altura	12,4
N° de golpes		10		25		56	
Muestra húmeda + molde (gr)		18441		21512		21628	
Masa Molde (gr)		14124		16827		16613	
Masa muestra húmeda (gr)		4317		4685		5015	
Volumen muestra (cm3)		2191,20		2191,20		2191,20	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)		1,970		2,138		2,289	
CONTENIDO DE HUMEDAD		Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente		A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente		7,89	8,3	8,36	8,84	8,36	8,7
Masa suelo hum+recip. (gr)		196,86	218,52	182,75	215,91	62,119	64,957
Masa suelo seco+recip. (gr)		179,66	199,16	167,55	197,27	57,66	60,12
Masa de agua (gr)		17,2	19,36	15,2	18,64	4,459	4,837
Masa suelo seco (gr)		171,77	190,86	159,19	188,43	49,3	51,42
Contenido de humedad W%		10,01%	10,14%	9,55%	9,89%	9,04%	9,41%
Promedio W%		10,08%		9,72%		9,23%	
Peso unitario seco (gr/cm3)		1,790		1,949		2,095	
DESPÚES DE LA SATURACIÓN							
Muestra húmeda + molde (gr)		11491		14391		14434	
Masa Molde (gr)		6935		9638		9424	
Masa muestra húmeda (gr)		4556		4753		5010	
Volumen muestra (cm3)		2191,20		2191,20		2191,20	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)		2,079		2,169		2,286	
CONTENIDO DE HUMEDAD		Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente		A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente		3	3	3	3	3	3
Masa suelo hum+recip. (gr)		121,8	119,2	130,6	133,1	109,2	125,7
Masa suelo seco+recip. (gr)		109,3	101,7	119,3	114,9	97,8	109,5
Masa de agua (gr)		12,5	17,5	11,3	18,2	11,4	16,2
Masa suelo seco (gr)		106,3	98,7	116,3	111,9	94,8	106,5
Contenido de humedad W%		11,76%	17,73%	9,72%	16,26%	12,03%	15,21%
Promedio W%		14,74%		12,99%		13,62%	



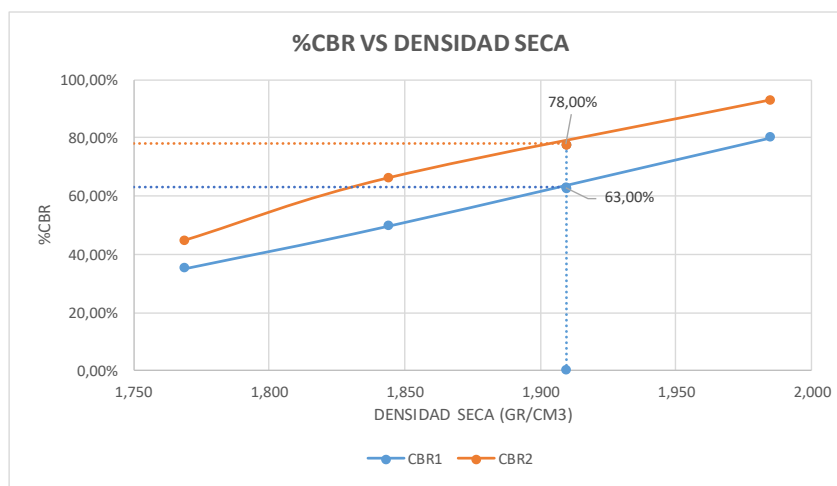


		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)							
Elaborado	Jonathan David Supe Castro						
Revisado	Ing. Mg. Mayra Viscaíno						
ID. Muestra	Subbase clase 2			Norma:	ASTM D-1883-16		
Cantera	Mollepamba			Wópt:	8,85		
MOLDE	A		B		C		
DIMENSIONES	Diámetro	15	Diámetro	15	Diámetro	15	
	Altura	13	Altura	12,5	Altura	13,5	
N° de golpes	10		25		56		
Muestra húmeda + molde (gr)	17919		19751		21818		
Masa Molde (gr)	13488		15328		16644		
Masa muestra húmeda (gr)	4431		4423		5174		
Volumen muestra (cm3)	2297,22		2208,87		2385,58		
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,929		2,002		2,169		
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F	
Masa del recipiente	3	3	3	3	3	3	
Masa suelo hum+recip. (gr)	126,4	147	109,4	116,3	112,4	122,6	
Masa suelo seco+recip. (gr)	116,2	135	101,4	106,9	102,7	112,9	
Masa de agua (gr)	10,2	12	8	9,4	9,7	9,7	
Masa suelo seco (gr)	113,2	132	98,4	103,9	99,7	109,9	
Contenido de humedad W%	9,01%	9,09%	8,13%	9,05%	9,73%	8,83%	
Promedio W%	9,05%		8,59%		9,28%		
Peso unitario seco (gr/cm3)	1,769		1,844		1,985		
DESPÚES DE LA SATURACIÓN							
Muestra húmeda + molde (gr)	10878		12840		14353		
Masa Molde (gr)	6419		8259		9575		
Masa muestra húmeda (gr)	4459		4581		4778		
Volumen muestra (cm3)	2297,22		2208,87		2385,58		
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,941		2,074		2,003		
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F	
Masa del recipiente	3	3	3	3	3	3	
Masa suelo hum+recip. (gr)	133,7	108	126,3	118,9	118,5	123,3	
Masa suelo seco+recip. (gr)	115,8	95,4	110,7	105,7	102,4	111,9	
Masa de agua (gr)	17,9	12,6	15,6	13,2	16,1	11,4	
Masa suelo seco (gr)	112,8	92,4	107,7	102,7	99,4	108,9	
Contenido de humedad W%	15,87%	13,64%	14,48%	12,85%	16,20%	10,47%	
Promedio W%	14,75%		13,67%		13,33%		

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg ²		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg ²)	dial	Presión (lb/plg ²)	dial	Presión (lb/plg ²)
0,000	0,00	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	243,3	81,10	405,8	135,27	797,9	265,97
0,050	525,6	175,20	779,6	259,87	1337,4	445,80
0,075	726,9	242,30	1156,2	385,40	1867,6	622,53
0,100	1050,8	350,27	1490,7	496,90	2399,2	799,73
0,200	2013,1	671,03	2977,1	992,37	4176,9	1392,30
0,300	3295,8	1098,60	4579,4	1526,47	6432,1	2144,03
0,400	4343,2	1447,73	6077,2	2025,73	8641,4	2880,47
0,500	4974,6	1658,20	7088,9	2362,97	9941,8	3313,93
RESULTADOS DEL ENSAYO						
N° MOLDE	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	350,27	35,03%	1,769	671,03	44,74%	1,769
B	496,90	49,69%	1,844	992,37	66,16%	1,844
C	799,73	79,97%	1,985	1392,30	92,82%	1,985
Densidad Seca Máxima	2,010					
DSM	%CBR 0.1plg		%CBR 0.2plg		%CBR MAYOR	
95%	1,910		80,0%		92,8%	



PORCENTAJE DE CBR CORREGIDOS			
DSM(gr/cm ³)	DSM 95%(gr/cm ³)	CBR 0,1 plg	CBR 0,2 plg
2,010	1,910	63,00%	78,00%

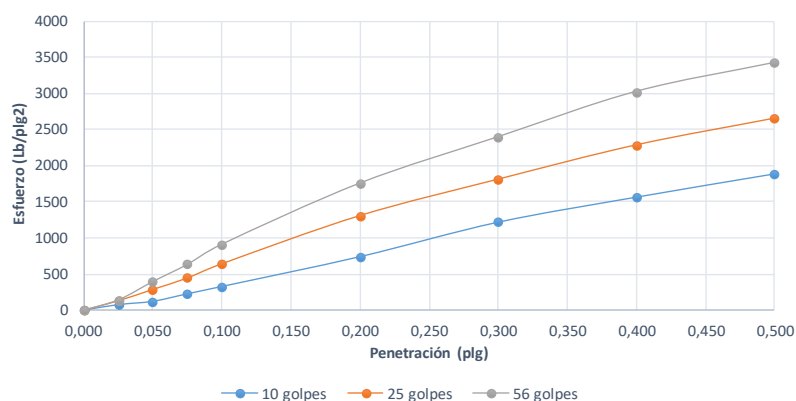


 Cantera Rumipamba

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)						
Elaborado	Jonathan David Supe Castro					
Revisado	Ing. Mg. Mayra Viscaíno					
ID. Muestra	Base clase 1B			Norma:	ASTM D-1883-16	
Cantera	Rumipamba			Wópt:	10,10	
MOLDE	A		B		C	
DIMENSIONES	Diámetro	15	Diámetro	15	Diámetro	15
	Altura	11,2	Altura	11,2	Altura	11,2
N° de golpes	10		25		56	
Muestra húmeda + molde (gr)	19639		22718		22810	
Masa Molde (gr)	15775,281		18478,123		18264,864	
Masa muestra húmeda (gr)	3863,719		4239,877		4545,136	
Volumen muestra (cm3)	1979,15		1979,15		1979,15	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,952		2,142		2,297	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	3	3	3	3	3	3
Masa suelo hum+recip. (gr)	133,7	121,9	129,7	106,5	122,2	132,5
Masa suelo seco+recip. (gr)	122,5	110,8	118,2	96,8	109,9	121,5
Masa de agua (gr)	11,2	11,1	11,5	9,7	12,3	11
Masa suelo seco (gr)	119,5	107,8	115,2	93,8	106,9	118,5
Contenido de humedad W%	9,37%	10,30%	9,98%	10,34%	11,51%	9,28%
Promedio W%	9,83%		10,16%		10,39%	
Peso unitario seco (gr/cm3)	1,777		1,945		2,080	
DESPÚES DE LA SATURACIÓN						
Muestra húmeda + molde (gr)	10892		13900		14008	
Masa Molde (gr)	6935,281		9638,123		9424,864	
Masa muestra húmeda (gr)	3956,719		4261,877		4583,136	
Volumen muestra (cm3)	1979,15		1979,15		1979,15	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,999		2,153		2,316	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente	3	3	3	3	3	3
Masa suelo hum+recip. (gr)	100,9	76,5	98	113	116,1	116,1
Masa suelo seco+recip. (gr)	88,7	67,4	86,1	103,3	105,3	103,3
Masa de agua (gr)	12,2	9,1	11,9	9,7	10,8	12,8
Masa suelo seco (gr)	85,7	64,4	83,1	100,3	102,3	100,3
Contenido de humedad W%	14,24%	14,13%	14,32%	9,67%	10,56%	12,76%
Promedio W%	14,18%		12,00%		11,66%	

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg ²		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
Nº MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg ²)	dial	Presión (lb/plg ²)	dial	Presión (lb/plg ²)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	225,6	75,20	387,6	129,20	425,8	141,93
0,050	365,7	121,90	858,9	286,30	1187,4	395,80
0,075	679,5	226,50	1334,7	444,90	1898,7	632,90
0,100	985,3	328,43	1925,3	641,77	2735,6	911,87
0,200	2227,3	742,43	3925,6	1308,53	5269,4	1756,47
0,300	3663,6	1221,20	5435,1	1811,70	7189,1	2396,37
0,400	4705,8	1568,60	6859,5	2286,50	9070,3	3023,43
0,500	5675,89	1891,96	7967,3	2655,77	10267,9	3422,63
RESULTADOS DEL ENSAYO						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	328,43	32,84%	1,777	742,43	49,50%	1,777
B	641,77	64,18%	1,945	1308,53	87,24%	1,945
C	911,87	91,19%	2,080	1756,47	117,10%	2,080
Densidad Seca Máxima	2,075					
DSM	%CBR 0.1plg		%CBR 0.2plg		%CBR MAYOR	
95%	1,971		91,2%		117,1%	

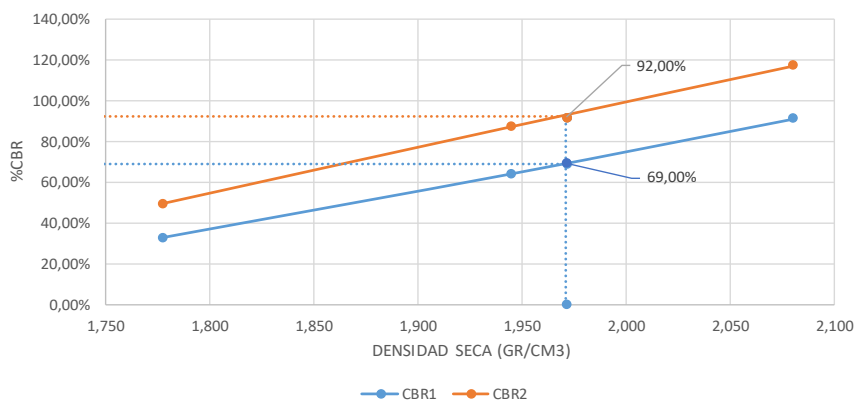
ESFUERZO vs. PENETRACIÓN



PORCENTAJE DE CBR CORREGIDOS

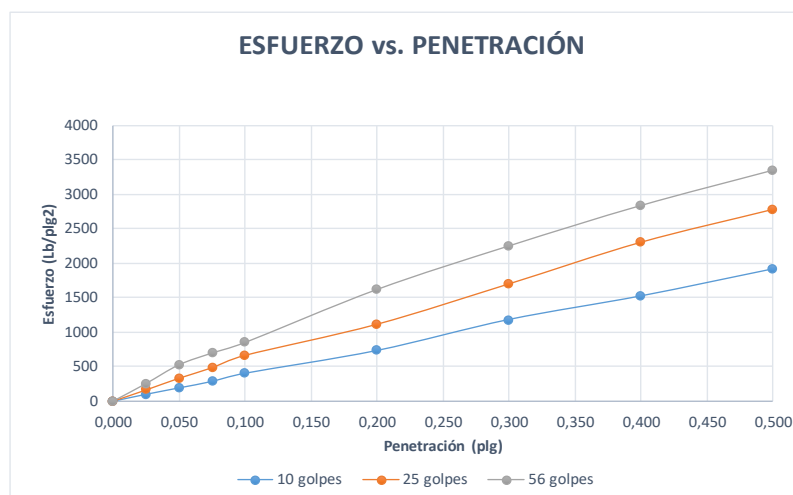
DSM(gr/cm ³)	DSM 95%(gr/cm ³)	CBR 0,1 plg	CBR 0,2 plg
2,075	1,971	69,00%	92,00%

%CBR VS DENSIDAD SECA

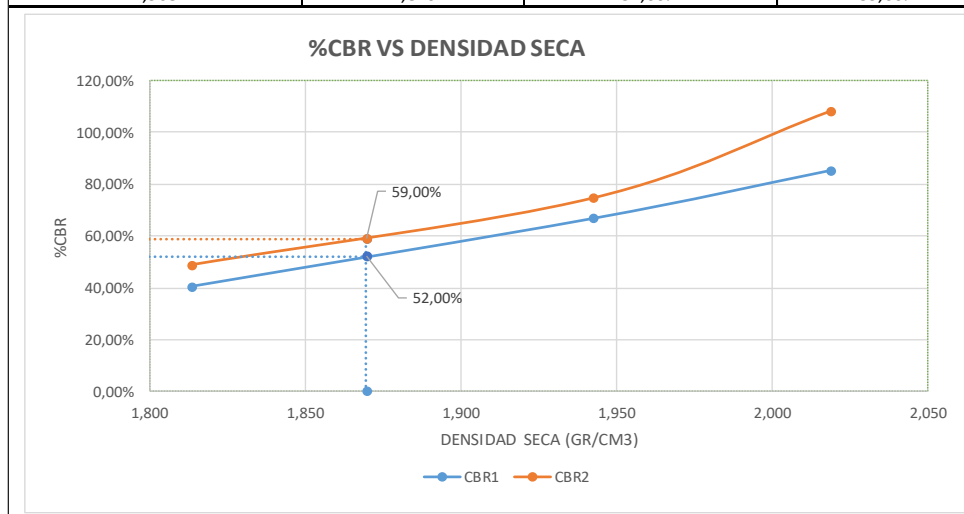


		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)							
Elaborado		Jonathan David Supe Castro					
Revisado		Ing. Mg. Mayra Viscaíno					
ID. Muestra		Subbase clase 2		Norma:		ASTM D-1883-16	
Cantera		Rumipamba		Wópt:		10,40	
MOLDE		A		B		C	
DIMENSIONES		Diámetro	15	Diámetro	15	Diámetro	15
		Altura	11,2	Altura	11,2	Altura	11,2
N° de golpes		10		25		56	
Muestra húmeda + molde (gr)		19739		22688		22666	
Masa Molde (gr)		15778		18478		18266	
Masa muestra húmeda (gr)		3961		4210		4400	
Volumen muestra (cm3)		1979,15		1979,15		1979,15	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)		2,001		2,127		2,223	
CONTENIDO DE HUMEDAD		Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente		A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente		3	3	3	3	3	3
Masa suelo hum+recip. (gr)		121,2	114,4	135,48	118,67	97,411	117,9
Masa suelo seco+recip. (gr)		109,9	104,1	124,1	108,5	88,2	108
Masa de agua (gr)		11,3	10,3	11,38	10,17	9,211	9,9
Masa suelo seco (gr)		106,9	101,1	121,1	105,5	85,2	105
Contenido de humedad W%		10,57%	10,19%	9,40%	9,64%	10,81%	9,43%
Promedio W%		10,38%		9,52%		10,12%	
Peso unitario seco (gr/cm3)		1,813		1,942		2,019	
DESPÚES DE LA SATURACIÓN							
Muestra húmeda + molde (gr)		11010		13899		13840	
Masa Molde (gr)		6937		9637		9425	
Masa muestra húmeda (gr)		4073		4262		4415	
Volumen muestra (cm3)		1979,15		1979,15		1979,15	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)		2,058		2,153		2,231	
CONTENIDO DE HUMEDAD		Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente		A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente		3	3	3	3	3	3
Masa suelo hum+recip. (gr)		87,5	97,9	127,1	91,5	109,8	112,9
Masa suelo seco+recip. (gr)		78,1	85	111,9	83,3	99,1	98,7
Masa de agua (gr)		9,4	12,9	15,2	8,2	10,7	14,2
Masa suelo seco (gr)		75,1	82	108,9	80,3	96,1	95,7
Contenido de humedad W%		12,52%	15,73%	13,96%	10,21%	11,13%	14,84%
Promedio W%		14,12%		12,08%		12,99%	

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg ²		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
Nº MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg ²)	dial	Presión (lb/plg ²)	dial	Presión (lb/plg ²)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	298,7	99,57	488,9	162,97	767,1	255,70
0,050	576,3	192,10	999,7	333,23	1585,6	528,53
0,075	856,7	285,57	1458,3	486,10	2098,8	699,60
0,100	1209,8	403,27	1998,7	666,23	2557,7	852,57
0,200	2196,5	732,17	3356,1	1118,70	4868,6	1622,87
0,300	3535,3	1178,43	5115,8	1705,27	6768,9	2256,30
0,400	4555,9	1518,63	6930,4	2310,13	8530,3	2843,43
0,500	5723,4	1907,80	8363,4	2787,80	10067,8	3355,93
RESULTADOS DEL ENSAYO						
Nº MOLDE	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	403,27	40,33%	1,813	732,17	48,81%	1,813
B	666,23	66,62%	1,942	1118,70	74,58%	1,942
C	852,57	85,26%	2,019	1622,87	108,19%	2,019
Densidad Seca Máxima	1,968					
DSM	%CBR 0.1plg		%CBR 0.2plg		%CBR MAYOR	
95%	1,870		85,3%		108,2%	



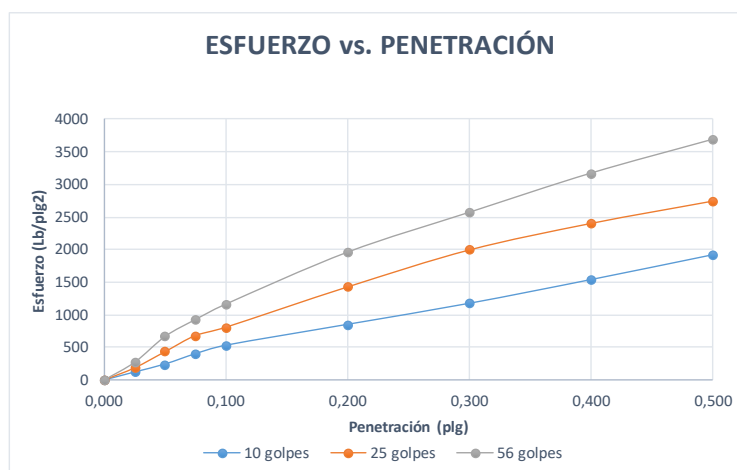
PORCENTAJE DE CBR CORREGIDOS			
DSM(gr/cm ³)	DSM 95% (gr/cm ³)	CBR 0,1 plg	CBR 0,2 plg
1,968	1,870	52,00%	59,00%



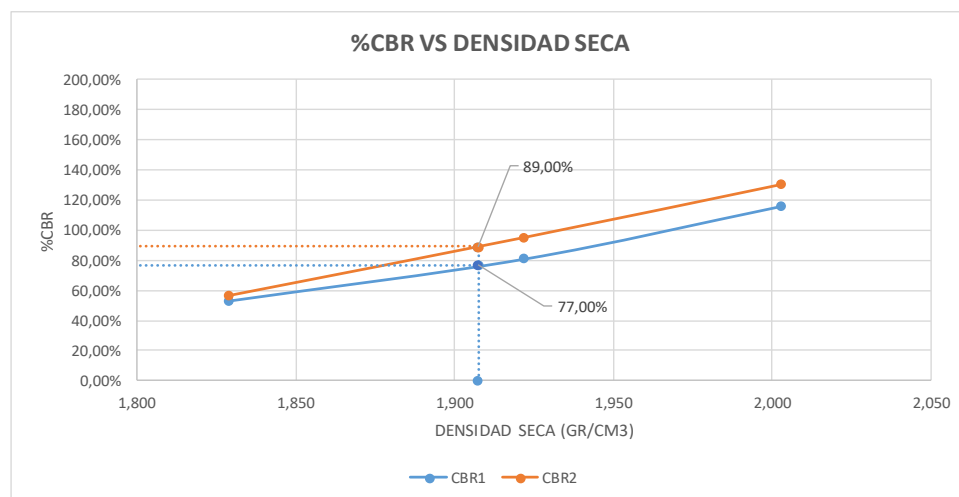
 Cantera Rubí 2

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)							
Elaborado		Jonathan David Supe Castro					
Revisado		Ing. Mg. Mayra Viscaíno					
ID. Muestra		Base clase 1B			Norma:	ASTM D-1883-16	
Cantera		Rubi 2			Wópt:	9,55	
MOLDE		A		B		C	
DIMENSIONES		Diámetro	15	Diámetro	15	Diámetro	15
		Altura	11,2	Altura	11,2	Altura	11,2
N° de golpes		10		25		56	
Muestra húmeda + molde (gr)		19756		22653		22611	
Masa Molde (gr)		15775		18478		18264	
Masa muestra húmeda (gr)		3981		4175		4347	
Volumen muestra (cm3)		1979,15		1979,15		1979,15	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)		2,011		2,109		2,196	
CONTENIDO DE HUMEDAD		Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde
N° Recipiente		A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente		3	3	3	3	3	3
Masa suelo hum+recip. (gr)		154,6	121,7	141,6	134	113,1	109
Masa suelo seco+recip. (gr)		140	111,6	127,3	124,3	103,6	99,5
Masa de agua (gr)		14,6	10,1	14,3	9,7	9,5	9,5
Masa suelo seco (gr)		137	108,6	124,3	121,3	100,6	96,5
Contenido de humedad W%		10,66%	9,30%	11,50%	8,00%	9,44%	9,84%
Promedio W%		9,98%		9,75%		9,64%	
Peso unitario seco (gr/cm3)		1,829		1,922		2,003	
DESPÚES DE LA SATURACIÓN							
Muestra húmeda + molde (gr)		11044		13903		13802	
Masa Molde (gr)		6935		9638		9424	
Masa muestra húmeda (gr)		4109		4265		4378	
Volumen muestra (cm3)		1979,15		1979,15		1979,15	
Peso unitario húmedo (gr/cm3)		2,076		2,155		2,212	
CONTENIDO DE HUMEDAD		Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
N° Recipiente		A	B	C	D	E	F
Masa del recipiente		3	3	3	3	3	3
Masa suelo hum+recip. (gr)		97,5	119,3	115,4	94,4	119,8	111,3
Masa suelo seco+recip. (gr)		87,8	103,1	99,3	83,6	106,1	103,2
Masa de agua (gr)		9,7	16,2	16,1	10,8	13,7	8,1
Masa suelo seco (gr)		84,8	100,1	96,3	80,6	103,1	100,2
Contenido de humedad W%		11,44%	16,18%	16,72%	13,40%	13,29%	8,08%
Promedio W%		13,81%		15,06%		10,69%	

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg ²		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg ²)	dial	Presión (lb/plg ²)	dial	Presión (lb/plg ²)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	367,3	122,43	559,2	186,40	815,8	271,93
0,050	733,9	244,63	1306,3	435,43	2001,6	667,20
0,075	1209,6	403,20	2053,5	684,50	2780,2	926,73
0,100	1598,1	532,70	2434,8	811,60	3488,3	1162,77
0,200	2558,7	852,90	4293,0	1431,00	5876,7	1958,90
0,300	3526,2	1175,40	5998,5	1999,50	7707,1	2569,03
0,400	4616,4	1538,80	7223,1	2407,70	9508,4	3169,47
0,500	5758,4	1919,47	8253,4	2751,13	11063,2	3687,73
RESULTADOS DEL ENSAYO						
N° MOLDE	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	532,70	53,27%	1,829	852,90	56,86%	1,829
B	811,60	81,16%	1,922	1431,00	95,40%	1,922
C	1162,77	116,28%	2,003	1958,90	130,59%	2,003
Densidad Seca Máxima	2,008					
DSM	%CBR 0.1plg		%CBR 0.2plg		%CBR MAYOR	
95%	1,908	116,3%	130,6%		130,6%	

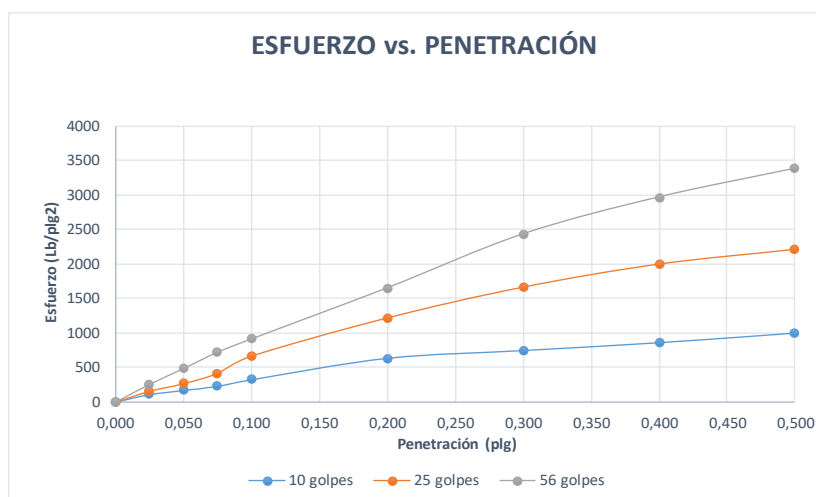


PORCENTAJE DE CBR CORREGIDOS			
DSM(gr/cm ³)	DSM 95 %(gr/cm ³)	CBR 0,1 plg	CBR 0,2 plg
2,008	1,908	77,00%	89,00%

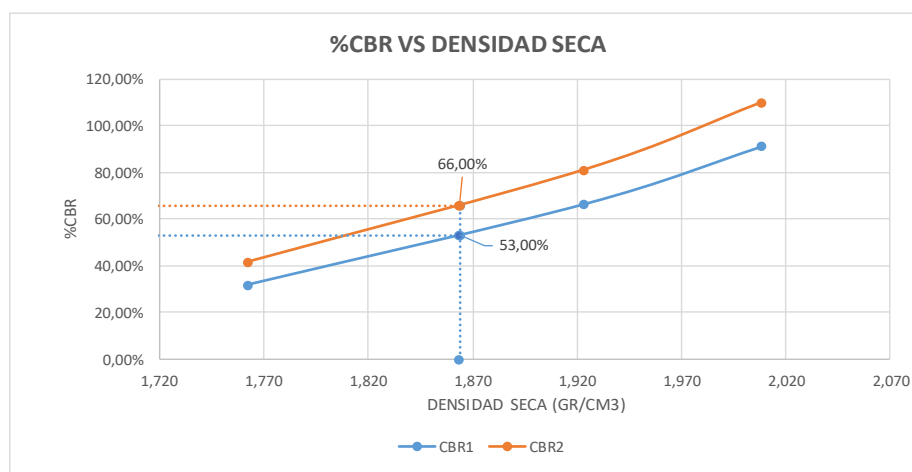


		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)							
Elaborado	Jonathan David Supe Castro						
Revisado	Ing. Mg. Mayra Viscaíno						
ID. Muestra	Subbase clase 2			Norma:	ASTM D-1883-16		
Cantera	Rubí 2			Wópt:	9,60		
MOLDE	A		B		C		
DIMENSIONES	Diámetro	15	Diámetro	15	Diámetro	15	
	Altura	12,5	Altura	12,5	Altura	12,5	
N° de golpes	10		25		56		
Muestra húmeda + molde (gr)	18398		21474		21419		
Masa Molde (gr)	14111		16813		16540		
Masa muestra húmeda (gr)	4287		4661		4879		
Volumen muestra (cm3)	2208,87		2208,87		2208,87		
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	1,941		2,110		2,209		
CONTENIDO DE HUMEDAD	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	Bandeja	Molde	
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F	
Masa del recipiente	3	3	3	3	3	3	
Masa suelo hum+recip. (gr)	132,9	127,5	142,5	137,8	109,5	130,57	
Masa suelo seco+recip. (gr)	121,6	115,5	130,3	125,77	99,7	119,2	
Masa de agua (gr)	11,3	12	12,2	12,03	9,8	11,37	
Masa suelo seco (gr)	118,6	112,5	127,3	122,77	96,7	116,2	
Contenido de humedad W%	9,53%	10,67%	9,58%	9,80%	10,13%	9,78%	
Promedio W%	10,10%		9,69%		9,96%		
Peso unitario seco (gr/cm3)	1,763		1,924		2,009		
DESPÚES DE LA SATURACIÓN							
Muestra húmeda + molde (gr)	11425		14369		14326		
Masa Molde (gr)	6995		9697		9424		
Masa muestra húmeda (gr)	4430		4672		4902		
Volumen muestra (cm3)	2208,87		2208,87		2208,87		
Peso unitario húmedo (gr/cm3)	2,006		2,115		2,219		
CONTENIDO DE HUMEDAD	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	
N° Recipiente	A	B	C	D	E	F	
Masa del recipiente	3	3	3	3	3	3	
Masa suelo hum+recip. (gr)	98,578	100,35	95,21	118,58	117,84	113,82	
Masa suelo seco+recip. (gr)	87,3	87,49	85,57	102,88	106,87	99,95	
Masa de agua (gr)	11,278	12,86	9,64	15,7	10,97	13,87	
Masa suelo seco (gr)	84,3	84,49	82,57	99,88	103,87	96,95	
Contenido de humedad W%	13,38%	15,22%	11,67%	15,72%	10,56%	14,31%	
Promedio W%	14,30%		13,70%		12,43%		

ENSAYO DE CARGA - PENETRACIÓN						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg ²		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
N° MOLDE	A		B		C	
Penetración (plg)	dial	Presión (lb/plg ²)	dial	Presión (lb/plg ²)	dial	Presión (lb/plg ²)
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	318,9	106,30	467,4	155,80	768,8	256,27
0,050	498,3	166,10	798,8	266,27	1453,2	484,40
0,075	675,7	225,23	1245,9	415,30	2163,6	721,20
0,100	958,1	319,37	1995,2	665,07	2738,8	912,93
0,200	1882,5	627,50	3655,6	1218,53	4955,1	1651,70
0,300	2216,8	738,93	4993,2	1664,40	7293,3	2431,10
0,400	2553,6	851,20	5992,8	1997,60	8892,9	2964,30
0,500	2965,3	988,43	6633,2	2211,07	10133,4	3377,80
RESULTADOS DEL ENSAYO						
N° MOLDE	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,1 plg	Densidad seca	Presión (lb/plg ²)	CBR 0,2 plg	Densidad seca
A	319,37	31,94%	1,763	627,50	41,83%	1,763
B	665,07	66,51%	1,924	1218,53	81,24%	1,924
C	912,93	91,29%	2,009	1651,70	110,11%	2,009
Densidad Seca Máxima	1,962					
DSM	%CBR 0.1		%CBR 0.2		%CBR MAYOR	
95%	1,864		91,3%		110,1%	



PORCENTAJE DE CBR CORREGIDOS			
DSM (gr/cm ³)	DSM 95% (gr/cm ³)	CBR 0,1	CBR 0,2
1,962	1,864	53,00%	66,00%



Anexo 6: Abrasión

 Cantera Mollepamba

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL NORMA: (ASTM C131/131M-20) 			
Ensayado por:	Jonathan David Supe Castro		
Revisado por:	Ing. Mg. Mayra Víscaíno		
Material	Base clase 1B	Cantera	Mollepamba
Determinación del porcentaje de desgaste (%)			
	Peso (gr)	Porcentaje (%)	
Masa Inicial	5000	100%	
Masa Final (Retiene el tamiz #12)	3710	74%	
Masa desgastada	1290	26%	
% Desgaste	25,80%		

 Subbase

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL NORMA: (ASTM C131/131M-20) 			
Ensayado por:	Jonathan David Supe Castro		
Revisado por:	Ing. Mg. Mayra Víscaíno		
Material	Subbase Clase 2	Cantera	Mollepamba
Determinación del porcentaje de desgaste (%)			
	Peso (gr)	Porcentaje (%)	
Masa Inicial	5000	100%	
Masa Final (Retiene el tamiz #12)	3122	62%	
Masa desgastada	1878	38%	
% Desgaste	37,56%		

 Cantera Rumipamba

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL NORMA: (ASTM C131/131M-20) 			
Ensayado por:	Jonathan David Supe Castro		
Revisado por:	Ing. Mg. Mayra Víscaíno		
Material	Base clase 1B	Cantera	Rumipamba
Determinación del porcentaje de desgaste (%)			
	Peso (gr)	Porcentaje (%)	
Masa Inicial	5000	100%	
Masa Final (Retiene el tamiz #12)	3498	70%	
Masa desgastada	1502	30%	
% Desgaste	30,04%		

 Subbase

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL NORMA: (ASTM C131/131M-20) 			
Ensayado por:	Jonathan David Supe Castro		
Revisado por:	Ing. Mg. Mayra Víscaíno		
Material	Subbase Clase 2	Cantera	Rumipamba
Determinación del porcentaje de desgaste (%)			
	Peso (gr)	Porcentaje (%)	
Masa Inicial	5000	100%	
Masa Final (Retiene el tamiz #12)	2965	59%	
Masa desgastada	2035	41%	
% Desgaste	40,70%		

 Cantera Rubí 2

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL NORMA: (ASTM C131/131M-20) 			
Ensayado por:	Jonathan David Supe Castro		
Revisado por:	Ing. Mg. Mayra Víscaíno		
Material	Base clase 1B	Cantera	Rubí 2
Determinación del porcentaje de desgaste (%)			
	Peso (gr)	Porcentaje (%)	
Masa Inicial	5000	100%	
Masa Final (Retiene el tamiz #12)	3354	67%	
Masa desgastada	1646	33%	
% Desgaste	32,92%		

 Subbase

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL NORMA: (ASTM C131/131M-20) 			
Ensayado por:	Jonathan David Supe Castro		
Revisado por:	Ing. Mg. Mayra Víscaíno		
Material	Subbase clase 2	Cantera	Rubí 2
Determinación del porcentaje de desgaste (%)			
	Peso (gr)	Porcentaje (%)	
Masa Inicial	5000	100%	
Masa Final (Retiene el tamiz #12)	2915	58%	
Masa desgastada	2085	42%	
% Desgaste	41,70%		

Anexo 7: Porcentaje de caras fracturadas.

Cantera Mollepamba

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL NORMA: (ASTM D5821)		
ENSAYO DE PORCENTAJE CARAS FRACTURADAS				
Realizado	Jonathan David Supe Castro		Material	Rípío triturado
Revisado	Ing. Mg. Mayra Viscaíno		Cantera	Mollepamba
Determinación del porcentaje de caras fracturadas (%)				
Tamiz	Total de muestra (g)	Peso de las partículas	Peso partículas no fracturadas (g)	Porcentaje de caras fracturadas
#		F	N	P
1	3011	2876	134	96%
3/4	1517	1352	164	89%
1/2	504	487	17	97%
3/8	214	197	17	92%
Total	5246	4912	332	94%

Cantera Rumipamba

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL NORMA: (ASTM D5821)		
ENSAYO DE PORCENTAJE CARAS FRACTURADAS				
Realizado	Jonathan David Supe Castro		Material	Rípío triturado
Revisado	Ing. Mg. Mayra Viscaíno		Cantera	Rumipamba
Determinación del porcentaje de caras fracturadas (%)				
Tamiz	Total de muestra (g)	Peso de las partículas	Peso partículas no fracturadas (g)	Porcentaje de caras fracturadas
#		F	N	P
1	3018	2712	306	90%
3/4	1520	1408	112	93%
1/2	534	423	110	79%
3/8	216	157	59	73%
Total	5288	4700	587	89%

Cantera Rubí 2

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL NORMA: (ASTM D5821)		
ENSAYO DE PORCENTAJE CARAS FRACTURADAS				
Realizado	Jonathan David Supe Castro		Material	Rípio triturado
Revisado	Ing. Mg. Mayra Viscaíno		Cantera	Rubi 2
Determinación del porcentaje de caras fracturadas (%)				
Tamiz	Total de muestra (g)	Peso de las partículas fracturadas (g)	Peso partículas no fracturadas (g)	Porcentaje de caras fracturadas
#		F	N	P
1	3003	2356	646	78%
3/4	1507	1328	179	88%
1/2	508	476	32	94%
3/8	215	201	14	93%
Total	5233	4361	871	83%

Anexo 8: Resistencia a los sulfatos.

 Cantera Mollepamba

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL DESGASTE POR SULFATOS NORMA: ASTM C88-18 								
Elaborado por		Jonathan Supe			Material		Rípio triturado	
Revisado por		Ing. Mg Mayra Viscaíno			Cantera		Mollepamba	
N° Tamiz	% Retenido	Aplica al ensayo >5% retenido	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Diferencia de pesos (g)	Masa porcentual (g)	Porcentaje que pasa el tamiz designado luego del ensayo %	Porcentaje ponderado de pérdida %
1	11,26	S	758,87	743,52	15,35	85,446	18	2
3/4	21,68	S	753,96	737,46	16,5	163,448	10,1	2,2
1/2	29,36	S	673,45	645,2	28,25	197,693	14,3	4,2
3/8	36,67	S	332,57	328,37	4,2	121,958	3,4	1,3
							TOTAL	9,7

 Agregado fino

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL DESGASTE POR SULFATOS NORMA: ASTM C88-18 								
Elaborado por		Jonathan Supe			Material		Polvo de piedra	
Revisado por		Ing. Mg Mayra Viscaíno			Cantera		Mollepamba	
N° Tamiz	% Retenido	Aplica al ensayo >5% retenido	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Diferencia de pesos (g)	Masa porcentual (g)	Porcentaje que pasa el tamiz designado luego del ensayo %	Porcentaje ponderado de pérdida %
4	55,69	S	103,45	100,29	3,16	57,611	5,5	3,1
8	67,36	S	102,27	101,95	0,32	68,893	0,5	0,3
16	75,89	S	105,66	102,18	3,48	80,184	4,3	3,3
30	80,45	S	102,66	102,18	0,48	82,592	0,6	0,5
50	86,35	S	101,22	99,54	1,68	87,399	1,9	1,7
							TOTAL	8,9

 **Agregado fino**



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DESGASTE POR SULFATOS

NORMA: ASTM C88-18



Elaborado por		Jonathan Supe			Material		Polvo de piedra	
Revisado por		Ing. Mg Mayra Viscaíno			Cantera		Rumipamba	
N° Tamiz	% Retenido	Aplica al ensayo >5% retenido	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Diferencia de pesos (g)	Masa porcentual (g)	Porcentaje que pasa el tamiz designado luego del ensayo %	Porcentaje ponderado de perdida %
4	51,91	S	102,43	100,43	2	53,17	3,8	2,0
8	60,51	S	101,75	100,35	1,4	61,569	2,3	1,4
16	69,96	S	106,38	104,26	2,12	74,427	2,8	2,0
30	75,30	S	100,38	96,56	3,82	75,587	5,1	3,8
50	84,60	S	102,89	96,39	6,5	87,047	7,5	6,3
							TOTAL	15,5

 Cantera Rubí 2

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL DESGASTE POR SULFATOS NORMA: ASTM C88-18 								
Elaborado por		Jonathan Supe			Material		Rípio triturado	
Revisado por		Ing. Mg Mayra Viscaíno			Cantera		Rubí 2	
N° Tamiz	% Retenido	Aplica al ensayo >5% retenido	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Diferencia de pesos (g)	Masa porcentual (g)	Porcentaje que pasa el tamiz designado luego del ensayo %	Porcentaje ponderado de pérdida %
1	16,27	S	750,98	729,46	21,52	122,209	17,6	2,9
3/4	25,76	S	753,04	732,76	20,28	193,96	10,5	2,7
1/2	37,34	S	677,95	647,91	30,04	253,171	11,9	4,4
3/8	44,24	S	337,63	318,89	18,74	149,379	12,5	5,6
							TOTAL	15,6

 Agregado fino

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL DESGASTE POR SULFATOS NORMA: ASTM C88-18 								
Elaborado por		Jonathan Supe			Material		Polvo de piedra	
Revisado por		Ing. Mg Mayra Viscaíno			Cantera		Rubí 2	
N° Tamiz	% Retenido	Aplica al ensayo >5% retenido	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Diferencia de pesos (g)	Masa porcentual (g)	Porcentaje que pasa el tamiz designado luego del ensayo %	Porcentaje ponderado de pérdida %
4	51,91	S	100,98	99,87	1,11	52,417	2,1	1,1
8	60,51	S	102,63	98,65	3,98	62,102	6,4	3,9
16	69,96	S	100,41	97,65	2,76	70,25	3,9	2,7
30	75,30	S	103,54	99,76	3,78	77,967	4,8	3,7
50	84,60	S	100,43	95,56	4,87	84,966	5,7	4,8
							TOTAL	16,2

ANEXO FOTOGRÁFICO

Fotografía 1	Fotografía 2
	
Extracción de la muestra de la cantera Mollepamba.	Extracción de la muestra de la cantera Rumipamba.
Fotografía 3	Fotografía 4
	
Extracción de la muestra de la cantera Rubí 2.	Material fino mezclado en planta.

Fotografía 5	Fotografía 6
	
Determinación del contenido de humedad del agregado fino.	Determinación del contenido de humedad del agregado grueso.
Fotografía 7	Fotografía 8
	
Secado de la muestra para determinar el contenido de humedad.	Determinación del límite líquido.

Fotografía 9	Fotografía 10
	
Determinación del límite plástico.	Rollos para determinar el límite plástico.
Fotografía 11	Fotografía 12
	
Mezclado del material antes de tamizar.	Granulometría del agregado grueso.

Fotografía 13

Granulometría del agregado fino.

Fotografía 14

Mezclado de material granular.

Fotografía 15Material granular que pasa el tamiz $\frac{3}{4}$ de pulgada.**Fotografía 16**

Humedecimiento del material granular.

Fotografía 17	Fotografía 18
	
Distribución homogénea del material.	Compactación con el material granular.
Fotografía 19	Fotografía 20
	
Erazado del material excedente.	Peso del molde con el material compactado.

Fotografía 21

Muestras extraídas del ensayo de Proctor para determinar la humedad óptima.

Fotografía 22

Compactación con el material granular (CBR).

Fotografía 23

Colocación de las pesas en los moldes metálicos.

Fotografía 24

Remojo de los moldes metálicos (CBR).

Fotografía 25

Ensayo de CBR en la máquina Universal.

Fotografía 26

Ensayo de abrasión en la máquina de los Ángeles.

Fotografía 27

Tamizaje del material ensayado.

Fotografía 28

Partículas que cumplen con el criterio de caras fracturadas.

Fotografía 29

Partículas que no cumplen el criterio de caras fracturadas.

Fotografía 30

Solución de sulfato de magnesio.

Fotografía 31

Preparación del sulfato de magnesio.

Fotografía 32

Muestra lavada del material a ensayar.

Fotografía 33	Fotografía 34
 A photograph showing several stainless steel bowls and small red plastic cups filled with a dark, viscous liquid, likely a magnesium sulfate solution, arranged on a light-colored tiled floor.	 A photograph showing the same stainless steel bowls and red cups from the previous image, now containing a dry, granular material, arranged on a metal wire rack inside a drying oven.
Material sumergido en sulfato de magnesio.	Secado del material con sulfato de magnesio.
Fotografía 35	Fotografía 36
 A photograph showing four stainless steel bowls filled with a light-colored, crystalline material, likely the residue from the first cycle of the process.	 A photograph showing several stainless steel bowls and red plastic cups filled with a dark, granular material, likely the residue from the final cycle of the process.
Material luego del primer ciclo por sulfato de magnesio.	Material lavado y tamizado en el último ciclo de desgaste por sulfato de magnesio.