

# UCUENCA

## Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

**Caracterización de las fuentes de materiales más utilizadas en el Azuay,  
enfocado hacia su empleo para subbase, base y capas de rodadura**

Trabajo de titulación previo a la  
obtención del título de Ingeniero  
Civil


**Autor:**

Mateo Gabriel Machado Cordero

César Mateo Palacios Quezada

**Directora:**

Karla Johanna Santacruz Reyes

ORCID:  0009-0000-8192-7948

**Cuenca, Ecuador**

2023-06-08

## Resumen

Una adecuada infraestructura vial ayuda a un próspero crecimiento económico y un apropiado desarrollo de la región. Esto a su vez depende principalmente del material empleado y de una correcta caracterización del mismo; sin embargo, en la provincia del Azuay, la falta de una fuente de datos del material disponible sumado a la escasez lo dificulta. En este estudio se analizan las diferentes fuentes de materiales. Se recopilan 27 minas (14 de Base/Sub-base y 13 de Lastre). Encontrándose 10 de estas próximas al sector El Descanso, siendo las más relevantes para Base/Sub-base y sin caracterización previa encontrada: Atenas (Graiman), Rookaazul, Virginia y Cerro Tamuga. Se estudian los materiales según la normativa vigente, mediante los ensayos respectivos. Las minas analizadas proporcionan adecuadas características para Bases/Sub-bases, salvo por la mina Cerro Tamuga la cual presenta un índice de plasticidad ligeramente mayor, que se podría corregir a través de la adición de puzolanas, y la mina Atenas que para su material tipo Sub-base presenta pequeños desfases con las granulometrías tipo. Aunque las minas existentes tienen adecuados materiales, estas pueden no estar disponibles en ocasiones por varios factores, incluyendo temas políticos/administrativos, y generar escasez en el sector. Para evitar una dependencia hacia estas fuentes de materiales se presenta la necesidad de un estudio completo sobre nuevas fuentes de materiales, para lo que se desarrolla un mapa recopilatorio de las más utilizadas en el Azuay, donde se detallan características de los mismos y se brindan pautas para abordar el estudio.

*Palabras clave:* agregados pétreos, Tamuga, MOP-001-F 2002

### Abstract

An adequate road infrastructure helps a prosperous economic growth and an appropriate development of the region. This in turn depends mainly on the material used and its correct characterization; however, in the province of Azuay, the lack of a source of data on the available material and its scarcity make this difficult. In this study, the different sources of materials are analyzed. Twenty-seven mines were collected (14 Base/Sub-base and 13 Ballast). Ten of these were found near El Descanso sector, being the most relevant for Base/Sub-base and without previous characterization found: Atenas (Griman), Rookaazul, Virginia and Cerro Tamuga. The materials are analyzed according to current regulations by means of the respective tests. The mines analyzed provide adequate characteristics for Bases/Sub-bases, except for the Cerro Tamuga mine, which presents a slightly higher plasticity index, which could be corrected through the addition of pozzolans, and the Atenas mine, which for its Sub-base type material presents small mismatches with the standard granulometries. Although the existing mines have adequate materials, these may not be available at times, due to political-administrative issues and generate shortages in the sector. To avoid dependence on these, a complete study on new sources of materials is needed, for which a compilation map of the most used in Azuay is developed, detailing their characteristics and providing guidelines for the study.

*Keywords:* MOP-001-F 2002, stone aggregates, Tamuga

## Índice de contenido

1. Introducción .....	14
1.1. Contexto y justificación del estudio .....	15
1.2. Alcance y limitaciones del estudio .....	16
1.3. Objetivos de la tesis .....	17
1.3.1. Objetivo general .....	17
1.3.2. Objetivos específicos .....	17
1.4. Estructura del trabajo de titulación.....	18
2. Marco Teórico .....	19
2.1. Conceptos de Interés.....	19
2.1.1. Mina y cantera .....	19
2.1.2. Clasificación del suelo.....	20
2.2. Normas y especificaciones de diseño y construcción .....	20
2.2.1. Especificaciones técnicas .....	21
3. Estado del Arte .....	26
3.1. Revisión bibliográfica de estudios previos sobre caracterización de materiales en la región .....	26
4. Materiales y Métodos .....	30
4.1. Métodos.....	30
4.1.1. Revisión bibliográfica y recopilación de información.....	30
4.1.2. Selección de las minas:.....	31
4.1.3. Muestreo: .....	32
4.1.3.1 Selección de la muestra representativa .....	33
4.1.4. Análisis de laboratorio .....	35
4.1.4.1. Granulometría.....	35
4.1.4.2. Límites de Atterberg .....	35
4.1.4.3. Proctor Modificado.....	37
4.1.4.4. CBR.....	38
4.1.4.5. Desgaste .....	40
4.1.5. Interpretación de resultados: .....	41
4.1.6. Conclusiones y recomendaciones: .....	42
4.2. Materiales.....	42
4.2.1. Descripción de las minas de material pétreo en el Azuay.....	43
4.2.1.1. Material tipo Lastre .....	43

4.2.1.2. Material tipo Base, Sub-base y Mejoramiento .....	43
4.2.2. Selección de las minas a caracterizar .....	43
4.2.2.1. Mina Cerro Tamuga .....	44
4.2.2.2. Mina La Virginia .....	44
4.2.2.3. Mina Rookaazul .....	45
4.2.2.4. Mina Atenas .....	46
5. Resultados y Discusión .....	47
5.1. Análisis geológico .....	47
5.1.1. Mina Cerro Tamuga .....	47
5.1.2. Mina La Virginia .....	48
5.1.3. Mina Rookaazul .....	49
5.1.4. Mina Atenas .....	50
5.1.5. Formaciones geológicas de las minas del Azuay .....	51
5.2. Información general obtenida .....	51
5.3. Resultado de los ensayos de laboratorio .....	54
5.3.1. Ensayo de Granulometría .....	54
5.3.2. Ensayos Límites de Atterberg .....	56
5.3.3. Ensayo de Proctor modificado .....	56
5.3.4. Ensayo de Desgaste .....	57
5.3.5. Ensayo CBR .....	58
5.4. Comparativa de los resultados con la normativa ecuatoriana .....	59
5.5. Mapa "Fuentes de Materiales más Utilizados en el Azuay / Sub-base, Base y Capa de rodadura .....	71
6. Conclusiones y Recomendaciones .....	73
6.1. Conclusiones .....	73
6.2. Recomendaciones .....	75
7. Referencias .....	77

## Índice de figuras

Figura 1 Estructura típica Pavimento Flexible .....	14
Figura 2 Estructura típica Pavimento Rígido .....	14
Figura 3 Cargadora frontal.....	32
Figura 4 Ubicación Mina Cerro Tamuga.....	44
Figura 5 Ubicación Mina La Virginia.....	45
Figura 6 Ubicación Mina Rookaazul.....	45
Figura 7 Ubicación Mina Atenas .....	46
Figura 8 Geología Cerro Tamuga.....	48
Figura 9 Geología La Virginia.....	49
Figura 10 Geología Rookaazul .....	50
Figura 11 Geología Atenas.....	50
Figura 12 Geología de las fuentes de materiales del Azuay.....	51
Figura 13 Resumen Granulometría.....	55
Figura 14 Resumen Ensayo Proctor Modificado.....	57
Figura 15 Resumen Ensayo Desgaste .....	57
Figura 16 Granulometría Atenas (Griman) Base y los límites de la Base 1B .....	62
Figura 17 Granulometría Atenas (Griman) Sub-base y límites de la Sub-base Clase 3.....	63
Figura 18 Granulometría Rookaazul Base y los límites de la Base 1B.....	65
Figura 19 Granulometría Rookaazul Sub-base y los límites de la Sub-base Clase 3 .....	66
Figura 20 Granulometría Tamuga Base y los límites de la Base 1A .....	67
Figura 21 Granulometría Virginia Base y los límites de la Base 1B.....	68
Figura 22 Granulometría Virginia mejoramiento y los límites de mejoramiento.....	69
Figura 23 Programa_Machado_Palacios .....	70
Figura 24 Código QR - Programa.....	71
Figura 25 Mapa "Fuentes de Materiales más Utilizados en el Azuay / Sub-base, Base y Capa de rodadura (Detalle) .....	72

## Índice de tablas

Tabla 1 Clasificación de la Sub-base según Granulometría .....	23
Tabla 2 Clase de Base según el porcentaje de Trituración.....	24
Tabla 3 Recomendación sobre el uso de las diferentes clases de Base.....	25
Tabla 4 Porcentaje de peso de Base Clase 1 pasante a través de los tamices .....	25
Tabla 5 Tamaño de muestra .....	34
Tabla 6 Tipo de Ensayo de Desgaste.....	41
Tabla 7 Preparación de muestra - Ensayo de desgaste.....	41
Tabla 9 Material tipo Lastre .....	52
Tabla 10 Material tipo Base/Sub-base.....	53
Tabla 11 Resumen Granulometría .....	55
Tabla 12 Resumen Límites de Atterberg.....	56
Tabla 13 Resumen Resultados CBR .....	58
Tabla 14 Granulometrías de las minas ensayadas dentro de los límites de la Base 1A.....	59
Tabla 15 Granulometrías de las minas ensayadas dentro de los límites de la Base 1B.....	60
Tabla 16 Granulometrías de las minas ensayadas dentro de los límites de la Sub-base Clase 1 .....	60
Tabla 17 Granulometrías de las minas ensayadas dentro de los límites de la Sub-base Clase 2.....	61
Tabla 18 Granulometrías de las minas ensayadas dentro de los límites de la Sub-base Clase 3.....	61
Tabla 19 Características de los ensayos por la MOP-F-001 2002 de Atenas (Graiman) Base .....	63
Tabla 20 Características de los ensayos por la MOP-F-001 2002 de Atenas (Graiman) Sub-base.....	64
Tabla 21 Características de los ensayos por la MOP-F-001 2002 de Rookaazul Base.....	65
Tabla 22 Características de los ensayos por la MOP-F-001 2002 de Rookaazul Sub-base.....	66
Tabla 23 Características de los ensayos por la MOP-F-001 2002 de Tamuga Base .....	67
Tabla 24 Características de los ensayos por la MOP-F-001 2002 de Virginia Base .....	68
Tabla 25 Características de los ensayos por la MOP-F-001 2002 de Virginia Mejoramiento.....	69
Tabla 26 Información de fuentes de materiales caracterizados .....	70

## Índice de anexos

Anexo A Hojas Geológicas .....	81
Anexo A.1. Hoja geológica Azogues - Fuente: Azogues HOJA 73-NW 1974.....	81
Anexo A.2. Hoja geológica Girón - Fuente: Girón 54-B NVI-B 2009 .....	81
Anexo A.3. Hoja geológica Gualaceo - Fuente: Gualaceo Hoja 73-C Ñ V-E 3 2018 .....	82
Anexo A.4. Hoja geológica Cuenca - Fuente: Cuenca 53 CT-NV-F4 2009 .....	82
Anexo A.5. Hoja geológica Sigsig - Fuente: Sigsig Hoja 74-A Ñ VI-A 2017 .....	83
Anexo B Elementos Hoja Geológica .....	83
Anexo B.1. Ejemplo de Símbolos Geológicos - Fuente: Cuenca 53 CT-NV-F4 2009.....	83
Anexo B.2. Ejemplo de Símbolos Topográficos - Fuente: Cuenca 53 CT-NV-F4 2009....	83
Anexo B.3. Ejemplo de Leyenda Estratigráfica - Fuente: Cuenca 53 CT-NV-F4 2009 .....	84
Anexo C Mapa Concesiones y Permisos mineros - Dirección de Áridos y Pétreos GAD Municipal Cuenca .....	85
Anexo D Solicitud de acceso a la información pública - GAD Municipal Cuenca.....	86
Anexo E Solicitud de acceso a la información pública - MTOP .....	87
Anexo F Imágenes cargadora frontal - Proceso de homogenización de muestra a seleccionar.....	88
Anexo G Tamaño de muestra .....	89
Anexo H Diagrama Cuchara de Casagrande .....	89
Anexo I Diagrama CBR.....	90
Anexo J Clasificación Granulométrica / Base y Sub-base .....	90
Anexo J.1. Granulometría Atenas (Graiman) Base y los límites de la Base 1A.....	90
Anexo J.2. Granulometría Atenas (Graiman) Base y los límites de la Sub-base Clase 1..	91
Anexo J.3. Granulometría Atenas (Graiman) Base y los límites de la Sub-base Clase 2..	91
Anexo J.4. Granulometría Atenas (Graiman) Base y los límites de la Sub-base Clase 3..	92
Anexo J.5. Granulometría Atenas (Graiman) Sub-base y los límites de la Base 1A.....	92
Anexo J.6. Granulometría Atenas (Graiman) Sub-base y los límites de la Base 1B.....	93
Anexo J.7. Granulometría Atenas (Graiman) Sub-base y los límites de la Sub-base Clase 1 .....	93
Anexo J.8. Granulometría Atenas (Graiman) Sub-base y los límites de la Sub-base Clase 2 .....	94
Anexo J.9. Granulometría Atenas (Graiman) Sub-base y los límites de la Sub-base Clase 3 .....	94
Anexo J.10. Granulometría Rookaazul Base y los límites de la Base 1A.....	95
Anexo J.11. Granulometría Rookaazul Base y los límites de la Sub-base Clase 1 .....	95



Anexo J.12.Granulometría Rookaazul Base y los límites de la Sub-base Clase 2 .....	96
Anexo J.12.Granulometría Rookaazul Base y los límites de la Sub-base Clase 3 .....	96
Anexo J.13.Granulometría Rookaazul Sub-base y los límites de la Base 1B.....	97
Anexo J.14.Granulometría Rookaazul Sub-base y los límites de la Sub-base Clase 1 ....	97
Anexo J.15.Granulometría Rookaazul Sub-base y los límites de la Sub-base Clase 2 ....	98
Anexo J.16.Granulometría Tamuga Base y los límites de la Base 1B .....	98
Anexo J.17.Granulometría Tamuga Base y los límites de la Sub-base Clase 1 .....	99
Anexo J.18.Granulometría Tamuga Base y los límites de la Sub-base Clase 2.....	99
Anexo J.19.Granulometría Tamuga Base y los límites de la Sub-base Clase 3.....	100
Anexo J.20.Granulometría Virginia Base y los límites de la Base 1A.....	100
Anexo J.21.Granulometría Virginia Base y los límites de la Sub-base Clase 1 .....	101
Anexo J.22.Granulometría Virginia Base y los límites de la Sub-base Clase 2.....	101
Anexo J.23.Granulometría Virginia Base y los límites de la Sub-base Clase 3.....	102
Anexo K GAD Municipal Cuenca - Resultados de Laboratorio .....	103
Anexo L Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Base .....	105
Anexo L.1. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Base - Granulometría ....	105
Anexo L.2. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Base – Límites de Atterberg, Proctor y Desgaste .....	106
Anexo L.3. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Base - CBR .....	107
Anexo L.4. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Base – Corrección CBR. 108	
Anexo L.5. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Base – Gráfico CBR .....	109
Anexo L.6. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Base - CBR .....	110
Anexo L.7. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Base – Corrección CBR. 111	
Anexo L.8. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Base – Gráfico CBR .....	112
Anexo M Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Sub-base .....	113
Anexo M.1. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Sub-base - Granulometría .....	113
Anexo M.2. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Sub-base – Límites de Atterberg, Proctor y Desgaste .....	114
Anexo M.3. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Sub-base - CBR .....	115
Anexo M.4. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Sub-base – Corrección CBR .....	116
Anexo M.5. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Sub-base – Gráfico CBR .....	117
Anexo M.6. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Sub-base – CBR.....	118

Anexo M.7. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Sub-base – Gráfico CBR .....	119
Anexo N Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Base .....	120
Anexo N.1. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Base - Granulometría .....	120
Anexo N.2. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Base – Límites de Atterberg, Proctor y Desgaste .....	121
Anexo N.3. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Base - CBR .....	122
Anexo N.4. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Base – Corrección CBR .....	123
Anexo N.5. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Base – Gráfico CBR .....	124
Anexo N.6. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Base – CBR .....	125
Anexo N.7. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Base – Corrección CBR .....	126
Anexo N.8. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Base – Gráfico CBR .....	127
Anexo N.9. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Base – CBR .....	128
Anexo N.10. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Base – Gráfico CBR .....	129
Anexo O Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Sub-Base .....	130
Anexo O.1. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Sub-base – Granulometría .....	130
Anexo O.2. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Sub-base – Límites de Atterberg, Proctor y Desgaste .....	131
Anexo O.3. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Sub-base - CBR .....	132
Anexo O.4. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Sub-base – Corrección CBR ....	133
Anexo O.5. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Sub-base – Gráfico CBR .....	134
Anexo O.6. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Sub-base – CBR .....	135
Anexo O.7. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Sub-base – Gráfico CBR .....	136
Anexo P Resultado de Laboratorio Mina Cerro Tamuga Base .....	137
Anexo P. 1. Resultado de Laboratorio Mina Cerro Tamuga Base – Granulometría .....	137
Anexo P. 2. Resultado de Laboratorio Mina Cerro Tamuga Base – Límites de Atterberg, Proctor y Desgaste .....	138
Anexo P. 3. Resultado de Laboratorio Mina Cerro Tamuga Base - CBR .....	139
Anexo P. 4. Resultado de Laboratorio Mina Cerro Tamuga Base – Gráfica CBR .....	140
Anexo P. 5. Resultado de Laboratorio Mina Cerro Tamuga Base – CBR .....	141
Anexo P. 6. Resultado de Laboratorio Mina Cerro Tamuga Base – Gráfico CBR .....	142
Anexo Q Resultado de Laboratorio Mina Virginia Base .....	143
Anexo Q. 1. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Base – Granulometría .....	143
Anexo Q. 2. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Base – Límites de Atterberg, Proctor y Desgaste .....	144
Anexo Q. 3. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Base – CBR .....	145

Anexo Q. 4. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Base – Corrección CBR .....	146
Anexo Q. 5. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Base – Gráfico CBR.....	147
Anexo Q. 6. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Base – CBR.....	148
Anexo Q. 7. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Base – Corrección CBR .....	149
Anexo Q. 8. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Base – Gráfico CBR.....	150
Anexo R Resultado de Laboratorio Mina Virginia Mejoramiento.....	151
Anexo R. 1. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Mejoramiento – Granulometría.....	151
Anexo R. 2. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Mejoramiento – Límites de Atterberg, Proctor y Desgaste .....	152
Anexo R. 3. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Mejoramiento – CBR .....	153
Anexo R. 4. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Mejoramiento – Corrección CBR..	154
Anexo R. 5. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Mejoramiento – Gráfico CBR .....	155
Anexo R. 6. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Mejoramiento – CBR.....	156
Anexo R. 7. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Mejoramiento – Gráfica CBR .....	157
Anexo S Registro fotográfico.....	158
Anexo S. 1. Visita Mina La Virginia.....	158
Anexo S. 2. Visita Mina Cerro Tamuga.....	159
Anexo S. 3. Visita Mina Rookaazul.....	160
Anexo S. 4. Visita Mina Atenas.....	161
Anexo S. 5. Laboratorio – Granulometría .....	162
Anexo S. 6. Laboratorio – Límites de Atterberg .....	163
Anexo S. 7. Laboratorio – Desgaste .....	163
Anexo S. 8. Laboratorio – Proctor.....	164
Anexo S. 9. Laboratorio – Proctor.....	164
Anexo T Sistemas de Clasificación .....	166
Anexo T. 1. Sistema de Clasificación AASHTO .....	166
Anexo T. 2. Sistema de Clasificación SUCS.....	166

## Dedicatoria

A mi padre y madre, Marco y Filomena, quienes siempre han creído en mí y me han dado su mejor apoyo.

A mis hermanos, David, Sergio, Josué, Renato y Daniel, por su ayuda y amistad incondicional.

A mi novia, Valeria, quien ha sido mi compañera a lo largo de todo este tiempo.

A mis cuñadas, sobrinas y sobrino, quienes son parte importante de mi vida.

A mis perritas, Laika y Matilda, quienes me han acompañado en las madrugadas a lo largo de mi carrera.

Mateo

A mi abuelo, el Ing. Oswaldo Quezada, siempre tan orgulloso de mí.  
Viejo mi querido viejo, esta va por ti.

A mis padres César y Cristina.

A mi hermano Felipe.

A mis abuelos, tíos y primos; a mi familia.

César

## Agradecimientos

A nuestra Directora, la Ing. Karla Santacruz, por todo su apoyo, guía, compromiso, conocimientos y gran calidad humana a lo largo del desarrollo de nuestro Trabajo de Titulación.

Al Ing. Daniel Vélez, por toda su ayuda, tanto dentro de laboratorio como fuera de este, su valiosa orientación y amabilidad inigualable.

A los docentes de la Universidad de Cuenca, por todo su apoyo y experiencia, con la que nos han aconsejado a lo largo de este trabajo, en especial al Ing. Aleksandr Khachatryan y al Ing. Jaime Bojorque.

Al Ing. Paul Quezada (tío de César) por sus consejos y ayuda.

Al personal del Laboratorio de Geotecnia y Materiales de la Universidad de Cuenca, en especial a la Ing. Estefanía Rojas.

Al personal del Laboratorio de Suelos del Gobierno Provincial del Azuay, a los Señores Mauro, Andrés y Sebastián por su ayuda y experiencia.

A nuestros amigos y compañeros que de una u otra forma nos han acompañado y ayudado en todo este proceso, Juan Diego Muñoz, Leonel Yumbra, Paul Aguirre, Pedro Asmal, Xavier Barrera, el grupo de “los falsos” y por la información con los tramites universitarios a Juan Rea,

A nuestra familia y todas las personas que estuvieron presentes.

César y Mateo

A Viviana, por tu apoyo incondicional.

César

## 1. Introducción

El pavimento constituye el elemento fundamental de la infraestructura vial. Este se encuentra compuesto por diversas capas de material granular: Base, Sub-base y Subrasante, cuyo propósito es brindar una superficie firme y uniforme. De tal modo que los materiales que componen estas capas de pavimento resultan de suma relevancia al momento de realizar la construcción de una carretera.

La relevancia de estas capas yace en su capacidad para distribuir adecuadamente el peso del pavimento y de las cargas producidas por el tráfico. A continuación, se muestra la estructura típica para un pavimento flexible (Figura 1) y rígido (Figura 2):

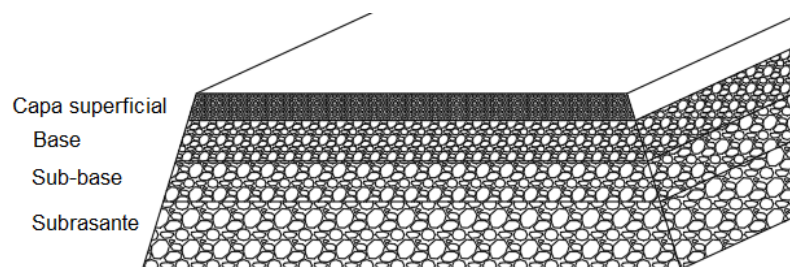


Figura 1 Estructura típica Pavimento Flexible

Fuente: Elaboración Propia

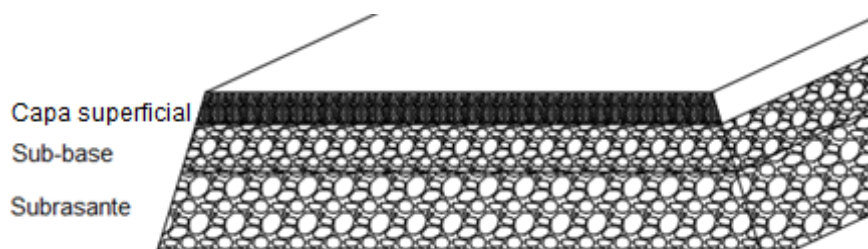


Figura 2 Estructura típica Pavimento Rígido

Fuente: Elaboración Propia

Es evidente la importancia de la caracterización de materiales en la construcción de infraestructura vial, ya que esto permite conocer si dichos materiales cumplen con la normativa vigente, lo que facilita su selección y adecuado uso en las obras civiles. Además, destacar que resulta idóneo contar con información detallada sobre las fuentes de materiales disponibles en una región para poder seleccionar las más adecuadas, lo que a su vez reduce costos de construcción y permite obtener el mejor desempeño de la obra civil.

### 1.1. Contexto y justificación del estudio

El desarrollo de la infraestructura vial es importante para el crecimiento y desarrollo de la economía de una región o país, ya que permite conectar diferentes zonas y garantizar el acceso a los servicios y actividades básicas de las personas.

En las obras de ingeniería civil, es esencial realizar una caracterización precisa de los materiales para obtener un diseño adecuado y conocer su comportamiento, como lo especifica el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MOP, 2002). Se debe tener en cuenta la posibilidad de que las minas/canteras puedan presentar una incorrecta o inexistente caracterización de los materiales.

Existe una escasez de fuentes de materiales en el cantón de Cuenca, tal como lo evidencia Vásquez & Vera (2015) sobre la falta de abastecimiento de la demanda en la región y Carpio (2014) que detalla como en el Cantón Cuenca resulta difícil hallar materiales con características adecuadas que cumplan lo expuesto en las “ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES” (MOP-001-F 2002).

Incluso algunos diarios locales, como Diario El Tiempo (2007), indican que, en el caso del Azuay, región andina del Ecuador, la falta de materiales adecuados para Sub-base, Base y otras obras de infraestructura vial afectó la construcción de las carreteras de la zona.

El GAD Municipal de Cuenca indica que la ciudad solo cuenta con minas de material tipo Lastre (siendo un material de calidad pobre comparándolo con material de Base y Sub-base), y la producción de material pétreo para Base/Sub-base está mayormente privatizada. Esta información se obtuvo de entrevistas a personal del GAD Municipal de Cuenca, perteneciente a las áreas de Unidad de Áridos, y Dirección de Fiscalización-Laboratorio de Suelos. Información que a su vez se puede visualizar en el GEOPORTAL de la Agencia de Regulación y Control de energía y Recursos Nacionales No Renovables (ARCERNRV).

Dentro de las pocas fuentes de materiales existentes en el sector, una de gran importancia es la mina La Virginia. Sin embargo, no debería existir una dependencia fuerte en ninguna mina, tal es el caso que el día 08 de marzo de 2022 fue clausurada debido a la decisión de la Alcaldía de Paute, resolución que generó preocupación por parte de la Prefectura del Azuay, ya que esto afecta directamente a la obtención de material para trabajos de mejoramiento y mantenimiento vial (Gobierno Provincial del Azuay [GPA], 2022).

Conjuntamente, Vásquez & Vera (2015) explican que, en los cantones orientales del Azuay, los materiales se obtienen del sector “El Descanso” debido a que otras plantas no abastecen la demanda; lo cual indica que la disminución de actividad minera en el sector suele generar escasez.

Con todo lo anteriormente mencionado, también se debe agregar que una incorrecta caracterización de los materiales puede llevar al incumplimiento de los requerimientos ingenieriles y las normativas vigentes. Por lo que resulta de suma importancia el correcto conocimiento de los escasos materiales con los que se dispone en el sector, tal que se pueda garantizar su correcto aprovechamiento dentro de las diferentes obras civiles, además, al conocer las deficiencias de los materiales existentes, se podría buscar alternativas de mejora.

## **1.2. Alcance y limitaciones del estudio**

Un factor importante a tomar en cuenta es la dificultad para conseguir información sobre los materiales de la región. La falta de un compendio de información puede llevar a que en las obras se opte por buscar material sin conocer bien sus características, para ellos es importante una investigación profunda respecto a la calidad de materiales que se dispone.

El trabajo de titulación siguiente parte de la recopilación y revisión de información preliminar, obtenida principalmente del GAD Municipal del cantón Cuenca, recopilación de estudios previos, revisión de mapas geológicos e información obtenida del GEOPORTAL del Instituto Geográfico Militar.

Aunque resulta idóneo caracterizar todas las minas en la región, esto podría prolongar demasiado el presente trabajo. Por lo tanto, es necesario enfocarse en las minas más representativas, que permitan cumplir con los objetivos de la investigación. La información previa sobre otras minas puede ser útil para contextualizar los resultados obtenidos.

Una vez analizada la información, se seleccionan las fuentes de materiales de mayor relevancia, donde se detalla que estos están ubicados principalmente en el sector El Descanso, análisis que es detallado a lo largo del documento. Se procesa la información recopilada referente a las minas seleccionadas y procede con su estudio a través de toma y análisis de muestras, siguiendo las especificaciones de la norma NTE INEN 695:2010, referente al muestreo de áridos.



Para la clasificación de los posibles usos del material, se comparan los requerimientos de la normativa MOP-001-F 2002 con los ensayos que se han realizado en el Laboratorio de la Universidad de Cuenca y en el Laboratorio del Gobierno Provincial del Azuay, dentro de lo cual se incluyen los ensayos de Granulometría, Límites de Atterberg, Desgaste, Proctor Modificado y CBR en base a la normativa que recomienda el MOP 2002.

En base al trabajo realizado con los diferentes ensayos se analiza la validez de los resultados, valores con los cuales se establece una clasificación característica para los materiales encontrados en cada fuente, se realizará una interpretación de los mismos, selección de sus posibles usos.

### **1.3. Objetivos de la tesis**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Caracterizar las propiedades geomecánicas de las fuentes de materiales más empleadas del Azuay mediante ensayos de laboratorio y recopilación de información.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

1. Definir las fuentes de materiales más empleadas del medio.
2. Revisar las características de las fuentes y compararlas con la normativa, para el caso de Sub-base, Base.
3. Realizar un análisis de los resultados obtenidos y sus posibles usos.

## 1.4. Estructura del trabajo de titulación

Se parte de la problemática de la escasez de fuentes de materiales de calidad en el Azuay y su impacto en la construcción de carreteras. Para esto es necesario revisar la literatura disponible sobre las características de los materiales en la zona, así como la calidad de los mismos.

Se revisan las normativas y estándares técnicos relevantes, tanto nacionales como internacionales, para la caracterización de materiales para Base, Sub-base y Lastre. Esto incluye la normativa MOP-001-F 2002 y los ensayos de laboratorio que esta incluye para cada caso (ASTM e INEN).

Se realiza un análisis de los ensayos de laboratorio necesarios para la caracterización de los materiales utilizados, tales como: Granulometría, Límites de Atterberg, Desgaste, Proctor Modificado y CBR; se revisa los procedimientos y metodologías empleados en los mismos.

Se continúa con la evaluación de las fuentes de materiales para Base, Sub-base y Lastre, caracterizando en función de su aptitud para su uso en carreteras, esto incluye la revisión de la literatura previa sobre información geotécnica de estas fuentes de materiales, la investigación realizada referente las diferentes fuentes de materiales, la selección y testeo de las minas o canteras de relevancia.

Finalmente, se entrega un compendio de todas las minas analizadas, tanto información recopilada de otras fuentes como realizada mediante ensayos de laboratorio, indicando las características, clasificaciones y uso de dicho material en función de las normativas y estándares técnicos vigentes.

## 2. Marco Teórico

En el siguiente capítulo se presenta el marco teórico, que servirá como base fundamental para el desarrollo del presente trabajo de titulación. Se revisan las diferentes definiciones y conceptos fundamentales sobre los materiales de construcción utilizados en obras viales.

Además, se analizan las normas y especificaciones de diseño y construcción que deben ser consideradas en la selección y caracterización de materiales.

### 2.1. Conceptos de Interés

#### 2.1.1. Mina y cantera

Resulta importante partir realizando una distinción y aclaración respecto a la definición para los términos “mina” y “cantera”. De esta manera, se asegurará que el lector tenga una comprensión clara de los conceptos empleados.

Cantera: Se define como todo yacimiento rocoso que precisa el empleo de material tipo explosivo para el aprovechamiento de materiales de construcción (MOP, 2002).

En la industria de la construcción ecuatoriana, es frecuente el empleo de los términos "mina" y "cantera" a manera de sinónimos, sin embargo, existe una diferencia fundamental entre ambos. Según Cárdenes (2021) la diferencia entre estos dos términos radica en el tipo de materiales extraídos y el procedimiento empleado. Donde una mina se enfoca en su mayoría (y como su nombre dice) en la extracción de minerales y material valioso como oro, plata, cobre, etc. Por otro lado, las canteras se caracterizan por la extracción de material pétreo como granito, mármol, calizas, entre otros, para su uso como material de construcción. Por lo cual las minas precisan de métodos más sofisticados para la extracción de material y las canteras de métodos más simples, siendo este generalmente a cielo abierto.

Ya que para la industria de construcción ecuatoriana, dentro del contexto de minas y canteras de material para Base y Sub-base estos términos se emplean en forma de sinónimos, y ya que muchos de los lugares de extracción son denominados “minas”, donde se practica extracción de material a cielo abierto, a partir de este punto y a fin de evitar confusión se

empleará el término “mina” para referirse a un lugar de extracción de material, indistintamente de si corresponde a una mina o cantera apropiadamente.

## **2.1.2. Clasificación del suelo**

La clasificación del suelo se realiza mediante los métodos más empleados como lo son el SUCS (Sistema unificado de clasificación de suelos) y el AASHTO (que se usa más específicamente para el diseño de pavimentos).

### **SUCS**

Según ASTM (2010), el suelo se clasifica en base a la granulometría, si 50% del material es retenido en el tamiz N200 se considera suelo granular, si pasa más de 50% es cohesivo, dentro del suelo granular si más del 50% del material grueso es retenido en el tamiz N4 se considera grava, si pasa menos de 50% se considera arena, estas pueden ser bien gradadas, mal gradadas, limosas y arcillosas en función del coeficiente de uniformidad, índice plástico y límite líquido, la tabla completa de clasificación se encuentra en el Anexo T Sistemas de Clasificación.

### **AASHTO**

AASHTO (1991) realiza una clasificación del material en base a su granulometría yendo desde el grupo A-1 hasta el A-7, donde los grupos A-1 y A-2 corresponden a suelos granulares donde 35% o menos del material pasa el tamiz N200 y los grupos del A-3 al A-7 corresponde a suelos limo-arcilla. Es necesario conocer además el índice plástico para clasificar el material, la tabla del sistema de clasificación AASHTO (Das, 2001) se encuentra en el Anexo T Sistemas de Clasificación.

## **2.2. Normas y especificaciones de diseño y construcción**

Con el fin de asegurar carreteras de buen estado que cumplan con criterios de seguridad, comodidad, durabilidad, soporte adecuado de las cargas vehiculares, ser resistente y de vida útil prolongada es necesario el empleo de material de buena calidad.

En este apartado se revisa la norma ecuatoriana vigente en su sección referente a la conformación del pavimento, respecto a las pruebas de laboratorio para cada material, esto con el objetivo de analizar el cumplimiento de los valores de referencia establecidos.

La normativa vigente actualmente en el Ecuador corresponde a la expedida por el entonces Ministerio de Obras Públicas y comunicaciones (MOP), las “ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES” que lleva por siglas MOP-001-F-2002.

Dentro de las Especificaciones Generales se realiza una descripción del material a emplear, detalla las especificaciones que debe cumplir, ensayos recomendados, tolerancias mínimas a respetar y diversas consideraciones a tomar en el proceso constructivo.

Entre los ensayos que se detallan se tiene: Ensayo de Granulometría (NTE INEN 696), Límites de Atterberg (NTE INEN 691 y NTE INEN 692), Desgaste (NTE INEN 860), Proctor Modificado (ASTM D1557) y CBR (ASTM D1883).

## **2.2.1. Especificaciones técnicas**

Dentro de las Especificaciones Generales (MOP-001-F-2002) el Capítulo 400 - Estructura del Pavimento, como su nombre lo indica, describe las diferentes estructuras y capas de un pavimento, se resalta lo siguiente:

- Sección Superficies de rodadura
- Sección Mejoramiento de la subrasante
- Sección Sub-bases
- Sección Base

## **SECCIÓN MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE**

El mejoramiento de la subrasante, especifica los diferentes procesos para mejorar la subrasante como: mejoramiento con suelo seleccionado, subrasante estabilizada con cal, material pétreo, entre otros.

El primer mecanismo utiliza suelo seleccionado para el proceso de mejoramiento. Nos interesa analizar las características que debe cumplir este tipo de suelo. Ya que algunas minas ofertan este material, es por ello que se incluye este apartado.

Mejoramiento con suelo seleccionado: Se describe como aquel suelo obtenido de cualquier excavación previamente autorizada. Corresponde a suelo granular, de material rocoso o una combinación de estos dos.

Debe cumplir las siguientes especificaciones:

- Granulometría tal que todo el material debe pasar por el tamiz de 4 in (100 mm.) y las partículas pasantes del tamiz N° 200 (0,075 mm) no puede ser mayor al 20%.
- Capacidad de soporte CBR mayor o igual que 20%
- La porción pasante del tamiz N° 40 debe tener un límite líquido no superior a 35% e índice plástico no superior a 9%.

## SECCIÓN SUB-BASES

La sección describe la clasificación de Sub-bases como Sub-bases de agregados, modificada con arena o limo y modificada con cal. Ya que este trabajo de titulación analiza la muestra tal cual sale de la mina que lo comercializa, se opta por describir las especificaciones únicamente para Sub-bases de agregados.

Sub-base de Agregados: Se describe como aquellas capas de Sub-base constituidas por la trituración o cribado de agregados, los materiales que la componen deben cumplir con las SECCIÓN 816 – SUB-BASES DE AGREGADOS, del CAPÍTULO 800 - MATERIALES. A continuación, se realiza un análisis detallado de las dos secciones y se describen las condiciones técnicas a tomar en cuenta.

Los materiales empleados como Sub-base tendrán:

- Porcentaje de desgaste máximo de 50%.
- Capacidad de soporte CBR mayor o igual que 30%.
- La porción pasante del tamiz N° 40 debe tener un límite líquido no superior a 25% y índice plástico no superior a 6%.

En la subsección 816-2. Requisitos comunes, se describe que de tener un material con un límite líquido o un índice plástico que superan los máximos especificados, se deberá mezclar con material adecuado, a fin de reducir los valores de índice plástico. De no resultar posible lo anterior se actuará tal y como indica el numeral 814-2.02, perteneciente a la sección 814. Capa de Base de material granular, subsección 814-2. Agregados para Base Clase 1.

La subsección 814-2.02. Requisitos, describe que, de superarse el límite líquido e índice plástico, a fin de tener materiales adecuados, se debe eliminar todo el material menor a 10 mm, con el material resultado se debe añadir arena y tritularlo hasta obtener la granulometría especificada.

Se describen 3 clases de Sub-base, las cuales deben cumplir la clasificación detallada por la tabla siguiente. Ver Tabla 1.

Tabla 1 Clasificación de la Sub-base según Granulometría

Fuente: MOP-001-F-2002, (Tabla 403-1.1)

Tamiz	Clase 1	Clase 2	Clase 3
3" (76.2 mm.)	--	--	100
2" (50.8 mm.)	--	100	--
1 1/2" (38,1mm.)	100	70-100	--
Nº 4 (4.76 mm.)	30-70	30-70	30-70
Nº 40 (0.425 mm.)	10-35	15-40	--
Nº 200 (0.075 mm.)	0-15	0-20	0-20

Nota, para la Clase 1: Material tipo roca o grava obtenida en al menos un 30% por trituración.

Como información extra vale aclarar la subsección 816-6. Materiales para Capa de Rodadura, donde se describe que para la implementación de capas de Sub-base a modo de capas de rodadura se debe cumplir con las especificaciones anteriores, exceptuando que se debe tener un índice plástico entre 6% - 9% y límite líquido debe ser inferior a 35%.

## SECCIÓN BASES

La sección describe la clasificación de Bases como Bases de Agregados, Estabilizada con Cemento Portland y Estabilizada con Cal; ya que este trabajo de titulación analiza la muestra tal cual sale de la mina que lo comercializa se opta por describir las especificaciones únicamente para Bases de agregados.

Base de Agregados: Se describe como aquellas capas de Base constituidas por la trituración o cribado de agregados y estabilizadas con agregado fino (triturado o de suelo fino seleccionado). Capa que será colocada sobre la capa de Sub-base. A continuación, se realiza un análisis detallado de la sección y se describen las condiciones técnicas a tomar en cuenta.

Los materiales empleados como Base tendrán:

- Porcentaje de desgaste máximo de 40%.
- Capacidad de soporte CBR mayor o igual que 80%.
- La porción pasante del tamiz N° 40 debe tener un límite líquido no superior a 25% y índice plástico no superior a 6%.
- Los agregados deberán estar libres de materias extrañas (polvo, suciedad, arcillas, etc.) siendo elementos resistentes y sólidos.

La norma describe cuatro clases de Base, de las cuales se diferencian explicando el tipo de trituración que presentan, ver Tabla 2.

Tabla 2 Clase de Base según el porcentaje de Trituración

Fuente: MOP-001-F-2002

Clase	Trituración
1	100%
2	> 50%
3	> 25%
4	0%

De manera adicional mencionar que al momento de realizar el diseño de una carretera se debe seleccionar la clase de Base en función de las recomendaciones que plantea el MTOP en la Norma vial ecuatoriana (NEVI-12-MTOP), ver Tabla 3, que toma en cuenta la clasificación brindada por la norma MOP-001-F-2002.



Tabla 3 Recomendación sobre el uso de las diferentes clases de Base

Fuente: NEVI-12-MTOP (Tabla 404-1.1)

Clase	Característica	No. Carriles	TPDA
1	Aeropuertos y Carreteras de intenso tráfico	8 – 12	> 50 000
2	Carreteras con ancho mínimo de 3.65m	2 - 6	8 000 – 50 000
3	Vías internas de urbanizaciones	2-4	1 000 – 8 000
4	Caminos vecinales	2	> 1 000

Ya que se está analizando material triturado al 100% se especifican las pautas de granulometría que dicta la norma para un Base Clase 1.

- Clase 1:

Se distingue dos Tipos A y B, como se indica en la tabla siguiente, ver Tabla 4:

Tabla 4 Porcentaje de peso de Base Clase 1 pasante a través de los tamices

Fuente: MOP-001-F-2002, (Tabla 404-1.1)

Tamiz	Tipo A	Tipo B
2" (50.8 mm)	100	--
1 1/2" (38,1mm)	70 – 100	100
1" (25.4 mm)	55 – 85	70 - 100
3/4" (19.0 mm)	50 – 80	60 - 90
3/8" (9.5 mm)	35 – 60	45 - 75
Nº 4 (4.76 mm)	25 – 50	30 - 60
Nº 10 (2.00 mm)	20 – 40	20 - 50
Nº 40 (0.425 mm)	10 – 25	10 - 25
Nº 200 (0.075 mm)	2 – 12	2 - 12

De no cumplir con los criterios de granulometría, se puede añadir arena o material triturado.

## SECCIÓN SUPERFICIES DE RODADURA

Para el análisis de Capa de Rodadura con material tipo Lastre se debe cumplir con la sección "Superficie de Agregados no Tratados". Se debe verificar las especificaciones que se detalla para el material y la granulometría descrita para cada tipo (MOP-F-001 2002, Tabla 401-2.1).

### 3. Estado del Arte

#### 3.1. Revisión bibliográfica de estudios previos sobre caracterización de materiales en la región

Resulta importante revisar la poca información disponible sobre caracterización de minas de la región; se ha realizado una ardua revisión bibliográfica. Buscando trabajos relacionados con la caracterización de materiales pétreos en la ciudad/región; sin embargo, se han conseguido contados resultados a lo largo del desarrollo de este trabajo de titulación se ha notado que dicho problema se genera ya que las empresas no comparten abiertamente al público la información sobre los agregados que poseen, como se detalló en el Capítulo 1. A esto se debe añadir que los estudios sobre dicha índole son limitados, sin embargo, se presenta la información disponible.

La recopilación de la clasificación de las fuentes de materiales se detalla en la sección de resultados.

A continuación, se resumen los resultados de la información de algunas fuentes de materiales encontradas principalmente en trabajos de tesis:

##### a. Mina Chocarsí

En un estudio realizado por Orellana & Tenesaca (2023) se detalla que el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Cuenca tiene a su cargo una mina de Lastre ubicada en Chocarsí, Parroquia Nulti. Indica ensayos previos realizados por estudiantes de la Universidad de Cuenca en 2016 sobre las propiedades físicas y mecánicas del material, el cual fue clasificado como una grava bien graduada con contenido de finos arcillosos por el SUCS, correspondiente a una clasificación GW-GC y como una grava y arena arcillosa por el AASHTO, con una clasificación A-2-6.

Además, según describe Orellana & Tenesaca (2023) esta mina tiene excelentes condiciones de compactación, bajas permeabilidades, CBR de 28%, bajo hinchamiento. El Laboratorio de Suelos del GAD Municipal de Cuenca también realizó estudios y clasificó el material como una grava mal graduada con contenido de finos arcillosos por el SUCS y como una grava y arena arcillosa por el AASHTO.

#### b. Mina Llatcon

Carpio (2014) trabajó con el material de la mina Llatcon, revisando sus características y analizando su comportamiento mecánico frente al ensayo CBR principalmente. Dentro de su propuesta indica que a pesar de que los límites de Atterberg del material de la mina de Llatcon no cumplen las normas exigidas para la construcción de carreteras en Ecuador, el material puede ser utilizado para mejorar la subrasante, ya que su valor CBR después de la saturación es superior al 10%. Además, propone el uso de este material de la mina Llatcon para construir una estructura asfáltica y sugiere su inclusión en la normativa vigente.

El autor considera que:

- El material de la mina Llatcon cumple las especificaciones necesarias para su uso en la construcción de carreteras, y puede considerarse apropiado para este fin.

- El valor CBR del material después del remojo es del 40,75%, superior al mínimo especificado por el MTOP, y el porcentaje de hinchamiento es del 0,26%. El valor CBR obtenido sin remojo es del 42,75%.

- Pese a sus inaceptables características de plasticidad, el material procedente de la mina de Llatcon puede clasificarse como material de mejoramiento con suelo seleccionado debido a su valor de CBR cercano al 40,75%.

- Es importante señalar que el ensayo CBR de laboratorio se realiza con material de diámetro inferior o igual a  $\frac{3}{4}$  de pulgada, por lo que, si se utiliza material más grueso in situ, se puede obtener un valor CBR más elevado in situ.

Brito & Gutiérrez (2022), coinciden en lo referente al índice plástico, en este caso mencionan que dicho material procedente de la mina Llatcon tiene un índice plástico demasiado alto para Base, sin embargo, se concluye que mezclas suelo-cemento permiten un material no plástico apto para estos fines.

#### c. Mina Higuera

Según Brito & Gutiérrez (2022), el material procedente de la mina La Higuera, no cumple ni para tipo 1A ni para tipo 1B, los autores realizaron el mejoramiento del suelo con material tipo polvo de trituración, puzolana y mezclas suelo cemento, con estos mecanismos de mejora, llegaron a suplir las deficiencias del material, cumpliendo con los requisitos para material tipo Base.

#### d. Minas Virginia, San Ignacio y Marathon (Cercanas al Río Paute)

Según Tepán (2022), indica que en la cuenca del río Paute se extraen materiales pétreos para la construcción, los cuales son transportados a las plantas de trituración en El Descanso. La planta de trituración “La Virginia” de ASFALTAR EP produce diariamente 144 toneladas de Base Granular Clase I, que se utilizan para mejorar las carreteras de la Provincia del Azuay. Además, se suministran 90 m<sup>3</sup> diarios de estos materiales para la construcción vial en la región.

Tepán (2022) en el análisis hecho a las minas ubicadas a lo largo del Río Paute: mina La Virginia (en este caso el autor retiró los finos ya que son traídos de otro lugar), San Ignacio y Marathon, que obtienen el material de este mismo sector, al autor realiza mezclas de los materiales, donde se determina que las características de estos son ideales para Base tipo 1B y que cumple en todas las características, a excepción del límite superior de la granulometría en ciertos rangos.

#### e. Estado general regional

Varios trabajos revisados resaltan la escasez de materiales pétreos adecuados para la construcción/ mantenimiento vial, dentro de la región; explican las condiciones bajo las cuales se opera en procesos de mantenimiento vial, hablan también de las deficiencias particulares de los materiales y de la complicación al momento de adquirirse.

Orellana & Tenesaca (2023) mencionan que la explotación del material tipo Lastre es cada vez más costosa debido al agotamiento de las canteras y a que las nuevas minas están cada vez más lejos de las áreas de intervención. Cambiar la matriz vial de vías de tierra a pavimentadas es costoso, y difícil de realizar a corto plazo, ya que se necesitan no solo obras estructurales sino también infraestructura hidrosanitaria. Por lo tanto, es necesario optimizar el uso del Lastre puesto que en el cantón Cuenca se realiza anualmente un mantenimiento en 500 km de vías.

Por último, Orellana & Tenesaca (2023), presentan como alternativa el uso de aceite residual del parque automotor para mejorar las condiciones del Lastre en las vías. Los resultados de una investigación indican que la adición de aceite residual mejora las condiciones de densidad seca y del valor CBR de los materiales analizados. Los resultados también indicaron que el Lastre modificado con aceite residual tenía mejores condiciones que el Lastre convencional en términos de CBR y humedad.

Por su parte Brito & Gutiérrez (2022) exhiben un estudio sobre la mejora de los agregados pétreos de la provincia de Azuay a través de la caracterización física y mecánica de los materiales y diferentes métodos de estabilización para mejorar sus propiedades. La falta de materiales de buena calidad en la provincia ha generado mayores costos de transporte y mantenimiento vial debido a deficiencias en el desempeño de la estructura. Por lo tanto, es necesario analizar métodos de mejora para garantizar un correcto desempeño en la estructura de pavimento y un funcionamiento adecuado durante el periodo de vida útil planteado en el diseño.

## 4. Materiales y Métodos

### 4.1. Métodos

Para llevar a cabo la caracterización de las fuentes de materiales del Azuay enfocado hacia Base, Sub-base y Capa de Rodadura, se contempla las siguientes etapas, que explican la metodología empleada:

#### 4.1.1. Revisión bibliográfica y recopilación de información

En esta etapa se realiza una revisión bibliográfica que establece el fundamento teórico base para el presente trabajo, se revisa la normativa ecuatoriana vigente referente a las especificaciones técnicas a tomar en consideración en la conformación de las diferentes capas de pavimento, además de revisar los ensayos y metodologías que esta toma en consideración.

Se revisa el estado del arte dentro de lo concerniente a caracterización de fuentes de materiales del Azuay. Al no existir información suficiente, se opta por recopilar información de técnicos en el área, que trabajan en empresas afines.

Se ha acudido a las siguientes instituciones, Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca, Ministerio de Transporte y Obras Públicas y Gobierno Provincial del Azuay. Se ha recopilado información al respecto de las diferentes fuentes de materiales disponibles y entre estas se analizó las más utilizadas durante los últimos proyectos viales.

Se recopila información sobre las minas, incluyendo su ubicación geográfica, las características de los materiales, las propiedades geotécnicas, entre otros parámetros relevantes.

Se realizaron entrevistas al personal de las siguientes instituciones:

- Dirección General de Áridos y Pétreos: Entrevistas realizadas al director y Técnico Analista. Se consultó sobre las fuentes de materiales que se dispone y sobre las concesiones y permisos de áridos y pétreos activos en el cantón Cuenca. Información obtenida que se resumen en un mapa sobre las concesiones y permisos mineros que maneja la Dirección de Áridos y Pétreos GAD Municipal Cuenca.

- Dirección General de Fiscalización – Laboratorio de Suelos: Entrevista realizada al Técnico del Laboratorio. Se obtuvo información referente a los nombres de las fuentes de materiales cuyo material se encuentra ingresando al laboratorio constantemente, lo que significa que este está siendo empleado en los últimos proyectos viales.
- Otra de las instituciones visitadas fue el MTOP, Zona 6, donde se recolectó información referente a los materiales pétreos empleados actualmente en el sector.

Además, se debe mencionar que en las entrevistas realizadas a la Dirección General de Áridos y Pétreos, a más de compartir información referente los materiales que dispone el GAD Municipal de Cuenca se abordó acerca del material procedente del sector de La Josefina, donde actualmente se está desarrollando la Segunda fase de estabilización. Información validada con la nota del Diario El Mercurio donde se detalla que a partir de finales del mes de enero del año 2023 ya se encontraba en desarrollo la última fase de la segunda etapa de estabilización del Cerro Tamuga (Mora, 2023). Fuente de material que se también se tuvo la oportunidad de caracterizar durante este trabajo de titulación.

#### **4.1.2. Selección de las minas:**

En base a la información obtenida, donde se evidencia que las fuentes de materiales para Base y Sub-base se localizan en las zonas Santa Isabel y El Descanso, encontrándose mayoritariamente en esta última. Se determinó que el análisis a fondo de los materiales de la zona El Descanso resulta de mayor importancia e interés para este trabajo de titulación. Esta selección de la zona estudio se justifica también con las siguientes razones:

- La relevancia del sector respecto a la extracción de material para construcción.
- La importancia y cercanía de este con el cantón Cuenca, como capital de provincia.

Respecto a los materiales a caracterizar constan las siguientes minas: Atenas, ROOKAAZUL, Cerro Tamuga y La Virginia.

Para el resto de minas se revisa la recopilación de la información tanto por parte de la investigación realizada, como la información solicitada a las diferentes entidades y organismos gubernamentales, información que se presenta más a detalle en el apartado 4.2. Materiales.

### 4.1.3. Muestreo:

Para obtener el material de cada mina y garantizar un adecuado procedimiento de muestreo se debe ingresar personalmente a las plantas trituradoras, a fin de realizar una toma de muestras aleatoria alrededor de toda el área donde se encuentra el material listo para su distribución.

Se debe garantizar que las muestras tomadas se encuentren homogenizadas, esto se puede conseguir con la ayuda del equipo de la mina (cargadores frontales o cualquiera similar) que mezcle un gran volumen de material, como se observa en la Figura 3. De no poder realizarse dicho procedimiento se lo debe replicar manualmente, con la ayuda de una pala, mezclando una sección de los frentes de la unidad de material, denominado comúnmente con el nombre de “acopio”, a fin de deslizar el material superficial y homogenizarlo con el material del interior de la misma. Se toman muestras representativas de los materiales extraídos de las minas seleccionadas, siguiendo los procedimientos establecidos para garantizar la debida precisión de los resultados.



Figura 3 Cargadora frontal

Fuente: Fotografía propia tomada in situ

Para cada material a analizar se recomienda tomar alrededor de 6 saquillos, correspondiente en peso, aproximadamente, 35 kg de material por saquillo, siendo esto una toma de muestra de 210 kg de material en total.

Recalcar que, para obtener una muestra, para cada material, se debe mezclar los saquillos obtenidos de los diferentes puntos de la zona de distribución de la mina. Esto se debe realizar en un lugar amplio y en una superficie que no permita la pérdida de material fino como lo es una lona plástica de gran tamaño que resulta ideal para dicho cometido, ya que no permite la contaminación de la muestra ni su pérdida.



#### 4.1.3.1 Selección de la muestra representativa

Se debe partir de que una correcta selección de material, como se ha venido recalando en las secciones anteriores, resulta fundamental para garantizar la buena calidad en la construcción y desempeño de las diferentes capas de pavimento.

A fin de garantizar que el material seleccionado para utilizar en la construcción de las capas de pavimento es el adecuado se debe comprobar que la fuente de materiales sea de buena calidad, en este contexto cobra suma importancia la correcta caracterización de una fuente de material.

El conocimiento adecuado de una muestra de material, la correcta obtención de la misma y la valoración que tenga la muestra testeada está sujeta a la significancia que tenga dicha muestra respecto al total del material de la fuente (Cubides et al., 2020, p. 3).

La selección de una muestra representativa resulta un punto decisivo dentro de la caracterización de materiales. La muestra debe presentar características físicas y mecánicas similares a la de todo el material.

Nota: A groso modo y realizando una analogía a una pequeña escala, se debe realizar un procedimiento similar al método del cuarteo empleado en materias de laboratorio, donde a una muestra grande de suelo se la homogeniza y se procede a dividir en 4 partes iguales (cuarteo), a fin de obtener una muestra de menor tamaño y masa, la cual mantiene las características de la muestra total, pero resulta mucho más manejable al momento de realizar los diferentes ensayos en laboratorio, similar a lo que describe la norma NTE INEN-2566 Áridos. Reducción de muestras a tamaño de ensayo, método B. Cuarteo (INEN, 2010).

La caracterización de materiales de una gran cantidad de material -como el que correspondería a una mina- resulta un trabajo complejo y laborioso que representa un gran desafío para la obtención de una muestra representativa.

Para los propósitos de una tesis de grado resultaría no práctico, ya que se debería testear una cantidad enorme de material. Sin embargo, se debe recordar que para este trabajo de titulación se están testeando materiales para Base y Sub-base, materiales que no son extraídos tal cual se encuentran en la mina, sino que son sometidos a diferentes procesos,

entre ellos la trituración, el cribado y la adición de material fino, y que estos materiales al tener una granulometría y un tamaño máximo nominal marcado se puede reducir considerablemente el tamaño de la muestra representativa, ya que la muestra total presenta cierta regularidad en sus productos por el proceso de fabricación y la intervención humana en la conformación del material.

Según la normativa INEN 695 (2010), en su sección 4.1.1 especifica que, de ser posible, las muestras que serán ensayadas para control de calidad deben ser tomadas del producto terminado. En este caso las muestras son tomadas en la fuente de materiales, en la sección 4.1.2 se indica que el material debe ser inspeccionado para determinar si existen variaciones apreciables, como material fino en la Base y grueso en la parte alta. También indica que “el vendedor debe proporcionar el equipo necesario e idóneo para una adecuada inspección y un correcto muestreo”. En la sección 4.4.1 se menciona que, se debe transportar los áridos en sacos o contenedores que impidan la contaminación y pérdida del material.

La sección 4.2.1 de la normativa describe que se deben de seleccionar las unidades a ser muestreadas de la producción mediante un método aleatorio, en este caso solo existe una tolva para cada tipo de material. Se deben obtener cómo mínimo tres cantidades aproximadamente iguales, aleatoriamente, de la unidad a ser muestreada y combinarlos para formar una muestra in situ, cuya masa será igual o superior al mínimo recomendado, como se puede observar en la Tabla 5.

Tabla 5 Tamaño de muestra

Fuente: INEN 695 (Tabla 1)

<b>Material (Tamaño máximo)</b>	<b>Masa mínima de la muestra in situ (kg)</b>
Mejoramiento (100mm)	175
Sub-base (76.2mm)	150
Base (50.8mm)	100

En el caso de áridos procesados se debe emplear el tamaño máximo nominal especificado por la norma. En caso de no indicarlo debe utilizar el tamaño máximo. Además, indica que para el caso de áridos para Bases y Sub-bases la masa mínima debe ser la obtenida por la tabla más 10kg.

Para este estudio se tomaron alrededor de 6 saquillos como muestra para el análisis, dando un peso aproximado de 210 kg de material en total, lo cual cumple con las especificaciones

de la normativa INEN 695 respecto al peso mínimo de la muestra en función del tamaño máximo nominal.

#### **4.1.4. Análisis de laboratorio**

Con las muestras obtenidas serán realizadas una serie de ensayos de laboratorio para determinar sus propiedades físicas y mecánicas.

##### **4.1.4.1. Granulometría**

Ensayo que permite determinar la distribución de las partículas en base a su tamaño.

La muestra es obtenida como lo indica la INEN 695, se realiza con material seco. La cantidad de material necesario es proporcional al tamaño máximo nominal, siendo esta para 37,5 mm y para 50 mm necesaria 15 kg y 20 kg de material respectivamente. Razón por la cual todos los ensayos de granulometría se realizaron con una cantidad de material superior a 20 kg en la parte gruesa y mayor a 500 g en la parte fina.

Los equipos deben cumplir con las especificaciones según la INEN 696.

Se seleccionan los tamices necesarios para el ensayo, se colocan en orden decreciente, son estrictamente necesarios los tamices especificados en la normativa MOP-001-F, para cada material a considerar. Se colocan además tamices intermedios y se divide la muestra total en aproximadamente unas 4 u 5 partes más pequeñas para evitar sobrecarga del material y así deformar los tamices. Se tamiza durante un tiempo adecuado, en cada caso tres minutos la parte gruesa y cinco minutos la parte fina. Si la masa final difiere en 0.3% de la masa inicial entonces el resultado no debe ser aceptado.

##### **4.1.4.2. Límites de Atterberg**

###### **- Límite Líquido**

Describe el porcentaje de humedad del suelo en el cual este se encuentra en un comportamiento entre líquido y plástico.

Se toma una muestra de aproximadamente 250 g de material homogéneo que previamente haya pasado el tamiz 40, se añade agua hasta que pueda moldearse con los dedos fácilmente.

Los equipos deben cumplir con las especificaciones según la INEN 691.

Se extiende una porción de material sobre la cuchara de Casagrande de forma que no haya burbujas de aire en el interior, se observa que esté nivelado con un espesor máximo de 10 mm, el material que se encuentre sobre estos 10 mm se devuelve al pozuelo, se pasa el espaciador de forma normal a la cuchara.

Se gira la cuchara a una velocidad de 2 revoluciones por segundo hasta que el suelo del fondo se junte en una longitud de 10 mm debido a la fluencia del suelo, la primera muestra debe estar entre 35 y 45 golpes, de no ser así, puede añadirse más agua o secarse. Del lugar donde se une el material, al realizar el ensayo, se toma una muestra de aproximadamente 10g.

Se toma el peso, la cantidad de golpes debe variar entre 45 hasta 5, debe haber 2 puntos por encima de los 25 golpes y 2 por debajo, esto se consigue incrementando progresivamente el agua para cada cambio.

Se grafica la humedad en escala aritmética en el eje de las ordenadas y los golpes en escala logarítmica en el eje de las abscisas, se traza una línea recta que conecte de forma más adecuada los puntos, se interpola para 25 puntos y la humedad en ese punto es el límite líquido.

## - Límite plástico

Define la humedad del suelo a la cual el material se encuentra entre el comportamiento plástico y sólido.

Para realizar el ensayo se toman 30 g del primer punto del límite líquido de forma homogénea, en este punto el material debe ser tal que se pueda formar una bola sin que se adhiera a las manos y se debe guardar en un recipiente hermético.

Ciertos suelos deben dejarse entre 16 a 24 horas con un poco de agua para que la absorba adecuadamente, como los materiales correspondientes a las minas Atenas y Rookaazul que presentan una textura arenosa siendo imposibles de trabajar sin antes realizar este proceso.

Los equipos deben cumplir con las especificaciones según la INEN 692.

Se toma 10 g del total, se forma una bola en las manos y se rueda con las palmas con adecuada presión de las manos sobre una placa de vidrio de manera que se seque apropiadamente hasta que aparezcan pequeñas fisuras. Si se seca demasiado se puede volver a mezclar.

Se coloca la muestra que cumpla en una tara y se pesa. Se realiza esto hasta obtener varias humedades, para el cálculo del valor promedio correspondiente.

#### **4.1.4.3. Proctor Modificado**

Ensayo que analiza la relación entre el peso seco del suelo y el contenido del agua.

El MOP-001-F 2002 recomienda el Método C de la norma ASTM 1557, así que se preparan 5 muestras homogéneas del material de aproximadamente 6000 g pasantes del tamiz de 19 mm. Los equipos deben cumplir con las especificaciones de la norma.

Se colocan las 5 muestras del material con variaciones aproximadamente del 2% hasta 4% de humedad, para generar una curva de Humedad vs Compactación, la parte izquierda de la curva se denomina lado seco y la parte derecha lado húmedo, se necesitan al menos 2 puntos en el lado seco y dos al lado húmedo. Se coloca agua durante la mezcla, de forma frecuente se mueve el suelo para que se distribuya uniformemente.

Se fija el molde sobre la placa y se asienta sobre una superficie rígida, en este caso cemento, se compacta en 5 capas de espesor similar que deben estar colocadas de forma uniforme para ser compactadas, en cada capa debe darse 56 golpes, para los golpes con el martillo apisonador a una velocidad de 25 golpes por minuto, después de repetir los golpes en las 5 capas se quita el collar y enrasa el material que no debe sobrepasar más de 6mm de rasante, Se limpia el exterior y se pesa el molde más suelo.

Se repite este proceso en las 5 muestras, o más, de ser necesario.

#### 4.1.4.4. CBR

El CBR, California Bearing Ratio por sus siglas en inglés, es una medida de la resistencia del suelo subyacente a una carretera o pavimento y determina si el suelo posee resistencia suficiente para soportar el peso del pavimento y de las cargas. Mide la resistencia y la capacidad de carga del suelo, correlacionando el valor de soporte del suelo con la densidad seca. Un buen CBR ayuda a generar una capa más fina de material ya que indica que el suelo es capaz de soportar cargas sin sufrir asentamiento ni deformaciones, inversamente un mal CBR necesita una capa más gruesa de material. Siendo por estos motivos uno de los valores más importantes.

La evaluación precisa del valor CBR del suelo de la subrasante es crítica para asegurar la longevidad y durabilidad del pavimento, minimizar los costes de mantenimiento y proporcionar unas condiciones de conducción seguras y confortables.

Para el ensayo se preparan tres muestras de material pasante del tamiz 19 mm, mismas que se compactan utilizando tres esfuerzos diferentes para obtener pesos unitarios diferentes. Los equipos deben cumplir con las especificaciones de la ASTM D1883, las partes del molde se indican en el Anexo I Diagrama CBR.

En cada molde se realiza un total de 56, 25, y 10 golpes por cada una de las 5 capas.

Para la humedad de compactación se la determina, con una muestra al inicio de la compactación y la otra muestra del restante de material después de la compactación. Se coloca el disco con el agujero para el mango de extracción hacia abajo, se inserta el disco espaciador sobre la placa base y un disco de papel de filtro en la parte superior del disco espaciador. Se fija el molde (incluyendo el collar) sobre la placa base.

Se compacta la mezcla de suelo-agua en el molde. Se retira el collar de extensión y se enrasa cuidadosamente el suelo compactado por medio de una regla. Con un poco de la parte final del material se rellenan los agujeros que se pueden haber desarrollado en la superficie por la eliminación del material sobresaliente. Se retira el disco separador, para poder pesar y registrar el peso del molde más suelo compactado. Se coloca un disco de papel de filtro en la placa de base perforada, se invierte el molde con el suelo compactado, y se sujeta la placa perforada de base para el molde con el suelo compactado en contacto con el papel de filtro.

Se colocan las pesas de sobrecarga y el vástago ajustable encerado sobre la muestra de suelo compactado en el molde. Se aplica una sobrecarga igual al peso del material de Base

y el pavimento, en ningún caso el peso total utilizado será inferior a 4,54 kg (10 libras). Si no se especifica el peso del pavimento se debe utilizar 4,54 kg.

Se sumerge el molde con las sobrecargas en agua permitiendo el libre acceso de agua a la parte superior e inferior de la misma. Se toman las medidas iniciales y se deja que la muestra se remoje durante 96 horas. Manteniendo un nivel de agua constante durante este tiempo. Al final de 96 horas, se mide hinchamientos cada 24 horas. Se retira del agua y se escurre durante 15 min. Teniendo cuidado de no dañar la superficie de la muestra durante la eliminación de la misma.

Se inclina la muestra con la finalidad de eliminar el agua de la superficie. Se retira las sobrecargas, la placa perforada, el papel filtro y se procede a obtener el peso después del remojo.

Para la prueba de soporte se coloca una sobrecarga en la muestra, suficientes para producir una carga igual al peso del material que irá sobre esta capa en obra. Si no se especifica el peso del pavimento, se utilizan 4,54 kg de masa. Si la muestra ha sido previamente puesta en remojo, el peso deberá ser el mismo al de ese periodo.

Para evitar que se agiten los suelos en el agujero de las pesas de sobrecarga, se coloca el peso anular sobre la superficie del mismo antes de colocar el pistón de penetración, después se coloca la otra pesa.

Se ajustan los medidores de presión y penetración a cero. Se requiere de esta carga inicial para asegurar la colocación satisfactoria del pistón y será considerada como la carga cero al determinar la relación de carga penetración. Se ancla el deformímetro a la medición de dispositivo de carga, se puede comprobar que este bien midiendo la penetración y verificando que sea la misma que indica la máquina.

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración de modo que la tasa de penetración sea de aproximadamente 1,27 mm/min. Se registra las lecturas de la carga en las perforaciones cada 0,5 mm hasta llegar a una deformación total de 10 mm dadas por la configuración de la maquina en Sistema Internacional.

Si la profundidad medida no coincide estrechamente con la profundidad de penetración de calibre, se debe determinar la causa y probar una nueva muestra. Posterior a esto se retira la tierra del molde y determina el contenido de humedad de cada muestra.

En los cálculos, para el caso particular del equipo tipo Multispeed del laboratorio del Gobierno Provincial del Azuay, el equipo se encuentra configurado en kilonewtons. Estas unidades son

pasadas al sistema inglés como lo indica la norma, si la curva generada presenta una concavidad hacia arriba inicialmente, debido a las irregularidades de la superficie u otros factores, en tales casos, el punto cero se reajustará desde donde empieza una tendencia correcta hasta el origen, se debe corregir sólo las curvas de carga-penetración.

Se calculará el valor de CBR con la curva corregida para los valores de 0.1 in y 0.2 in dividiendo la carga en esos puntos para 1000 psi y 1500 psi respectivamente. Si a las 0.2 in el CBR es mayor a 0.1 in se repite el ensayo, en este trabajo se repitieron todos los CBR debido a esta condición.

A manera de eliminar incertidumbres, los valores de CBR demasiado altos han sido repetidos usando otro saco de material y otro equipo de penetración (del Laboratorio de Geotecnia y Materiales de la Universidad de Cuenca), así de existir segregación de material, diferencias en este o descalibración del equipo se pueda corregir. Sin embargo, los ensayos repetidos en cada laboratorio arrojaron resultados similares como se indicará más adelante.

#### **4.1.4.5. Desgaste**

Permite determinar la degradación del material mediante impacto y desgaste producido en la máquina de los Ángeles. Sirve para conocer la calidad de materiales con composiciones mineralógicas similares.

##### **Preparación de la muestra**

Se clasifica el tipo de abrasión como A, B, C y D en base a la granulometría del material, como se muestra en la tabla siguiente. Ver Tabla 6.



Tabla 6 Tipo de Ensayo de Desgaste

Fuente: NTE INEN 860:2011

TAMIZ	A	B	C	D
2" (50mm)	100%	100%	-	-
1" (25mm)	-	75%-95%	100%	100%
3/8"(9.5 mm)	30%-65%	40%-75%	60%-100%	60%-100%
Nº 4 (4.75 mm)	25%-55%	30%-60%	50%-85%	50%-85%
Nº 8 (2.36mm)	15%-40%	20%-45%	40%-70%	40%-70%
Nº 40 (0.425mm)	8%-20%	15%-30%	25%-45%	25%-45%
Nº 200 (0.075mm)	2%-8%	5%-20%	5%-15%	5%-20%

Siendo el material empleado como se indica en la Tabla 7.

Tabla 7 Preparación de muestra - Ensayo de desgaste

Fuente: NTE INEN 860:2011

TAMIZ		PESO (g)			
PASA	RETIENE	A	B	C	D
1 1/2" (37.5mm)	1" (25mm)	1250±25			
1" (25mm)	3/4"(19.0 mm)	1250±25			
3/4"(19.0 mm)	1/2"(12.5 mm)	1250±25	2500±10		
1/2"(12.5 mm)	3/8"(9.5 mm)	1250±25	2500±10		
3/8"(9.5 mm)	1/4"(6.3 mm)			2500±10	
1/4"(6.3 mm)	Nº 4 (4.75 mm)			2500±10	
Nº 4 (4.75 mm)	Nº 8 (2.36mm)				5000±10
TOTAL		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

Se trabaja con material seco. El equipo debe cumplir con las especificaciones de la norma INEN 860.

Se coloca la muestra dentro de la máquina de los Ángeles y conjuntamente la carga, 12 bolas para tipo A y 11 para tipo B, se hace girar la máquina un total de 500 revoluciones con una velocidad de 30 a 33 revoluciones por minuto. Se lava el material saliente sobre el tamiz N12.

**4.1.5. Interpretación de resultados:**

Se realiza un estudio de cada fuente de material a caracterizar, partiendo de una descripción muy breve de la composición geológica del material, para posteriormente pasar al estudio de los ensayos de laboratorio realizados.

Los resultados obtenidos serán analizados de manera inicial a modo de resultados individuales, por cada material. Una vez revisados serán comparados con las especificaciones técnicas que detalla la normativa ecuatoriana vigente (MOP - 001-F 2002). Se evalúa la calidad de los materiales y los posibles usos del mismo.

Para finalizar se presenta la compilación de toda la información investigada y obtenida a modo de un mapa interactivo, donde se describen las fuentes de materiales de mayor relevancia junto una descripción del material que estas presentan.

#### **4.1.6. Conclusiones y recomendaciones:**

Con base en los resultados obtenidos, se elaborarán conclusiones/recomendaciones sobre la calidad de los materiales extraídos, se extraen tanto conclusiones referentes a este, como a su desempeño en función de lo estipulado por Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes (MOP - 001-F 2002), utilizados en proyectos de infraestructura vial.

Como información adicional se dan las pautas y varias ideas para próximos trabajos e investigaciones a fin de ampliar la información disponible del medio. Se recalca también la importancia de un fuerte estudio referente a la búsqueda de nuevas fuentes de materiales.

#### **4.2. Materiales**

Como parte de esta sección se inicia mostrando parte de los resultados obtenidos en base a la investigación y recopilación realizada. Esta información corresponde a las fuentes de materiales más empleadas en la provincia del Azuay.

La presentación de la información obtenida se considera esencial, ya que constituye el punto de partida de este trabajo de titulación, proporcionando una visión detallada de los materiales disponibles en la región.

Posteriormente, en la sección de resultados, se presentará nuevamente toda esta información, pero ya procesada de manera apropiada y enriquecida con los hallazgos obtenidos.

## 4.2.1. Descripción de las minas de material pétreo en el Azuay

Se presentan los primeros resultados de la investigación respecto a las fuentes de materiales:

### 4.2.1.1. Material tipo Lastre

Respecto al material tipo Lastre se tiene el siguiente registro de minas más empleadas por parte del GAD Municipal de Cuenca, información obtenida en la Dirección de Áridos y Pétreos.

- Libre Aprovechamiento: Victoria, Chocarsí, Cochapamba.
- Concesión Minera: Chalco, Laurita, Playa 1, Challiyacu, Citmac, Los Tigres, Alejandra 1, Llatcon (unificada).
- Permiso Artesanal: Lourdes y Mina Mendoza.

Para mayor información revisar Anexo C Mapa Concesiones y Permisos mineros - Dirección de Áridos y Pétreos GAD Municipal Cuenca.

Dentro de la información brindada por parte del GAD Municipal de Cuenca se recalca que las minas de mayor relevancia para el sector corresponden a: Libre Aprovechamiento Cochapamba, Concesión Minera Chalco y Concesión Minera Los Tigres.

### 4.2.1.2. Material tipo Base, Sub-base y Mejoramiento

Se recopila la información obtenida por parte del Dirección de fiscalización Laboratorio de Suelos del GAD Municipal de Cuenca, visita al MTOP y la información recopilada.

Minas: Taski, La Milagrosa, San Martin (Vipesa), Rookaazul, Compañía Trelles, Atenas, Agregados Santa Isabel, CyM Cia. Ltda., La Virginia, Llatcon, Libre Aprovechamiento MTOP Cojitambo, Cochancay, Guayaquil 2.

## 4.2.2. Selección de las minas a caracterizar

Dentro de los materiales a analizar se contempla las siguientes minas de mayor relevancia para el sector, tales como: La Virginia, Rookaazul, Atenas, Cerro Tamuga. Todas estas minas

cercanas al sector El Descanso y de gran importancia ya sea por ser un material relativamente nuevo y del cual no se tiene mayor información pública (caso Mina Cerro Tamuga y Mina Virginia) o por ser minas de renombre en el sector como el caso de las Minas Atenas y Rookaazul.

#### 4.2.2.1. Mina Cerro Tamuga

El material procedente del Cerro Tamuga corresponde al obtenido de la segunda etapa de estabilización que se está desarrollando en el área de la Josefina. Con las coordenadas UTM (WGS 84), Zona 17M (738806.00 m E, 9683540.00 m S).

Este material tiene una gran importancia en el área de la construcción, ya que la zona de la Josefina ha sido muy llamativa para la extracción de agregado pétreo en la construcción desde hace varias décadas (Ver Figura 4).

Con lo referente a la caracterización del material, resulta sumamente interesante, ya que por el momento no se ha encontrado datos de caracterización del mismo, al ser relativamente actual este proceso de extracción y la finalización de esta segunda fase de estabilización.

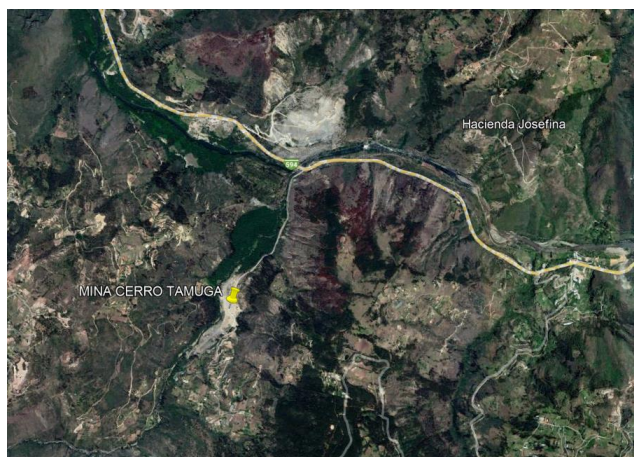


Figura 4 Ubicación Mina Cerro Tamuga

Fuente: Google Earth

#### 4.2.2.2. Mina La Virginia

Mina La Virginia, en la Trituradora La Virginia, ubicada al norte del Cantón Paute, entre el cantón El Pan y el poblado Guachapala, ver Figura 5. Con las coordenadas UTM (WGS 84),

Zona 17M (751231.00 m E, 9694714.00 m S). Mina que actualmente se encuentra extrayendo material de una nueva voladura.



Figura 5 Ubicación Mina La Virginia

Fuente: Google Earth

### 4.2.2.3. Mina Rookaazul

Mina Rookaazul, ubicada en el sector El Descanso, ver Figura 5. Con las coordenadas UTM (WGS 84), Zona 17M (735863.00 m E, 9686040.00 m S).

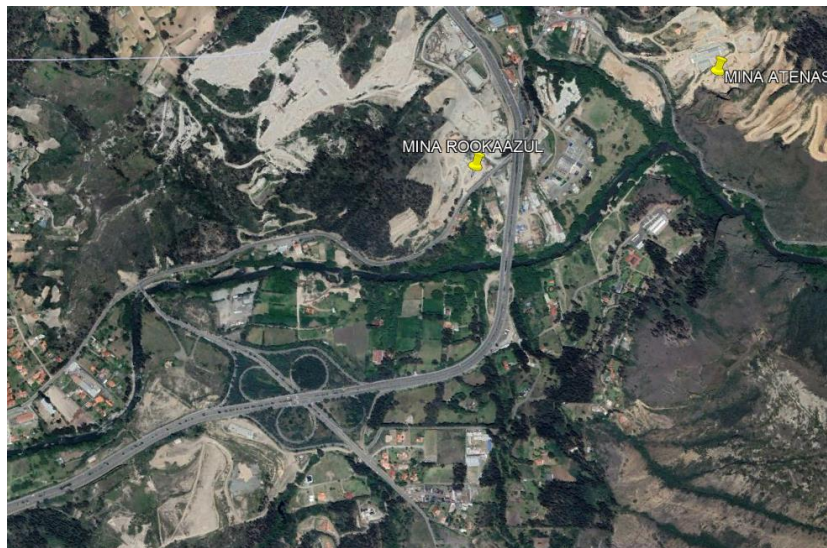


Figura 6 Ubicación Mina Rookaazul

Fuente: Google Earth

#### 4.2.2.4. Mina Atenas

La Mina Atenas, también conocida como La Mina Graitman, está ubicada en el sector El Descanso, ver Figura 7. Con las coordenadas UTM (WGS 84), Zona 17M (736613.00 m E, 9686300.00 m S). Anteriormente conocida como mina La Victoria II perteneciente a Hormicroto.



Figura 7 Ubicación Mina Atenas

## 5. Resultados y Discusión

### 5.1. Análisis geológico

A continuación, se detalla la información referente a la procedencia geológica del material, información obtenida en base a las hojas geológicas, las cuales son una representación cartográfica de la composición geológica de un terreno, donde se explica la estratigrafía, formaciones geológicas, fallas geológicas e información de relevancia.

Aclarar que las hojas geológicas corresponden a una representación a gran escala del material y para realizar un análisis más a fondo es necesario metodologías más precisas y visitas de campo, para cada mina. Razón por la cual los resultados presentados en esta sección son generales.

A fin de estudiar las características geológicas de las minas de interés de la provincial del Azuay es necesario el empleo de las cartas geológicas “Azogues HOJA 73-NW 1974”, “Girón 54-B NVI-B 2009”, “Gualaceo Hoja 73-C Ñ V-E 3 2018”, “Cuenca 53 CT-NV-F4 2009” y “Sigsig Hoja 74-A Ñ VI-A 2017”. Estas hojas geológicas se las pueden encontrar en Anexo A Hojas Geológicas.

Dentro de las hojas geológicas se puede encontrar el mapa de la zona estudio, donde mediante símbolos geológicos, símbolos topográficos y la leyenda estratigráfica se describe los elementos y la composición geológica del lugar analizado. Además, esta incluye una breve descripción geológica donde se explica más a detalle los diferentes elementos.

#### 5.1.1. Mina Cerro Tamuga

Con lo concerniente a la geología del material, la cumbre del Cerro Tamuga se encuentra sobre la Unidad Alao-Paute del Jurásico, donde se encuentran meta-andesitas y esquistos sericíticos.

Junto a esta unidad se encuentra un cuerpo rocoso intrusivo denominado Diorita El Descanso, las cuales seguramente por problemas de inestabilidad dieron paso a un depósito coluvial.

Este depósito coluvial del Cuaternario, produce un deslizamiento rotacional de rocas dentro de la zona de La Josefina, caracterizado por la acumulación gradual de sedimentos y

fragmentos de roca, los cuales han sido sometidos a procesos de meteorización. Estos sedimentos y fragmentos de roca se encuentran dispuestos en una matriz arcillosa.

Estos elementos a su vez se encuentran junto a la Unidad Alao-Paute del Jurásico, donde se encuentran meta-andesitas y esquistos sericíticos. Se puede apreciar a detalle en la Figura 8.

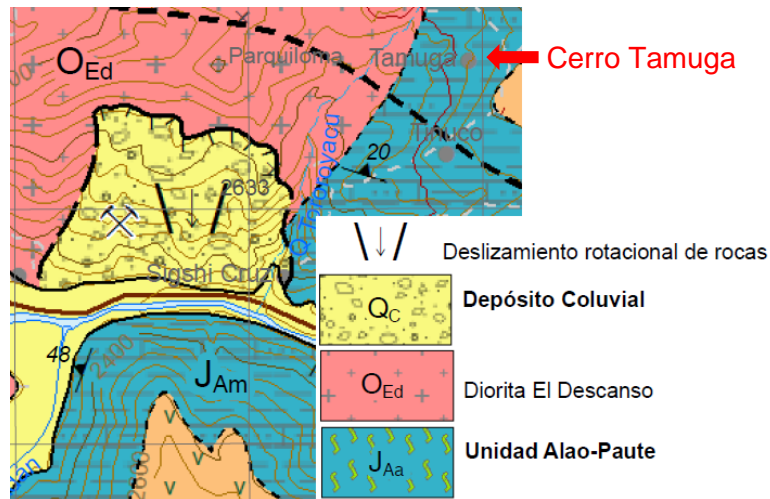


Figura 8 Geología Cerro Tamuga

Fuente: Gualaceo Hoja 73-C Ñ V-E 3 2018

### 5.1.2. Mina La Virginia

La mina se encuentra asentada sobre la Serie Paute, del Cretáceo, conformada por los meta-volcánicos de San Francisco, que se encuentra entre un depósito superficial de volcánicos de Llaqueo, que se caracteriza por la predominancia de aglomerados y tobas blancas estratificadas, y un depósito aluvial que se encuentra a lo largo del río Paute. Se puede apreciar a detalle en la Figura 9.



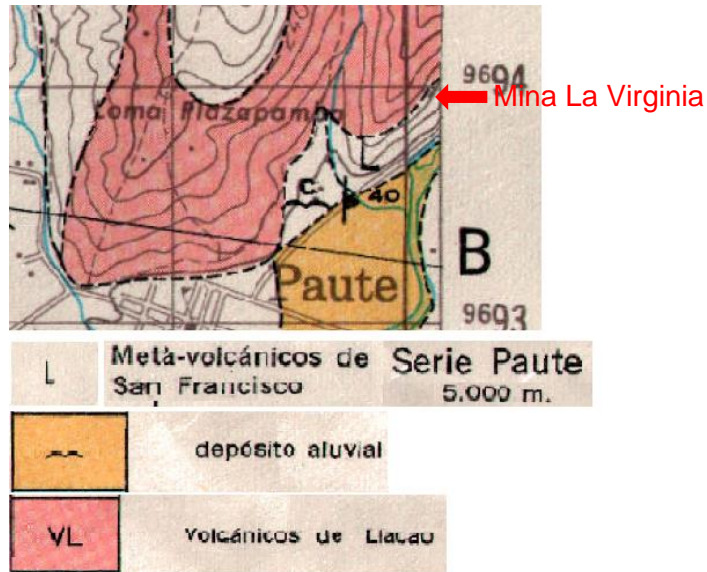


Figura 9 Geología La Virginia

Fuente: Azogues HOJA 73-NW 1974

### 5.1.3. Mina Rookaazul

La mina se encuentra ubicada sobre el Miembro El Carmen, perteneciente a la formación Azogues, del Mioceno, caracterizado por estar conformado por una secuencia de tobas, litoarenitas de composición volcánica y conglomerados finos en una menor proporción y junto a la Formación Mangán, también del Mioceno, formado por una intercalación métrica de areniscas tobáceas, limoarenitas, conglomerados finos, limolitas y vetas de carbón, se puede apreciar a detalle en la Figura 10.

Por las características de las formaciones mencionadas esta locación no pareciera una zona geológica aprovechable, según investigación en campo se conoce que a más de emplear material de la zona se complementa con agregados pétreos del sector Santa Isabel, a fin de mejorar las características y cumplir con las especificaciones que determina la norma.

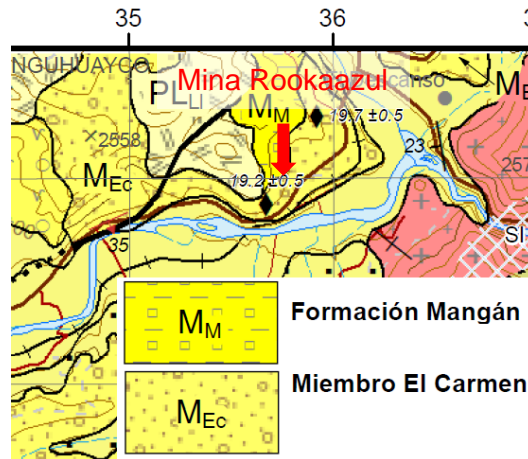


Figura 10 Geología Rookaazul

Fuente: Fuente: Gualaceo Hoja 73-C Ñ V-E 3 2018

**5.1.4. Mina Atenas**

Se encuentra asentada sobre un cuerpo rocoso denominado Diorita El Descanso, el cual se ha formado en el interior de la tierra y se presenta como una masa intrusiva en la región intrusión conocida como Diorita El Descanso, roca intrusiva que la misma Hoja geológica Gualaceo en su sección “Geología Económica” la describe como una fuente de material de construcción que se extrae de la zona, principalmente como Base y Sub-base. Ver Figura 11.

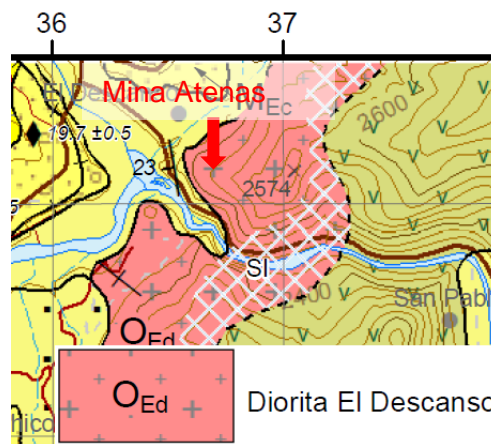


Figura 11 Geología Atenas

Fuente: Fuente: Gualaceo Hoja 73-C Ñ V-E 3 2018

Adicionalmente, la mina se encuentra localizada entre el Miembro El Carmen (que se describió en la mina anterior), perteneciente a la formación Azogues, del Mioceno y un afloramiento de rocas subvolcánicas del tipo Pórfido Andesítico.

Además, mencionar que el material se complementa con arena del sector Pindilig, a fin de mejorarlo y cumplir con las especificaciones que determina la norma.

### 5.1.5. Formaciones geológicas de las minas del Azuay

De manera adicional, a fin de establecer las primeras pautas para un próximo estudio referente al tema de las nuevas fuentes de materiales, en la Figura 12, se detalla la formación geológica de las fuentes de materiales mencionadas para el caso de la provincial del Azuay, la información es obtenida de las cartas geológicas del Instituto Geográfico Militar.

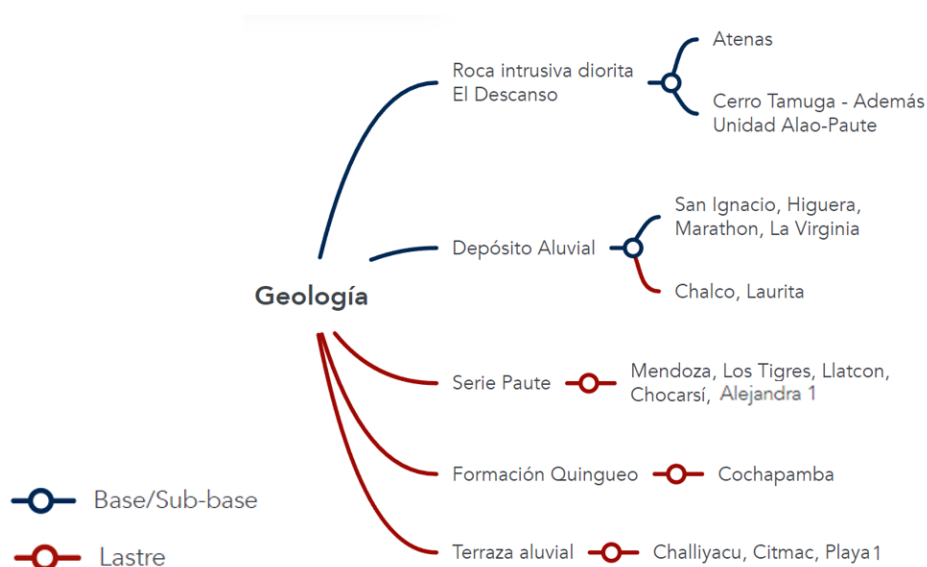


Figura 12 Geología de las fuentes de materiales del Azuay

Fuente: Elaboración propia

### 5.2. Información general obtenida

En esta sección se detalla la información obtenida, tanto por parte de las instituciones, como el GAD Municipal de Cuenca, MTOP y mediante investigación de las diferentes tesis de grado y maestría recopiladas.

En el caso del GAD Municipal de Cuenca (Tabla 8) se observa una predominancia de minas para lastre en la parroquia Nulti, donde se encuentra la mina “Los Tigres”, que corresponde a una de las fuentes de mayor importancia que se mencionó al momento de solicitar información en la Dirección de Áridos y Pétreos GAD Municipal Cuenca, siendo las otras minas “Cochapamba” y “Chalco”.

Con lo concerniente a lo consultado en la dirección de fiscalización - laboratorio de suelos GAD Municipal Cuenca y los diferentes trabajos de titulación se observa una gran cantidad de fuentes de materiales para Base y Sub-base cercanas al sector El Descanso.

Se muestran los resultados de esta investigación en Tabla 8 y Tabla 9.

La información presentada en las tablas siguientes será representada gráficamente en un mapa interactivo. Se detalla dicha información en el capítulo Resultados y Discusiones.

Tabla 8 Material tipo Lastre

Fuente: Elaboración Propia

Ubicación	Mina	Información
Cantón Cuenca, Parroquia Victoria del Portete	Libre Aprovechamiento Victoria	Compuesto de tobas riolíticas.
Cantón Cuenca, Parroquia Quingeo	Libre Aprovechamiento Cochapamba	Compuesto por brechas volcánicas.
Cantón Cuenca, Parroquia Santa Ana	Concesión Minera Chalco	Compuesto por agilitas, lutitas, limolitas, areniscas, calcitas.
	Concesión Minera Laurita	
Cantón Cuenca, Parroquia Nulti	Concesión Minera Challiyacu	Compuestas por tobas areniscas.
	Concesión Minera Playa 1	Material de río.
	Concesión Minera Citmac	
	Libre Aprovechamiento Chocarsí	Compuesto por agilitas, lutitas, limolitas, areniscas, calcitas.
	Concesión Minera Los Tigres	
	Concesión Minera Alejandra 1	
Concesión Minera Llatcon (unificada)		
Cantón Cuenca, Parroquia Llaqueo	Permiso Artesanal Lourdes	Material de río -fuera de funcionamiento-.
Cantón Cuenca, Parroquia Santa Ana	Permiso Artesanal Mina Mendoza	Material de río.

Tabla 9 Material tipo Base/Sub-base

Fuente: Elaboración Propia

Ubicación	Mina	Información
Provincia del Azuay, cantón Gualaceo, parroquia San Juan	Taski	Material tipo Base (GAD Cuenca, 2022).
Provincia del Azuay, cantón Cuenca, parroquia Llacao, sector El Descanso	San Martín (VIPESA)	“La materia prima la obtienen de una cantera ubicada en el cantón Paute de terceras personas”. Material tipo Base, Sub-base, Material triturado $\frac{3}{4}$ , Mejoramiento y polvo de trituración (Brito & Gutiérrez, 2022).
	ROOKAAZUL	Material tipo Base, Sub-base y material de construcción de $\frac{3}{4}$ , $\frac{3}{8}$ y polvo de trituración. (Brito & Gutiérrez, 2022).
	Compañía Trelles	Adquiere material de terceros, ya que no posee canteras propias. Material tipo Base y Sub-base (Brito & Gutiérrez, 2022).
Provincia del Azuay, cantón Paute, Parroquia San Cristóbal	ATENAS	Material tipo Base, Sub-base, mejoramiento y material de construcción (1, $\frac{1}{4}$ , $\frac{3}{4}$ , $\frac{3}{8}$ y polvo de trituración) (Brito & Gutiérrez, 2022).
	C y M Cia. Ltda.	Material triturado $\frac{3}{4}$ , $\frac{3}{8}$ y polvo de trituración. (Brito & Gutiérrez, 2022).
Provincia del Azuay, cantón Paute, Parroquia Dugdug	La Virginia	Extrae material de las minas Virginia e Higuera. Material tipo Base, Sub-base y de construcción ( $\frac{3}{4}$ , $\frac{1}{2}$ , $\frac{3}{8}$ , $\frac{5}{8}$ y polvo de trituración) (Brito & Gutiérrez, 2022).
Provincia del Azuay, cantón Cuenca, Parroquia Nulti	Llatcon	Material de mejoramiento tipo Lastre (GAD Cuenca, 2022).
Provincia del Azuay, cantón Santa Isabel, Parroquia Santa Isabel	Agregados Santa Isabel	Material tipo Base, Sub-base y mejoramiento (GAD Cuenca, 2022).
	La Milagrosa	Compuesto por Piedra de Río, Material tipo Base (GAD Cuenca, 2022).
Provincia del Cañar, cantón Azogues, parroquia Cojitambo	Libre Aprovechamiento MTOP Cojitambo	Material pétreo empleado para la construcción de la cicloruta Cuenca-Azogues-Biblián, durante el proyecto de Reconstrucción de la Vía Rápida Cuenca-Azogues-Biblián (MTOP, 2020).
Provincia del Cañar, cantón La Troncal, parroquia La Troncal. A lo largo del río Bulubulu	COCHANCA Y	Material a emplearse dentro del proyecto CONFLICTOS DE MOVILIDAD DE LA AUTOPISTA CUENCA – AZOGUES – BIBLIÁN. Material tipo Mejoramiento, Sub-base, Base, apto para Hormigón asfáltico y Hormigón hidráulico (MTOP, 2019).

Provincia Morona Santiago, Cantón Limón Indanza, Parroquia Geneal Leonidas Plaza	GUAYAQUIL 2	Material a emplearse dentro del proyecto CONFLICTOS DE MOVILIDAD DE LA AUTOPISTA CUENCA – AZOGUES – BIBLIÁN. Material tipo Mejoramiento y Base (MTOB, 2019).
Provincia del Azuay, cantón Paute, parroquia El Cabo. Ubicaciones a lo largo del Río Paute	Higuera	Según Brito & Gutiérrez (2022), la Base no cumple ni para tipo 1A ni para tipo 1B, Material tipo polvo de trituración y puzolana. Con mezcla suelo-cemento como lo indica Brito & Gutiérrez cumple para Base 1B.
	Mina Virginia, San Ignacio y Marathon	Tepán (2022) en el análisis hecho al Río Paute indica que obtiene material de la mina La Virginia, pero retira los finos al no ser procedentes del río Paute, además de San Ignacio y Marathon, se realizó mezclas de las características para Base tipo 1B y cumple en todas las características menos el límite superior de la granulometría.
Provincia del Azuay, cantón Paute, parroquia Nulti	Llatcon	Según Brito & Gutiérrez (2022), el material tiene un índice plástico demasiado alto para Base, mezclas suelo-cemento permiten un material no plástico apto para Base.
		Según Carpio (2014), pese a sus inaceptables características de plasticidad, el material procedente de la mina de Llatcon puede clasificarse como material de mejora con suelo seleccionado debido a su valor de CBR cercano al 40,75%.

### 5.3. Resultado de los ensayos de laboratorio

En la sección siguiente se describe los resultados obtenidos para cada material analizados.

#### 5.3.1. Ensayo de Granulometría

En base al análisis granulométrico se obtuvo los diámetros D10, D30 y D60, con los que se determina los coeficientes de curvatura y uniformidad. A partir de estos datos calculados se clasifica el suelo según las normativas AASHTO y SUCS.

La mayoría de los materiales en la clasificación AASHTO encajan dentro del grupo A-1, que corresponde al material de mejores características, bien gradado de arena y grava, con pequeños contenidos de arcilla, exceptuando a los materiales tipo Base de la mina Cerro

Tamuga y tipo Mejoramiento de la mina Virginia, que pertenecen al grupo A-2, conformados por gravas y arenas limosas/arcillosas.

Dentro de la clasificación SUCS se aprecia que la mayoría de suelos son GP, suelos mal gradados, mientras que la mina Rookaazul presenta suelos GW, es decir bien gradadas. De igual forma el material de la mina RookaAzul y la Sub-base de Atenas son GM, suelos limosos, el resto de materiales corresponde a suelos arcillosos, GC.

Se observa en la Tabla 10 que para todos los casos el D10 es menor a 1mm y el D60 es mayor en los materiales esperados como Mejoramiento y Sub-base y gráficamente en la Figura 13.

Tabla 10 Resumen Granulometría

Material tipo		Base				Sub-base		Mejoramiento
Mina		Atenas	Rooka Azul	Tamuga	Virginia	Atenas	Rooka Azul	Virginia
Norma	AASHTO	A-1a	A-1a	A-2-4	A-1a	A-1a	A-1a	A-2-4
	SUCS	GP-GC	GW-GM	GP-GC	GP-GC	GP-GM	GW-GM	GP-GC
D60 (mm)		10.51	7.08	14.85	9.84	17.48	20.39	36.08
D30 (mm)		2.76	1.08	5.18	2.32	6.13	3.25	7.32
D10 (mm)		0.23	0.09	0.27	0.09	0.51	0.24	0.19
Cu		46.04	74.17	54.47	111.72	34.52	85.12	185.32
Cc		3.18	1.72	6.62	6.20	4.25	2.16	7.64

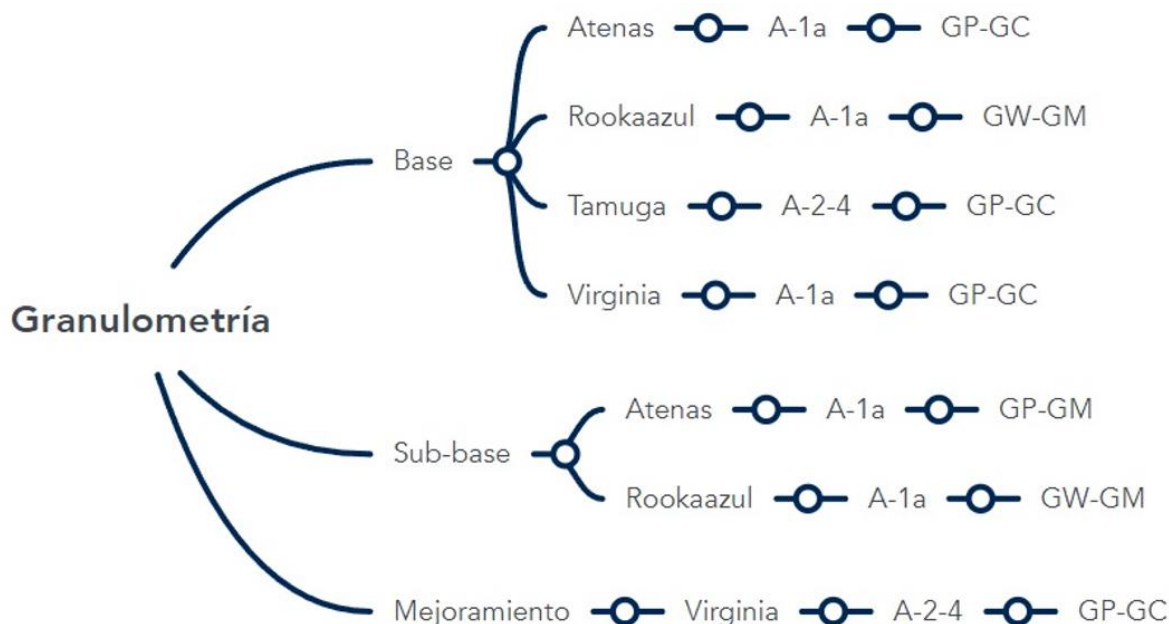


Figura 13 Resumen Granulometría

### 5.3.2. Ensayos Límites de Atterberg

Los resultados de los ensayos para límites de Atterberg se detallan en la Tabla 11.

Tabla 11 Resumen Límites de Atterberg

Material tipo	Base				Sub-base		Mejoramiento
	Atenas	RookaAzul	Tamuga	Virginia	Atenas	RookaAzul	Virginia
Límite líquido (%)	22	21	25	21	23	23	25
Límite plástico (%)	20	17	17	17	21	17	17
Índice Plástico (%)	2	4	8	4	2	6	8

Los suelos se clasifican en no plásticos ( $IP=0$ ), débilmente plásticos ( $1 < IP < 7$ ), medianamente plástico ( $7 < IP < 17$ ) y altamente plásticos ( $IP > 17$ ), (Crespo, 2004).

Los suelos tipo Base de Atenas, RookaAzul, Virginia y tipo Sub-base de Atenas y RookaAzul son débilmente plásticos, es decir, pueden presentar cierta deformación, pero no es significativa. Mientras que el material tipo Base de Tamuga y tipo Mejoramiento de Virginia son medianamente plásticos, estos materiales pueden deformarse más que los anteriores, pueden mantenerse así más tiempo que el anterior e incluso ser permanente.

Los porcentajes de humedad correspondiente al índice plástico varían en un rango del 2% al 8%.

### 5.3.3. Ensayo de Proctor modificado

Los materiales mostrados en la Figura 14 presentan densidades secas máximas que varían entre  $2.011 \text{ g/cm}^3$  y  $2.305 \text{ g/cm}^3$ . Además, en lo concerniente a Bases, el material proveniente de la mina Atenas requiere de la mayor humedad (9.5%) para llegar a la densidad seca máxima. Por otro lado, la mina Virginia tan solo necesita un 5.71%, lo que resulta mejor in situ puesto que representa una menor cantidad de agua.



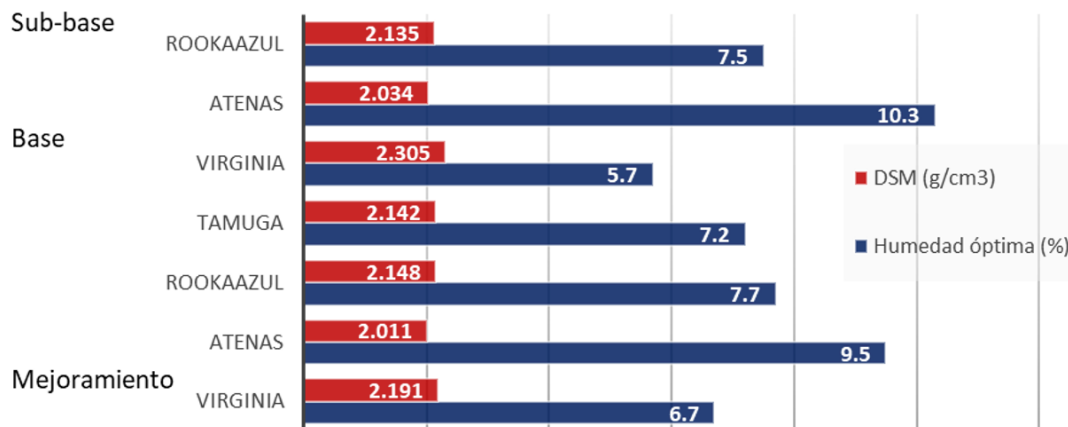


Figura 14 Resumen Ensayo Proctor Modificado

### 5.3.4. Ensayo de Desgaste

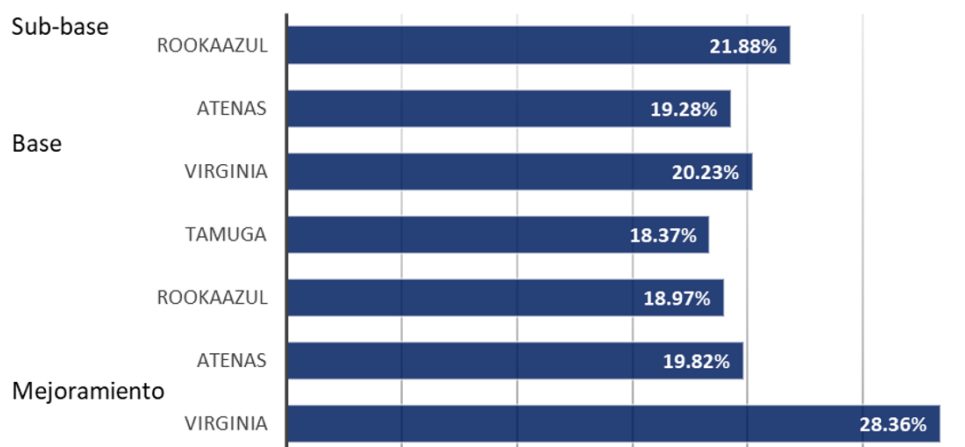


Figura 15 Resumen Ensayo Desgaste

Los porcentajes de desgaste encontrados para los materiales en análisis varían entre 18.37% y 28.36%.

Los materiales de Base presentan en promedio el menor desgaste, seguidos de los materiales de Sub-base y finalmente el material de Mejoramiento analizado. Comportamiento esperado debido a los propios requerimientos del material.

Los porcentajes de desgaste para materiales de Base varían entre 18.37% y 20.23%, para Sub-base entre 19.28% y 21.88%.

### 5.3.5. Ensayo CBR

Con el propósito de revisar el valor de soporte en estudio, se ejecutan ensayos CBR, mismos que fueron realizados en el laboratorio del Gobierno Provincial del Azuay. En todos los casos se ejecutaron al menos 2 ensayos, ya que el valor de soporte obtenido en la deformación de 0.2 in fue mayor que para 0.1 in, tal como lo indica la norma y como se detalló anteriormente. Se observa un resumen de los resultados en la Tabla 12.

Con el fin de eliminar cualquier posible error de calibración del equipo debido a que se estaban obteniendo resultados elevados se optó por realizar un segundo ensayo para el material tipo Sub-base de la mina RookaAzul y de Base de Atenas, y un tercer ensayo para el material de Base de RookaAzul en el laboratorio de geotecnia y materiales de la Universidad de Cuenca. Recalcar que para cada ensayo se tomó un saco diferente de material.

Tabla 12 Resumen Resultados CBR

Material		Base							
Mina		Atenas		RookaAzul		Tamuga		Virginia	
#	Golpes	0.1 in	0.2 in	0.1 in	0.2 in	0.1 in	0.2 in	0.1 in	0.2 in
1	10	24.05	33.42	15.01	23.29	38.98	50.49	7.8	7.05
	25	89.37	108.17	98.43	102.18	51.36	66.80	38.28	38.68
	56	195.28	260.38	148.66	198.21	64.72	86.73	73.51	86.53
2	10	--	--	11.87	16.84	39.08	49.77	5.60	6.58
	25	88.61	103.95	52.87	69.04	51.41	65.76	33.53	38.34
	56	166.34	221.79	145.85	177.41	68.87	86.81	76.89	90.87
3	25	--		76.76	88.16	--			
	56	--		152.85	198.40	--			

Material		Sub-base				Mejoramiento	
Mina		Atenas		RookaAzul		Virginia	
#	Golpes	0.1 in	0.2 in	0.1 in	0.2 in	0.1 in	0.2 in
1	10	32.50	44.19	36.08	48.44	5.51	6.33
	25	72.44	98.81	49.75	66.33	21.18	23.26
	56	152.54	203.39	58.06	77.41	29.88	30.74
2	10	31.17	41.88	--	--	5.01	6.41
	25	77.31	101.64	46.93	64.17	20.68	23.35
	56	152.25	203.76	65.59	87.45	28.52	31.39

## 5.4. Comparativa de los resultados con la normativa ecuatoriana

En esta sección se detallan los resultados alcanzados gracias a la caracterización de los materiales seleccionados y se compara con la normativa MOP-001-F 2002.

La notación usada en este capítulo es: Mina Material, así por ejemplo el material de Sub-base de la Mina Rookaazul será denotado Rookaazul Sub-base.

Se determina la utilidad del material analizado, según el cumplimiento de las condiciones granulométricas; es decir, se determina como qué tipo de material pétreo comercial podría clasificarse, según su granulometría solamente. Con ese resultado se verifica que los requerimientos adicionales se cumplan y entonces se emite una conclusión sobre el uso real que se podría dar al material.

Las granulometrías de los materiales deben encontrarse dentro de las especificaciones (límites) que dicta la normativa, se analiza todos los materiales dentro de los límites de las diferentes Bases y Sub-bases, teniéndose en cuenta que la misma depende del proceso de trituración, del cual, si se cambia la presión, la velocidad o equipo se produciría una diferente distribución de partículas.

A continuación, se indican las granulometrías dentro de los límites de Base Tipo 1A y 1B, y Sub-base Clase 1, Clase 2 y Clase 3.

Tabla 13 Granulometrías de las minas ensayadas dentro de los límites de la Base 1A

Fuente: Elaboración propia

Límites Base Tipo 1A								
Tamiz (mm)	Límite Inferior	Límite Superior	Atenas Base	Atenas Sub-base	Rookaazul Base	Rookaazul Sub-base	Tamuga Base	Virginia Base
50	100	100	100	100	100	92.98	100	100
37.5	70	100	100	98.24	100	84.05	98.74	100
25	55	85	93.21	75.53	96.55	66.07	83.34	96.14
19	50	80	80.62	63.38	84.56	58.18	70.73	82
9.5	35	60	56.85	40.86	66.87	45.12	45.69	59
4.75	25	50	38.89	25.53	53.4	34.8	28.42	41.72
2	20	40	25.98	17.19	38.56	25.26	20.41	27.67
0.43	10	25	13.48	9.43	19.68	12.8	11.6	15.7
0.08	2	12	5.98	4.94	9.28	6.99	6.67	9.69

Como se observa en la Tabla 13, el material del cerro Tamuga encaja perfectamente dentro de los límites de la granulometría 1A, además Rookaazul Sub-base está apenas afuera de los límites establecidos en un punto.

El material de Atenas Base, Rookaazul Base y Virginia Base cumplen para Base tipo 1B como se aprecia en la Tabla 14.

Tabla 14 Granulometrías de las minas ensayadas dentro de los límites de la Base 1B

Fuente: Elaboración Propia

Límites Base Tipo 1B								
Tamiz (mm)	Límite Inferior	Límite Superior	Atenas Base	Atenas Sub-base	Rookaazul Base	Rookaazul Sub-base	Tamuga Base	Virginia Base
50	100	100	100	100	100	92.98	100	100
37.5	100	100	100	98.24	100	84.05	98.74	100
25	70	100	93.21	75.53	96.55	66.07	83.34	96.14
19	60	90	80.62	63.38	84.56	58.18	70.73	82
9.5	45	75	56.85	40.86	66.87	45.12	45.69	59
4.75	30	60	38.89	25.53	53.4	34.8	28.42	41.72
2	20	50	25.98	17.19	38.56	25.26	20.41	27.67
0.43	10	25	13.48	9.43	19.68	12.8	11.6	15.7
0.08	2	12	5.98	4.94	9.28	6.99	6.67	9.69

Atenas Base, Rookaazul Base y Virginia Base cumplen para Sub-base clase 1, Tabla 15, además podemos observar en la Tabla 14 que son los mismo que cumplen para Base 1B.

Tabla 15 Granulometrías de las minas ensayadas dentro de los límites de la Sub-base Clase 1

Fuente: Elaboración Propia

Límites Sub-base Clase 1								
Tamiz (mm)	Límite Inferior	Límite Superior	Atenas Base	Atenas Sub-base	Rookaazul Base	Rookaazul Sub-base	Tamuga Base	Virginia Base
75	100	100	100	100	100	100	100	100
50	100	100	100	100	100	92,98	100	100
37,5	100	100	100	98,24	100	84,05	98,74	100
4,75	30	70	38,89	25,53	53,4	34,8	28,42	41,72
0,43	10	35	13,48	9,43	19,68	12,8	11,6	15,7
0,08	0	15	5,98	4,94	9,28	6,99	6,67	9,69

En la Tabla 16 se observa que Rookaazul Base y Virginia Base cumplen para Sub-base clase 2.

Tabla 16 Granulometrías de las minas ensayadas dentro de los límites de la Sub-base Clase 2

Fuente: Elaboración Propia

Límites Sub-base Clase 2								
Tamiz (mm)	Límite Inferior	Límite Superior	Atenas Base	Atenas Sub-base	Rookaazul Base	Rookaazul Sub-base	Tamuga Base	Virginia Base
75	100	100	100	100	100	100	100	100
50	100	100	100	100	100	92,98	100	100
37,5	70	100	100	98,24	100	84,05	98,74	100
4,75	30	70	38,89	25,53	53,4	34,8	28,42	41,72
0,43	15	40	13,48	9,43	19,68	12,8	11,6	15,7
0,08	0	20	5,98	4,94	9,28	6,99	6,67	9,69

En la Tabla 17 se observa que para Sub-base clase 3 se tiene rangos más permisivos por lo que solamente dos materiales no cumplen: Tamuga Base no cumple por muy poco, y Atenas Sub-base esta fuera del rango por una diferencia más fuerte.

Tabla 17 Granulometrías de las minas ensayadas dentro de los límites de la Sub-base Clase 3

Fuente: Elaboración propia

Límites Sub-base Clase 3								
Tamiz (mm)	Límite Inferior	Límite Superior	Atenas Base	Atenas Sub-base	Rookaazul Base	Rookaazul Sub-base	Tamuga Base	Virginia Base
75	100	100	100	100	100	100	100	100
50	30	100	100	100	100	92,98	100	100
37,5	30	100	100	98,24	100	84,05	98,74	100
4,75	30	70	38,89	25,53	53,4	34,8	28,42	41,72
0,43	0	70	13,48	9,43	19,68	12,8	11,6	15,7
0,08	0	20	5,98	4,94	9,28	6,99	6,67	9,69

Las gráficas de la granulometría que se muestran a continuación corresponden a los límites granulométricos a los que mejor se acomoda el material. Para el resto de gráficas granulométricas se analiza también para cada uno de los límites de Base y Sub-base, estos resultados se encuentra en el Anexo J Clasificación Granulométrica / Base y Sub-base

Se presenta, junto a las ilustraciones de granulometría, unas tablas resumen de todos los ensayos realizados para cada material, comparándolos con la normativa MOP-F-001. Referente a la información que estas tablas contienen es importante recalcar que los valores expuestos cumplen con los criterios de aproximación por redondeo conforme lo especificado en la normativa respectiva para cada ensayo. Además, mencionar que para el caso de los ensayos CBR realizados, en las tablas resumen se colocan los valores más conservadores, el porcentaje de CBR más bajo y el hinchamiento más elevado.

Los ensayos completos se pueden revisar entre los anexos: Anexo L Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Base y Anexo R Resultado de Laboratorio Mina Virginia Mejoramiento.

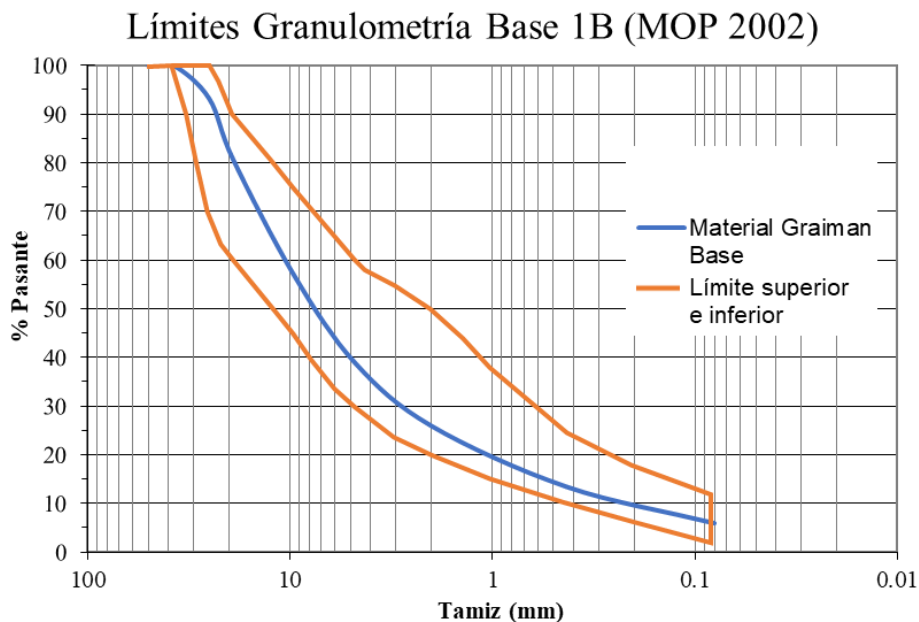


Figura 16 Granulometría Atenas (Graiman) Base y los límites de la Base 1B

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18 Características de los ensayos por la MOP-F-001 2002 de Atenas (Graiman) Base

Fuente: Elaboración Propia

Característica	Ensayo	Resultado	Unidad	Normativa Base
Límite Líquido	Límites de Atterberg	22	%	<25%
Límite Plástico		20	%	No indica
Índice Plástico		2	%	<6%
Clasificación	AASHTO	A-1a		No indica
	SUCS	GP-GC		
Humedad óptima de compactación	Proctor modificado	9.5	%	No indica
Densidad seca máxima		2.011	g/cm3	No indica
Porcentaje de desgaste de áridos	Ensayo de abrasión	19.82	%	<40%
CBR (56 golpes)	CBR	221.79	%	≥80%
Hinchamiento		0.08	%	No indica

Se aprecia en la Tabla 18 y la Figura 16 que Atenas Base posee adecuadas características como Base 1B, y de acuerdo con sus características y granulometría también clasifica como Sub-base clase 1 y clase 3. El valor de CBR más conservador es 221.79% debido a ser un valor alto se lo hizo dos veces, cambiando los sacos de material y el equipo del Gobierno Provincial del Azuay por el de la Universidad de Cuenca eliminando así cualquier posible error.

El porcentaje de CBR de 80% se alcanza con una densidad igual al 93% de la densidad seca máxima.

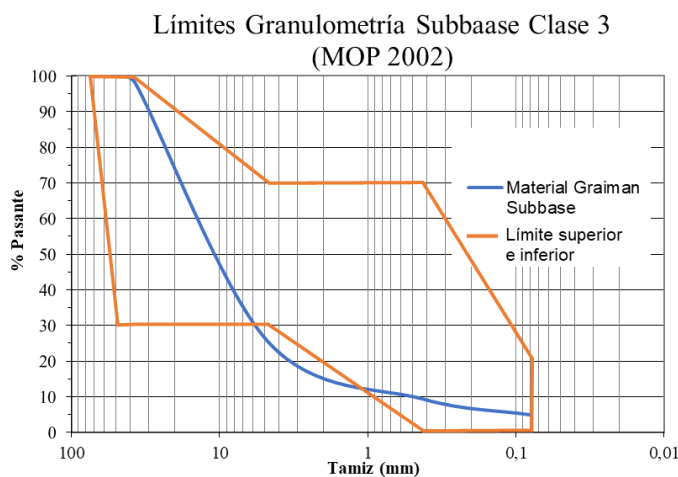


Figura 17 Granulometría Atenas (Graiman) Sub-base y límites de la Sub-base Clase 3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19 Características de los ensayos por la MOP-F-001 2002 de Atenas (Graiman) Sub-base

Fuente: Elaboración Propia

Característica	Ensayo	Resultado	Unidad	Normativa para Material Base MOP 2002
Límite Líquido	Límites de Atterberg	23	%	<25%
Límite Plástico		21	%	No indica
Índice Plástico		2	%	<6%
Clasificación	AASHTO	A-1a		No indica
	SUCS	GP-GM		
Humedad óptima de compactación	Proctor modificado	10.3%	%	No indica
Densidad seca máxima		2.034	g/cm <sup>3</sup>	No indica
Porcentaje de desgaste de áridos	Ensayo de abrasión	19.28	%	<50%
CBR (56 golpes)	CBR	203.39	%	≥30%
Hinchamiento		0.15	%	No indica

En la Figura 17 se puede observar que el material Atenas Sub-base presenta una granulometría que no se ajusta a ninguna Base ni Sub-base, pero está más cerca de ser Sub-base Clase 3, las propiedades que se indica en la Tabla 19 son ideales tanto para Sub-base como Base. El CBR que tiene, al igual que el de Atenas Base es alto.

El porcentaje de CBR de 30% se alcanza con una densidad igual al 81% de la densidad seca máxima.

Además, como se indica en el Anexo K GAD Municipal Cuenca - Resultados de Laboratorio el material presenta un límite líquido de 28.73% y un índice plástico de 5.94%, humedad óptima de 8%, una densidad seca de 2.046 g/cm<sup>3</sup> y un desgaste de 18.90%. Es preciso denotar que la única diferencia fuerte es el límite líquido del material por un 5%.



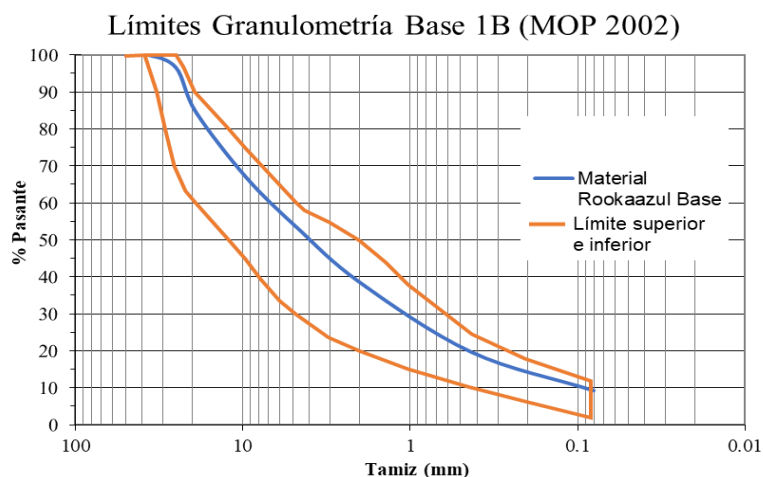


Figura 18 Granulometría Rookaazul Base y los límites de la Base 1B

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20 Características de los ensayos por la MOP-F-001 2002 de Rookaazul Base

Fuente: Elaboración Propia

Característica	Ensayo	Resultado	Unidad	Normativa para Material Base MOP 2002
Límite Líquido	Límites de Atterberg	21	%	<25%
Límite Plástico		17	%	No indica
Índice Plástico		4	%	<6%
Clasificación	AASHTO SUCS	A-1a GW-GM		No indica
Humedad óptima de compactación	Proctor modificado	7.2	%	No indica
Densidad seca máxima		2.142	g/cm3	No indica
Porcentaje de desgaste de áridos	Ensayo de abrasión	18.97	%	<40%
CBR (56 golpes)	CBR	177.41	%	≥80%
Hinchamiento		0.09	%	No indica

Las características de Rookaazul Base indicadas en la Tabla 20 son adecuadas, además de la granulometría indicada en la

Figura 18 satisface las especificaciones, por lo tanto, cumple para Base 1B, Sub-base Clase 1, Clase 2 y Clase 3. En este caso se realizó 3 veces el ensayo CBR, 2 veces en el Gobierno

Provincial del Azuay y uno en la Universidad de Cuenca, se opta por el valor más conservador de 177.41%.

El CBR de 80% se alcanza con una densidad igual al 95% de la densidad seca máxima.

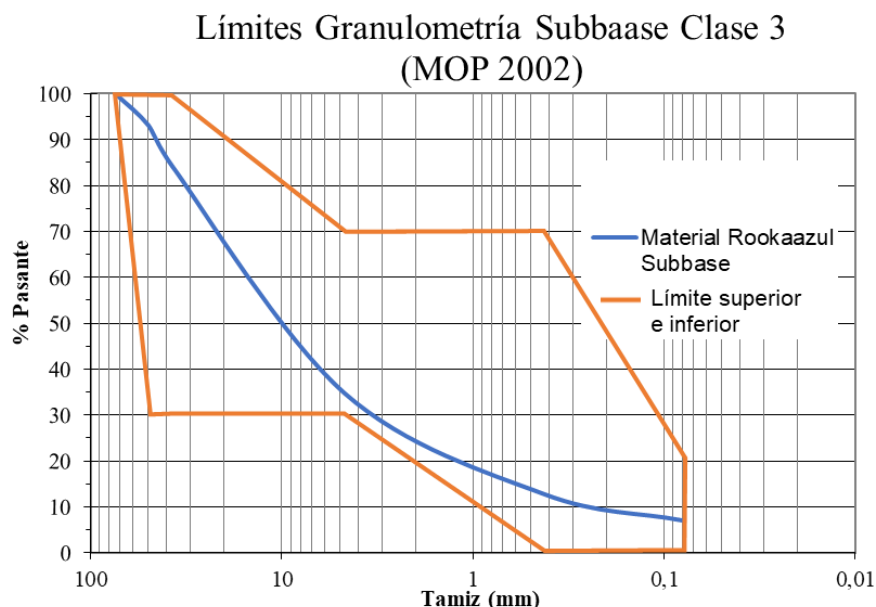


Figura 19 Granulometría Rookaazul Sub-base y los límites de la Sub-base Clase 3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21 Características de los ensayos por la MOP-F-001 2002 de Rookaazul Sub-base

Fuente: Elaboración Propia

Característica	Ensayo	Resultado	Unidad	Normativa para Material Base MOP 2002
Límite Líquido	Límites de Atterberg	23	%	<25%
Límite Plástico		17	%	No indica
Índice Plástico		6	%	<6%
Clasificación	AASHTO	A-1a		No indica
	SUCS	GW-GM		
Humedad óptima de compactación	Proctor modificado	7.5	%	No indica
Densidad seca máxima		2.135	g/cm <sup>3</sup>	No indica
Porcentaje de desgaste de áridos	Ensayo de abrasión	21.88	%	<50%
CBR (56 golpes)	CBR	77.41	%	≥30%
Hinchamiento		0.13	%	No indica

Como se observa en la Figura 19 y la Tabla 21 Rookaazul Sub-base cumple para Sub-base Clase 3.

El CBR de 30% se alcanza con una densidad igual al 92% de la densidad seca máxima.

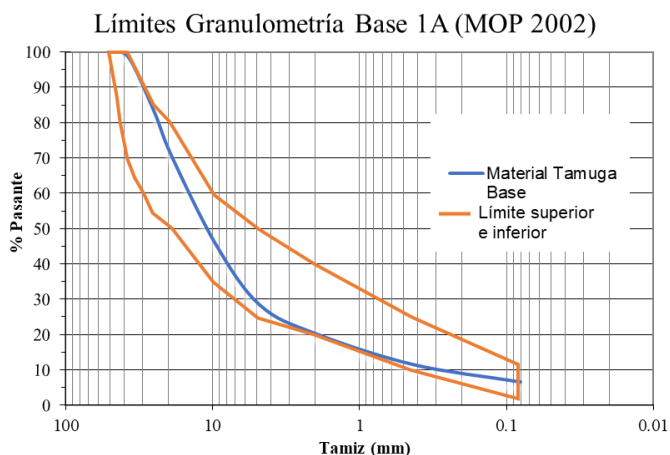


Figura 20 Granulometría Tamuga Base y los límites de la Base 1A

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22 Características de los ensayos por la MOP-F-001 2002 de Tamuga Base

Fuente: Elaboración Propia

Característica	Ensayo	Resultado	Unidad	Normativa para Material Base MOP 2002
Límite Líquido	Límites de Atterberg	25	%	<25%
Límite Plástico		17	%	No indica
Índice Plástico		8	%	<6%
Clasificación	AASHTO SUCS	A-2-4 GP-GC		No indica
Humedad óptima de compactación	Proctor modificado	7.7	%	No indica
Densidad seca máxima		2.148	g/cm3	No indica
Porcentaje de desgaste de áridos	Ensayo de abrasión	18.37	%	<40%
CBR (56 golpes)	CBR	86.73	%	≥80%
Hinchamiento		0.11	%	No indica

La granulometría resulta en Base tipo 1A como lo indica en Figura 20 Granulometría Tamuga Base y los límites de la Base 1A, también en la Tabla 22 se denota que el material Tamuga Base cumple con las características para ser una Base Tipo 1A a excepción del índice

plástico, esto indica que se necesita un mayor porcentaje de humedad para pasar de estado semisólido a líquido, esto a su vez sirve para conocer posibles asentamiento del suelo.

Esto se presenta además en la Mina Atenas y la Mina Virginia donde se agrega puzolanas, para reducir el valor de índice plástico, que resulta más factible a realizar un tamizaje del material fino a macro escala para el caso de una mina.

El CBR de 80% se alcanza con una densidad igual al 90% de la densidad seca máxima.

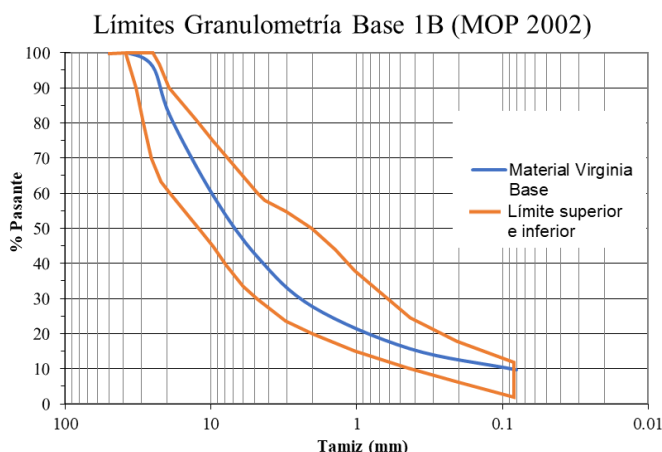


Figura 21 Granulometría Virginia Base y los límites de la Base 1B

Fuente Elaboración propia

Tabla 23 Características de los ensayos por la MOP-F-001 2002 de Virginia Base

Fuente: Elaboración Propia

Característica	Ensayo	Resultado	Unidad	Normativa Base
Límite Líquido	Límites de Atterberg	21	%	<25%
Límite Plástico		17	%	No indica
Índice Plástico		4	%	<6%
Clasificación	AASHTO	A-1a		No indica
	SUCS	GP-GC		
Humedad óptima de compactación	Proctor modificado	5.7	%	No indica
Densidad seca máxima		2.310	g/cm <sup>3</sup>	No indica
Porcentaje de desgaste de áridos	Ensayo de abrasión	20.23	%	<40%
CBR (56 golpes)	CBR	86.53	%	≥80%
Hinchamiento		0.59	%	No indica

Como lo indica la Figura 21 y Anexo J Clasificación Granulométrica / Base y Sub-base, el material cumple como Base 1B, Sub-base Clase 1, Clase 2 y Clase 3.

El porcentaje de CBR de 80% se alcanza con una densidad igual al 95% de la densidad seca máxima.

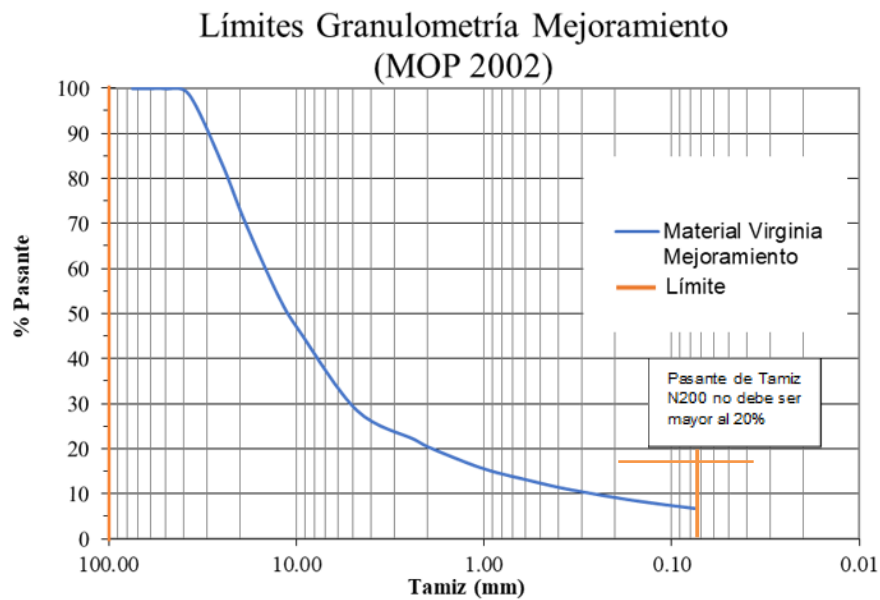


Figura 22 Granulometría Virginia mejoramiento y los límites de mejoramiento

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24 Características de los ensayos por la MOP-F-001 2002 de Virginia Mejoramiento

Fuente: Elaboración Propia

Característica	Ensayo	Resultado	Unidad	Normativa Base
Límite Líquido	Límites de Atterberg	25	%	<35%
Límite Plástico		17	%	No indica
Índice Plástico		8	%	<9%
Clasificación	AASHTO	A-2-4		No indica
	SUCS	GP-GC		
Humedad óptima de compactación	Proctor modificado	6.7	%	No indica
Densidad seca máxima		2.191	g/cm <sup>3</sup>	No indica
Porcentaje de desgaste de áridos	Ensayo de abrasión	28.36	%	No indica
CBR (56 golpes)	CBR	30.74	%	≥20%
Hinchamiento		1.44	%	No indica

El material de mejoramiento cumple con las características necesarias, Tabla 24, además la granulometría, Figura 22, solo indica que debe ser menor a 100 mm y el pasante del Tamiz N 200 es menor al 20%, de existir material mayor a los 100 mm puede ser retirado, este material por las características que posee tal como lo indica la Tabla 24 no puede ser usado como Base ni Sub-base.

El porcentaje de CBR de 20% se alcanza con una densidad igual al 93% de la densidad seca máxima.

Referente a los ensayos realizados de las minas caracterizadas se presenta la información en la Tabla 25.

Tabla 25 Información de fuentes de materiales caracterizados

Fuente: Elaboración Propia

Mina	Ubicación	Información
La Virginia	Provincia del Azuay, cantón Paute, parroquia Dugdug	Material tipo Base 1B y Sub-base clase 1, 2 y 3.
Cerro Tamuga	Provincia del Azuay, Cantón Gualaceo, Parroquia Jadán	Material Tipo Base 1A.
Atenas	Provincia del Azuay, Cantón Paute, Parroquia San Cristóbal	También llamada Atenas. Material tipo Base 1B, Sub-base clase 1 y 3.
Rookaazul	Provincia del Azuay, Cantón Cuenca, Parroquia Llaico	Material tipo Base 1B, Sub-base Clase 1,2 y 3.

De manera adicional, y a fin de proporcionar una herramienta para la rápida clasificación de material de una mina como Base, Sub-base y Mejoramiento, se ha desarrollado un programa en formato “.xslm”, como se muestra en la Figura 23.

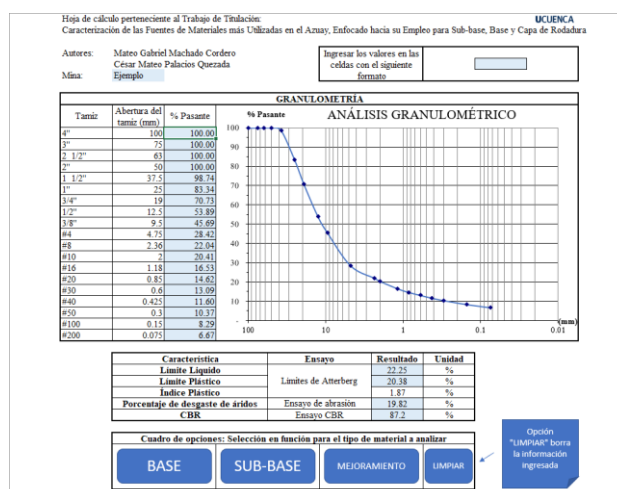


Figura 23 Programa\_Machado\_Palacios

El archivo y su respectivo manual de usuario se los pueden descargar desde el siguiente link:

<https://drive.google.com/drive/folders/1AHxVaheKfP85PixUAyW5vV2PYWZfVVEt?usp=sharing>

O mediante el siguiente código QR, ver Figura 24:



Figura 24 Código QR - Programa

### **5.5. Mapa “Fuentes de Materiales más Utilizados en el Azuay / Sub-base, Base y Capa de rodadura**

Con todos los resultados presentados se finaliza presentando un mapa compilatorio que resume a manera visual la información presentada en la Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 25. Donde se analiza las fuentes de materiales más utilizadas en el Azuay, enfocado hacia su empleo para Sub-base, Base y Capa de rodadura.

El mapa fue desarrollado en el programa QGIS, en este se ubicaron las fuentes de materiales especificadas, junto a una leyenda temática para distinguir entre material tipo Lastre y Base y/o Sub-base.

Adicional al mapa presentado se complementa con información de cada fuente de material, información consultada en las instituciones, recopilada de los diferentes trabajos de titulación y realizada por investigación propia. De igual manera el mapa producto se encuentra disponible en el código QR mostrado en la Figura 24.

Para una mejor apreciación del mapa se recomienda visualizarlo en medios digitales (Adobe Acrobat DC, Lector de pdf de Google Chrome, Nitro Pro, o similares) ya que junto a cada mina se presenta información referente a las mismas y al tipo de material que estas ofertan,

a modo de mapa interactivo. Dicha información fue colocada en el mapa empleando el programa Nitro Pro, a modo de comentario. Para observar esta información extra basta con colocar el cursor del ratón sobre el ícono de color amarillo, como se aprecia en la Figura 25.

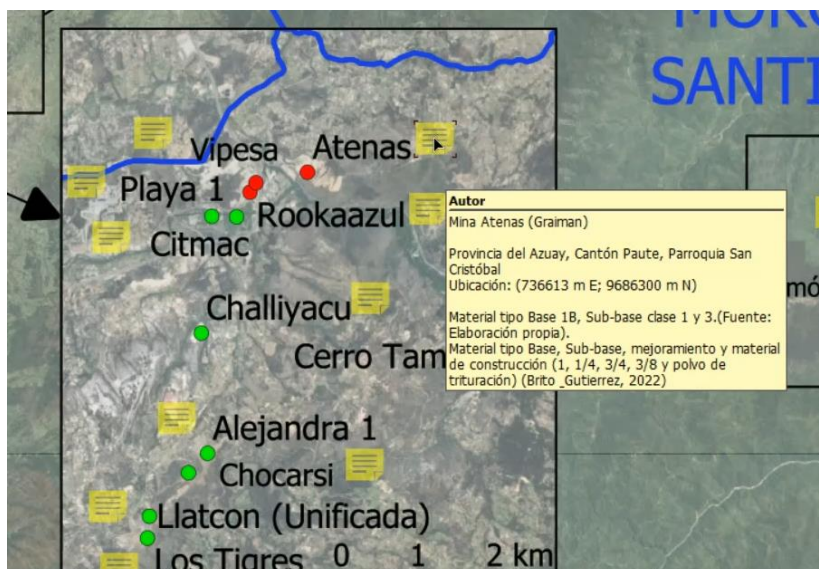


Figura 25 Mapa "Fuentes de Materiales más Utilizados en el Azuay / Sub-base, Base y Capa de rodadura (Detalle)

Fuente: Elaboración Propia



## 6. Conclusiones y Recomendaciones

### 6.1. Conclusiones

Sobre la procedencia geológica del material:

- Las minas Atenas se encuentra en una intrusión de roca diorita “El Descanso” y la mina Cerro Tamuga en la Unidad Alao-Paute, que presenta metas-andesitas y esquistos sericíticos, las cuales exhiben adecuadas características para su empleo como Base y Sub-base. Además, se observó que el material perteneciente a la mina Cerro Tamuga tiene cierta tendencia a producir formas lajosas.
- Para las minas de Base/Sub-base San Ignacio, La Higüera, Marathon y La Virginia se encuentran en un depósito aluvial, del Pleistoceno y Holoceno, compuesto por gravas redondeadas, arenas subredondeadas, entre otros, asentada sobre la serie Paute, que presenta roca meta-volcánica de San Francisco. Mientras que las minas de lastre Chalco y Laurita se encuentran en un depósito aluvial que descansa sobre la formación Yunguilla.
- Para el caso de las minas de lastre. Sobre la serie Paute, conformada por las formaciones Yunguilla, Piñon. se puede encontrar las minas de lastre Mendoza, Los Tigres, Llatcon, Chocarsí y Alejandra 1, mientras que las minas Challiyacu, Citmac y Playa 1 se hallan en una terraza aluvial sobre el miembro El Carmen. Para el caso de la mina Cochapamba descansa sobre la formación Quingeo, del Eoceno.

Después de analizar los materiales de las diferentes minas en función de los criterios establecidos para la Base y Sub-base, y considerando las granulometrías permitidas, se obtienen las siguientes conclusiones:

- El material de Base proveniente de la mina Atenas cumple con todos los requisitos establecidos para su uso, sin embargo, el material de Sub-base no encaja en ninguna de las granulometrías, siendo la más cercana la Sub-base Clase 3, discrepando solo para el tamiz 4.75 mm (en el orden de 5%).

- El material de Base y Sub-base de la mina Rookaazul cumplen con todos los requisitos establecidos para su uso como Base y Sub-base respectivamente.
- El material de Base de la mina Cerro Tamuga cumple con la granulometría requerida y los requisitos de abrasión y CBR. El índice plástico es ligeramente mayor al permitido. Por lo cual se recomienda el empleo de puzolanas, de manera similar a lo que realizan las minas del sector, ya que el material presenta muy buenas características.
- El material de Base de la mina Virginia cumple con todos los requisitos establecidos para su uso en la construcción de Base y mejoramiento.
- Es importante destacar que los materiales con valores de CBR superiores al 100% indican una buena capacidad portante, en todos los materiales caracterizados para conseguir el valor de soporte requerido de la norma se debe llegar a una densidad seca cercana al 95% de la densidad seca máxima, a excepción del material Sub-base de la mina Graiman que solo necesita un 80% de la densidad seca máxima para cumplir la normativa.
- Se observó que la mayoría de materiales no presentan problemas para cumplir granulometría tipo, presentan límites líquidos e índices plásticos aceptables, los valores de desgaste están por debajo de la mitad del porcentaje máximo permitido, el valor de CBR presenta un adecuado valor de soporte, e inclusive, en algunos casos superando ampliamente lo especificado por la normativa, a excepción de las minas indicadas anteriormente, donde los problemas presentados son menores.
- En base a la investigación y ensayos de laboratorio se constata que la calidad de las minas caracterizadas es buena, siendo el problema principal la cantidad de fuentes de materiales disponibles.

Respecto de la escasez de fuentes de materiales, a través de este estudio e investigación, se ha constatado que existe una deficiencia significativa de minas que proporcionen materiales adecuados para su uso en Capa de rodadura a nivel de lastre, tal es el caso que para muchos de los proyectos viales el material a emplearse se encuentra cada vez a mayor

distancia. Esto se debe principalmente al agotamiento de las canteras existentes en las áreas de intervención y la falta de estudio respecto a nuevas fuentes de materiales.

En cuanto a materiales de Base y Sub-base se observó una predominancia de minas en el sector El Descanso, el mismo exhibe muy buenas características que cumplen con las especificaciones técnicas. En contraste en otros sectores no es posible alcanzar esta calidad, produciendo una oferta de materiales de características inferiores (lastre).

## 6.2. Recomendaciones

Resulta interesante el análisis de las diferentes formaciones geológicas donde se encuentran asentadas las minas, de tal forma que se pueda conocer que formaciones resultan ideales para el aprovechamiento de sus materiales como Sub-base, Base y Capa de rodadura. Esto con el fin de determinar posibles nuevas fuentes de materiales para el sector, especialmente las zonas cercanas al sector "El Descanso" por las muy buenas características presentadas.

No se puede olvidar que la información pública (Hojas geológicas) a pesar de brindar mucha información, corresponde a la representación de las unidades litológicas a gran escala y que se debería realizar un estudio más profundo respecto a este tema, mediante ensayos in situ y laboratorio, se puede proporcionar información valiosa sobre las características geológicas y la distribución de los materiales en el subsuelo. Esto con el fin de comprender mejor las propiedades de posibles nuevas fuentes de materiales en el área.

Efectuar ensayos de CBR en campo a fin de comparar el desempeño in situ con los resultados obtenidos en laboratorio donde las condiciones son ideales. De este modo estudiar los procedimientos de compactación más adecuados para valores de CBR elevados.

Se recomienda realizar análisis más detallados con diferentes energías de compactación a los materiales con valores de soporte altos, para conocer de mejor manera su comportamiento, puesto que estos presentan un rápido crecimiento de su valor de CBR a partir de los 25 hasta los 56 golpes. Esta tendencia fue observada en cada uno de los ensayos CBR realizados para valores altos.

Realizar una evaluación de alternativas de materiales. Dada la escasez de minas de Base y Sub-base en la región, es importante explorar nuevas fuentes de materiales y nuevos métodos constructivos que puedan cumplir con los requisitos de calidad y desempeño. Se recomienda investigar materiales reciclados, subproductos industriales o mezclas de estos,

para su uso en Sub-base y Base. Estos estudios contribuirán a diversificar las fuentes de suministro y a reducir la dependencia de las minas existentes.

Se deja abierto la posibilidad de una caracterización a profundidad de las minas pertenecientes al sector de Santa Isabel a fin de complementar el estudio.

## 7. Referencias

- AASHTO. (1991). AASHTO M 145-91: Standard Specification for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes. Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transporte.
- AASHTO. (2018). AASHTO M43-Standard Specification for Sizes of Aggregate for Road and Bridge Construction. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2023). AASHTO Overview. Transportation.org. <https://www.transportation.org/home/organization/>
- ASTM International. (2010). ASTM D2487-06: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).
- ASTM International. (2012). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (2,700 kN-m/m<sup>3</sup>)). West Conshohocken, PA: ASTM.
- ASTM International. (2017). Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) (ASTM D2487-17). ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D2487-17>
- ASTM International. (2021). Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils. (ASTM D1883-21). West Conshohocken, PA: ASTM.
- ASTM International. (2023) Detailed overview - ASTM, Detailed overview - Overview - About Us. Available at: <https://www.astm.org/about/overview/detailed-overview.html>
- Auquilla, L., & Van den Berg, B. (2021). Prospección evaluación de recursos y propuesta de diseño de explotación para materiales áridos y pétreos en la provincia del Azuay (Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral). Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/55501>
- Bermeo, J. (2022). Información obtenida de manera oral en Base a entrevistas a personal del municipio, pertenecientes a las áreas de Unidad de Áridos, Obras Públicas, Compras públicas y Dirección de fiscalización-Laboratorio de Suelos.
- Borrero Vega, A. L. (2016). La vialidad de Cuenca y de la provincia del Azuay sorteó dificultades (I parte) Cátedra Abierta de Historia, Universidad de Cuenca. El Telégrafo. Recuperado de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional/1/la-vialidad-de-cuenca-y-de-la-provincia-del-azuay-sorteo-dificultades-i-parte>
- Brito Vásquez, L. E., & Gutiérrez López, M. S. (2022, 8 de marzo). Probabilidad de mejora de las propiedades de materiales pétreos provenientes de 2 minas de la provincia

- del Azuay (Tesis de licenciatura). Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/38509>
- Buitrago, N. R. (2010). Manual preliminar de petrografía aplicada al estudio de materiales pétreos para carreteras.
- Cárdenes, V. (2022). Canteras de Pizarra vs. Minas de Pizarra. ¿En qué se diferencian? Cupa Pizarras. <https://www.cupapizarras.com/es/actualidad/canteras-minas-pizarra-diferencias/>
- Carpio, J. P. (2014). Valoración de las propiedades geotécnicas del material de mejoramiento de la mina de Llatcon como elemento estructural para pavimentos flexibles (Tesis de maestría en Geología Aplicada y Geotecnia). Director Jaime Bojorque Ñiguez. Universidad de Cuenca. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/19962>
- Crespo, C. (2004). Mecánica de suelos y cimentaciones. México D.F: Limusa.
- Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo [CCAD]. (09 de febrero de 2012). Guías de Revisión Técnica de EIA: Minería No Metálica y Metálica. Volumen I Parte 2: Ejemplo de Términos de Referencia de EIA. Recuperado de: [https://www.sica.int/documentos/guia-de-revision-tecnica-de-evaluacion-de-impacto-ambiental-mineria-no-metalica-y-metalica-volumen-i-parte-2-ejemplo-de-terminos-de-referencia-de-eia\\_1\\_66250.html](https://www.sica.int/documentos/guia-de-revision-tecnica-de-evaluacion-de-impacto-ambiental-mineria-no-metalica-y-metalica-volumen-i-parte-2-ejemplo-de-terminos-de-referencia-de-eia_1_66250.html)
- CONGOPE, & Banco Interamericano de Desarrollo - BID. (2019). Plan Vial Integral Provincia del Azuay (Plan de Desarrollo Vial Integral, Vol. 1). CONGOPE. Recuperado de <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=plan-vial-integral-provincia-del-azuay>
- Cubides Torres, D. P., Molano Amaya, E. J., Becerra Becerra, J. E., & Bernal Villate, A. F. (2020). Caracterización mineralógica y físico mecánica de los agregados pétreos de las canteras Santa Lucia, Pie Blanco y Mina San Vicente, usados como materiales de construcción. *L'esprit Ingénieur*, 9(1), 45-68. Recuperado a partir de <http://revistas.ustatu.nja.edu.co/index.php/lingenieur/article/view/1844>
- Das, B.M. (2001). Fundamentos de ingeniería geotécnica. Sacramento: Thopsom.
- Diario El Tiempo. (2007). Explotación de áridos. Recuperado de <https://www.lahora.com.ec/pais/tiempo-88/>
- Dirección Nacional de Geología. (2009). Carta Geológica Girón 54-B NVI-B.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca [GAD Cuenca] (2019). Mapa Concesiones y Permisos mineros - Dirección de Áridos y Pétreos GAD Municipal Cuenca

- Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2010). Áridos. Muestreo. (NTE INEN 695). [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_695-1.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_695-1.pdf)
- Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (1982). Determinación del límite líquido (INEN 691:1982). Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (1982). Determinación del límite plástico (INEN 692:1982). Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2010). Áridos. Muestreo (INEN 695:2010). Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2010). Áridos. Reducción de muestras a tamaño de ensayo (INEN 2 566:2010). Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2011). Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles (NEN 860:2011). Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2011). Áridos: Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso (INEN 696:2011). Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Geográfico Militar [IGM]. (1974). Carta Geológica Azogues HOJA 73-NW.
- Instituto Geográfico Militar [IGM]. Mapa Geológico del Ecuador - hoja 73 Azogues. Quito: IGM.
- Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico [INIGEMM]. (2018). Carta Geológica Gualaceo Hoja 73-C Ñ V-E 3.
- Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico [INIGEMM]. (2017). Carta Geológica Sigsig Hoja 74-A
- International Organization for Standardization [ISO]. (2023), INEN - Servicio Ecuatoriano de Normalización. Available at: <https://www.iso.org/member/1711.html>
- Ministerio de Obras Públicas [MOP]. (2002). Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001-F.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas [MTO]. (2019). ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD, FACTIBILIDAD, IMPACTOS AMBIENTALES E INGENIERÍA DEFINITIVOS PARA LA SOLUCION DE LOS CONFLICTOS DE MOVILIDAD DE LA AUTOPISTA CUENCA – AZOGUES – BIBLIAN, UBICADOS EN LAS PROVINCIAS DE AZUAY Y CAÑAR
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas [MTO]. (2020). Estudios para la cicloruta Cuenca – Azogues – Biblián y sendas peatonales, sobre la antigua línea férrea.
- Mora, C. (2023). Cerro Tamuga entra en fase de estabilización final. Tamuga entra en fase de estabilización final. <https://elmercurio.com.ec/2023/01/30/cerro-tamuga-obras-estabilizacion-ministerio/>

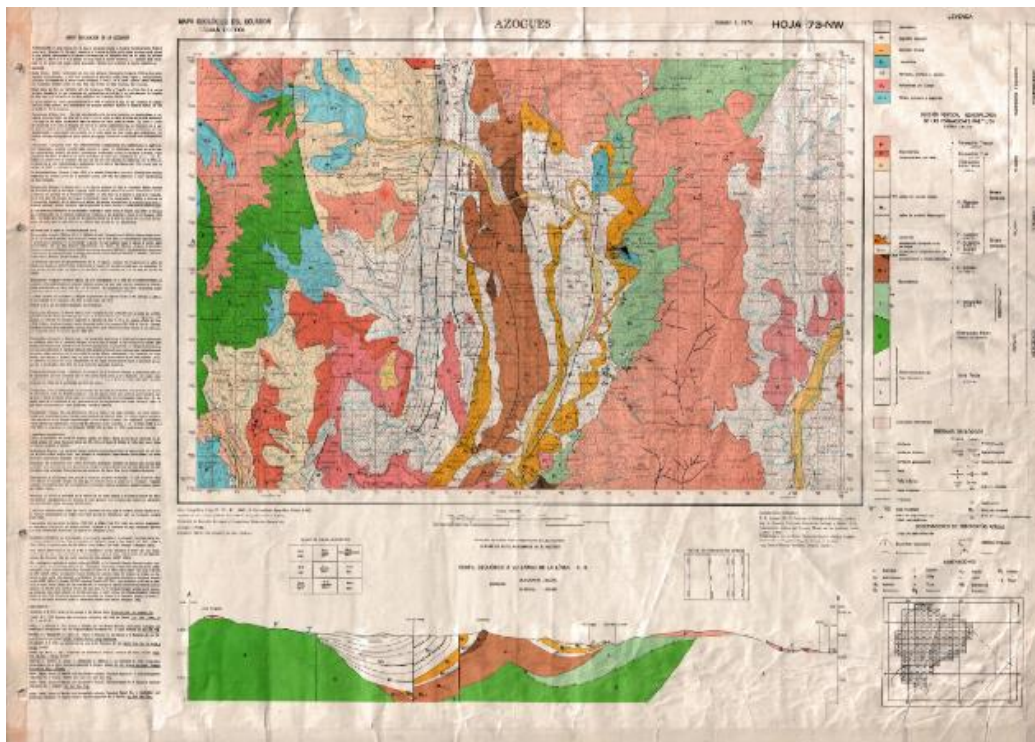
- Orellana Quezada, C. L., & Tenesaca Calle, L. F. (2023). Uso de materiales pétreos modificados para mejorar la estructura de vías urbanas en Lastre del cantón de Cuenca (Tesis de maestría). Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/41174>
- Servicio Geológico Nacional. (2009). Carta Geológica Cuenca 53 CT-NV-F4.
- Tepán Vele, X. J. (2022). Evaluación de la capacidad resistente (CBR) en bases granulares de materiales procedentes del río Paute (Tesis de maestría). Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/39460>
- Universidad tecnológica de Chile, INACAP. (2013). Propiedades de los índices de suelos. Recuperado de [http://www.inacap.cl/web/material-apoyo-cedem/alumno/Construccion/G03\\_Clasificacion\\_de\\_Suelos.pdf](http://www.inacap.cl/web/material-apoyo-cedem/alumno/Construccion/G03_Clasificacion_de_Suelos.pdf)
- Vásquez, M., & Vera, T. (2015). Análisis de la factibilidad para la implementación de una planta de trituración de materiales pétreos en la provincia del Azuay. Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9840/1/UPS-CT005110.pdf>



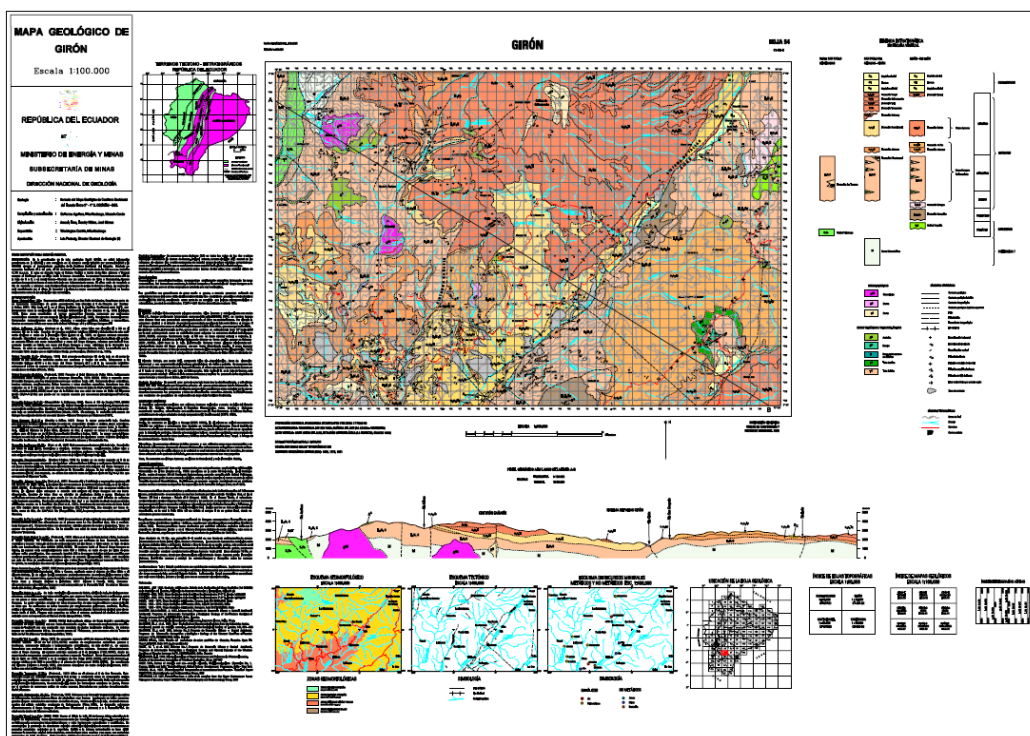
## Anexos

### Anexo A Hojas Geológicas

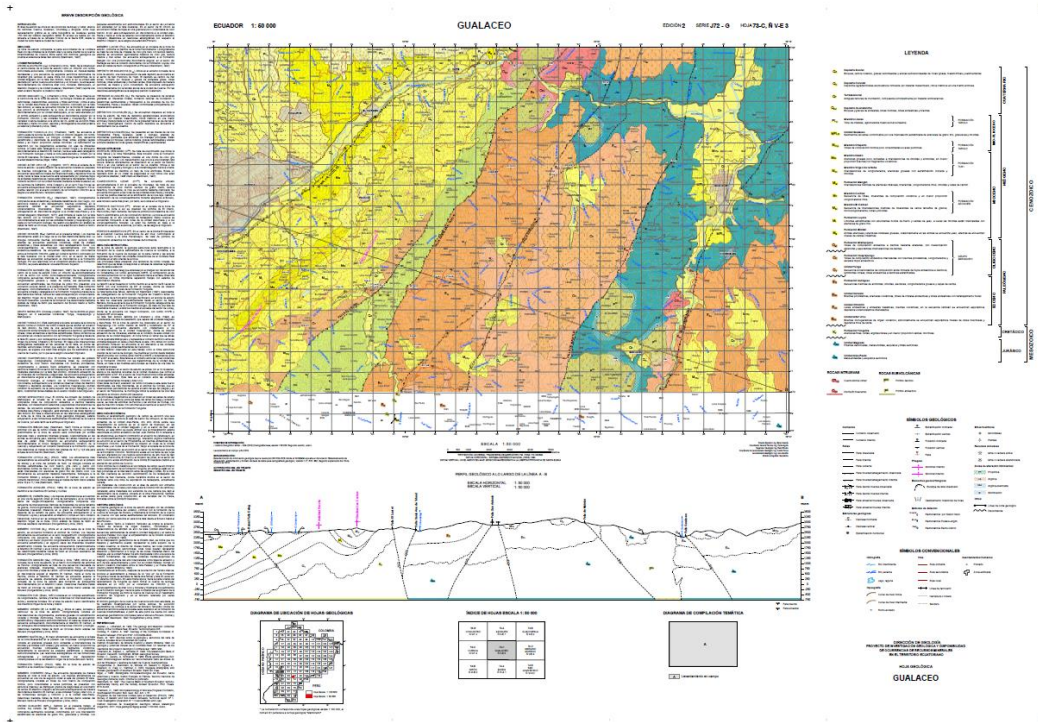
Anexo A.1. Hoja geológica Azogues - Fuente: Azogues HOJA 73-NW 1974



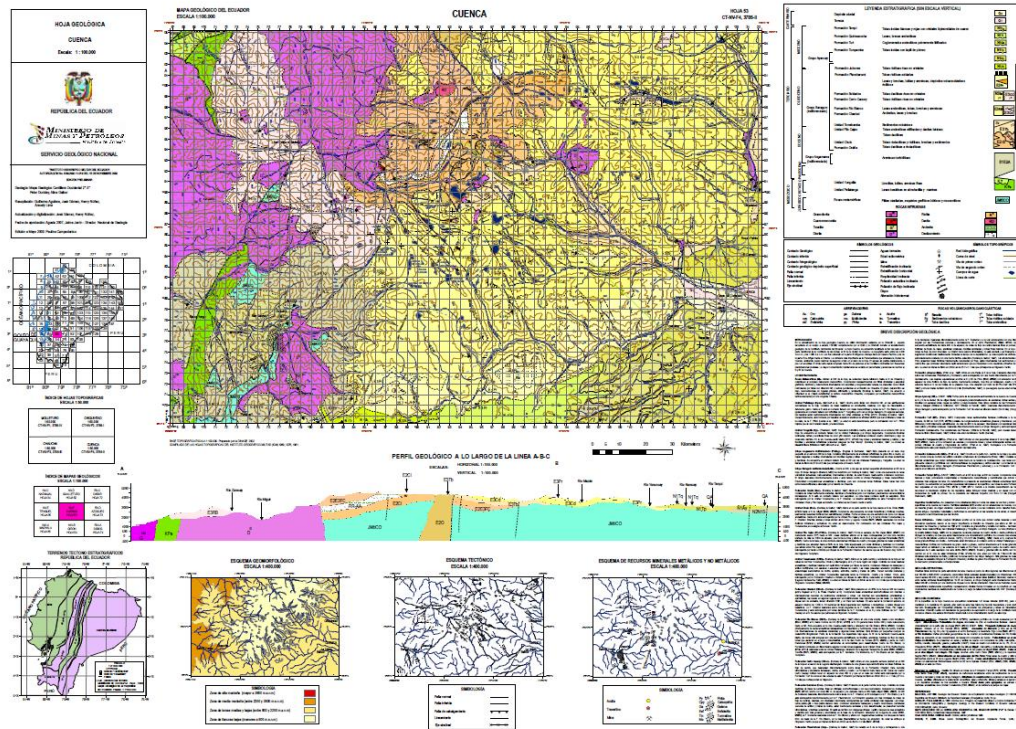
Anexo A.2. Hoja geológica Girón - Fuente: Girón 54-B NVI-B 2009



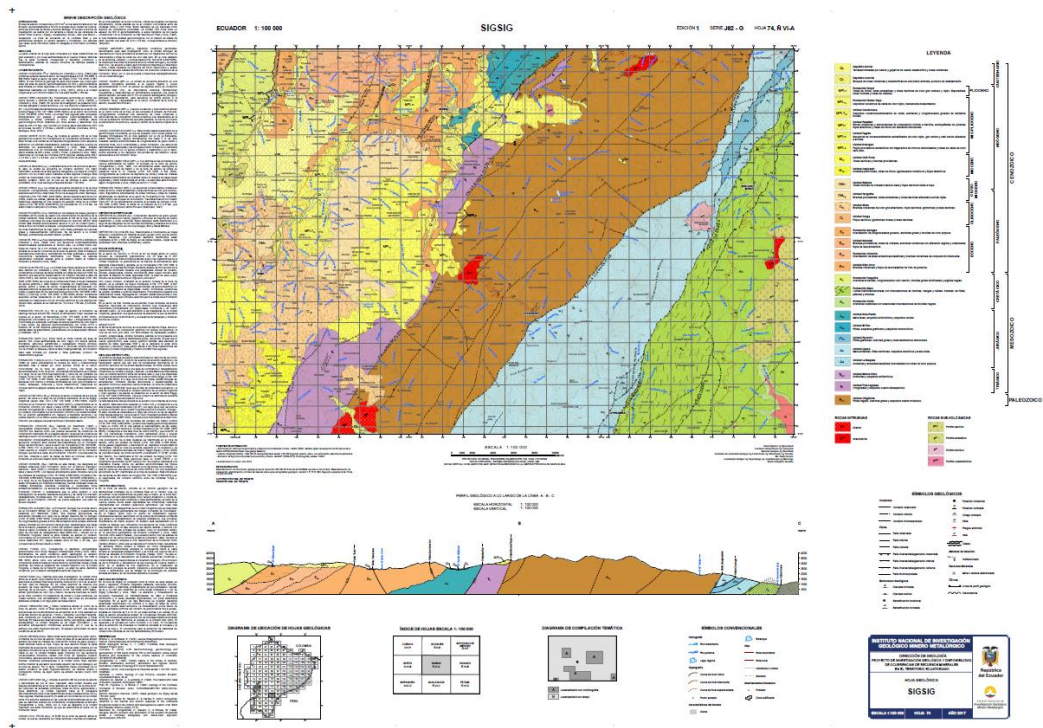
Anexo A.3. Hoja geológica Gualaceo - Fuente: Gualaceo Hoja 73-C Ñ V-E 3 2018



Anexo A.4. Hoja geológica Cuenca - Fuente: Cuenca 53 CT-NV-F4 2009



## Anexo A.5. Hoja geológica Sigsig - Fuente: Sigsig Hoja 74-A Ñ VI-A 2017



### Anexo B Elementos Hoja Geológica

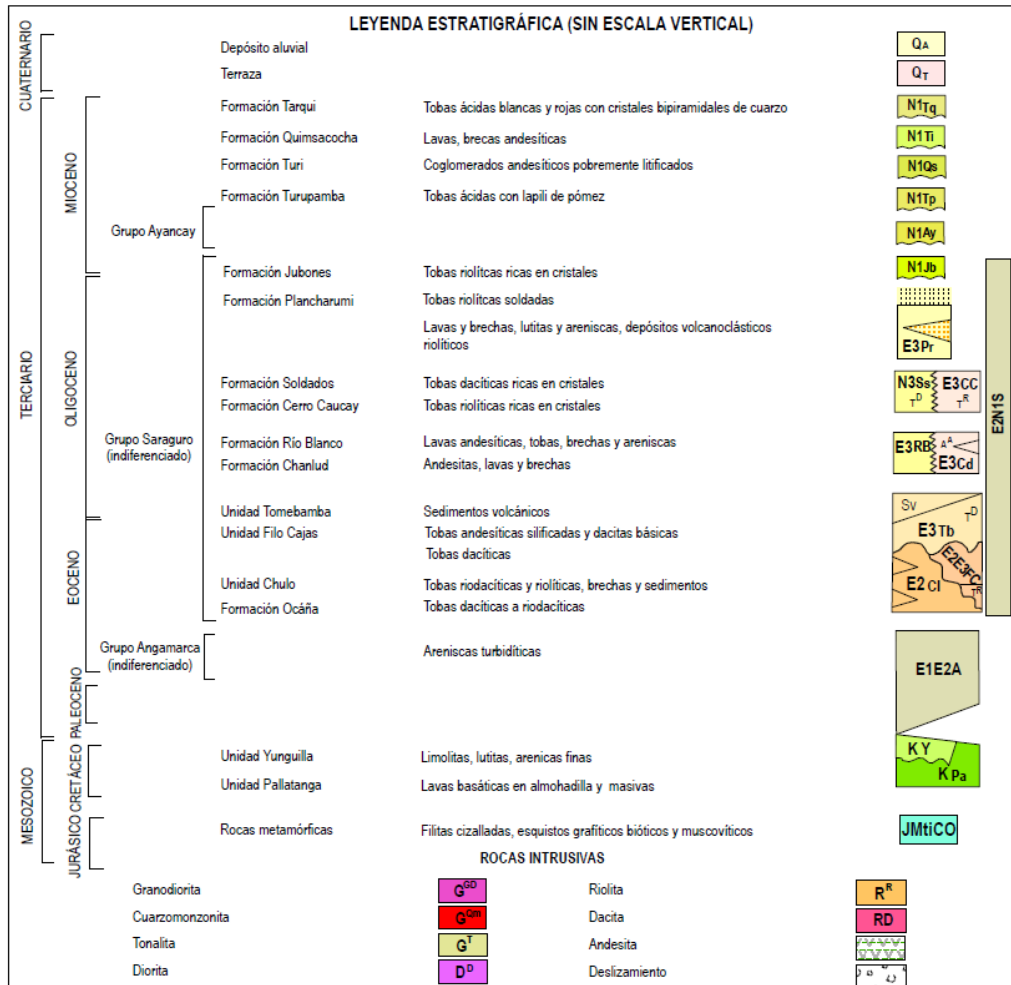
#### Anexo B.1. Ejemplo de Símbolos Geológicos - Fuente: Cuenca 53 CT-NV-F4 2009

SÍMBOLOS GEOLÓGICOS		
Contacto Geológico	—————	Aguas termales
Contacto inferido	- - - - -	Edad radiométrica
Contacto fotogeológico	—————	Mina
Contacto geológico depósito superficial	—————	Estratificación inclinada
Falla normal	—————	Estratificación horizontal
Falla inferida	- - - - -	Esquistosidad inclinada
Lineamiento	—————	Foliación autaxítica inclinada
Eje sinclinal	—*—*—*	Foliación de flujo inclinada
		Dique
		Alteración hidrotermal

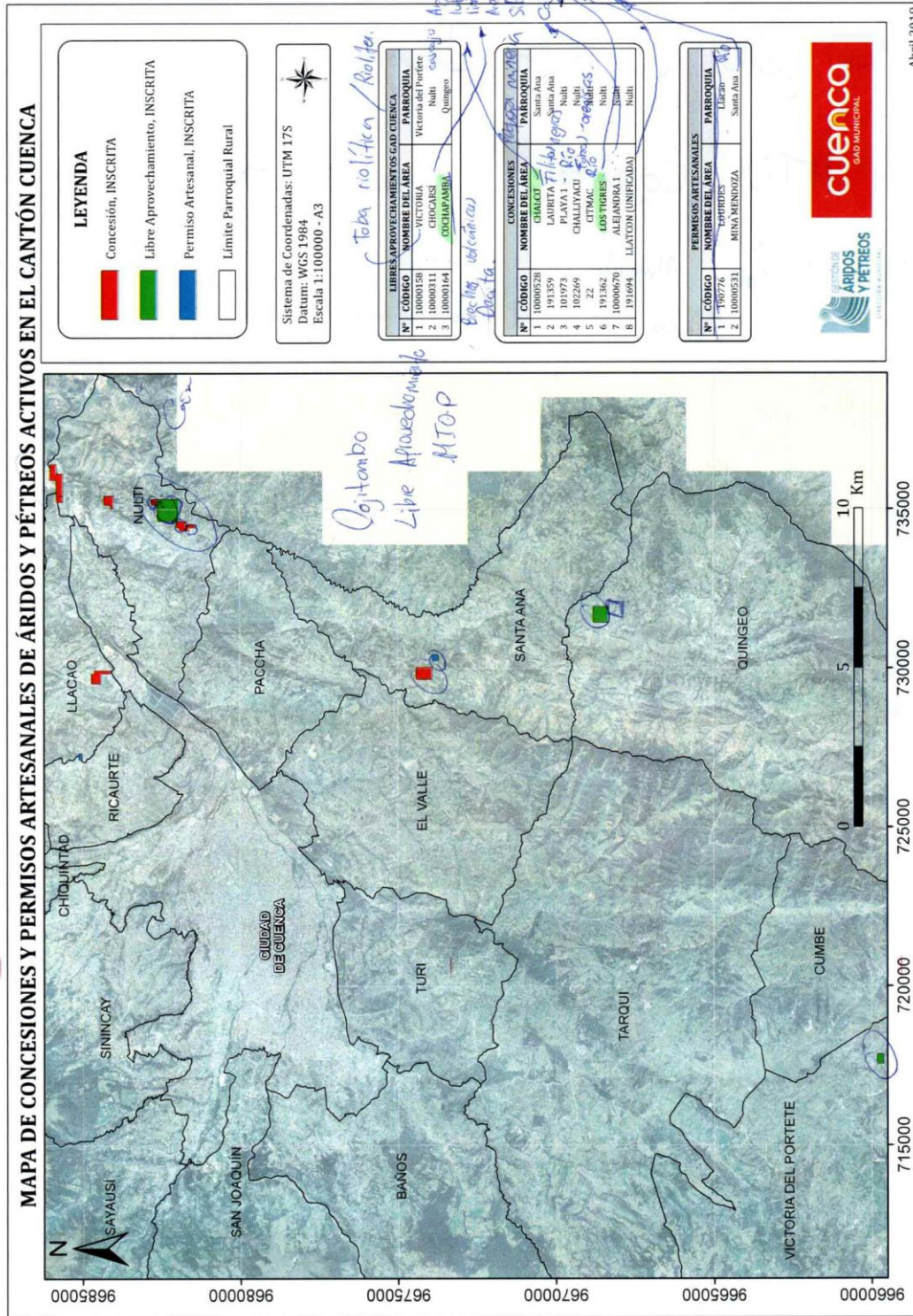
#### Anexo B.2. Ejemplo de Símbolos Topográficos - Fuente: Cuenca 53 CT-NV-F4 2009

SÍMBOLOS TOPOGRÁFICOS	
Red hidrográfica	—————
Curva de nivel	—————
Vía de primer orden	—————
Vía de segundo orden	- - - - -
Cuerpos de agua	
Línea de corte	—————

## Anexo B.3. Ejemplo de Leyenda Estratigráfica - Fuente: Cuenca 53 CT-NV-F4 2009



## Anexo C Mapa Concesiones y Permisos mineros - Dirección de Áridos y Pétreos GAD Municipal Cuenca



Anexo D Solicitud de acceso a la información pública - GAD Municipal Cuenca

**SOLICITUD DE ACCESO A LA INFORMACIÓN PÚBLICA**

Cuenca, 14 de noviembre de 2022

Ingeniero  
Pedro Palacios Ullauri  
ALCALDE DEL CANTÓN CUENCA  
Presente.

De mi consideración:

En ejercicio de mi derecho constitucional de acceder a la información pública, solicito a Usted la siguiente información:

Información técnica y físico mecánica del área minera  
Concesión Mina Chula - Código 10002378 para los estándares.

• IMPORTANTE: Referir de manera concreta el documento o información que solicita.

Información que reposa en los archivos custodiados por:

Dirección General de Áridos y Pétreos

• IMPORTANTE: Referir de manera concreta el nombre de la Dirección o Unidad en donde se ubiquen los datos o temas motivo de la solicitud.

La información que solicito, la recibiré de la siguiente manera:

Mediante correo electrónico: Cesar.palacios@ucuenca.edu.ec

Formato electrónico digital: PDF  Word  Excel

De manera personal en la Institución, en: Copia simple  Copia certificada  CD

Para ello, en función lo que establece la LOTAIP, a continuación registro mis datos personales:

Nombres y Apellidos: César Mateo Palacios Quezada cc: 0106691181

Dirección domiciliar: [Redacted] Teléfono: [Redacted]

Firma del o la solicitante

Con copia al: Secretaría General, Unidad de Transparencia.

CONSTANCIA DE CONTESTACIÓN A LA SOLICITUD DE ACCESO A LA INFORMACIÓN PÚBLICA:

Fecha de contestación: Hora: Firma de recepción o referencia del correo remitido:

LOTAIP: Art. 4 Boreal: El acceso a la información pública, será por regla general gratuito y excepto de los costos de reproducción y podrá replicarse por los términos de esta Ley.

**SOLICITUD DE ACCESO A LA INFORMACIÓN PÚBLICA**

Cuenca, 14 de noviembre de 2022

Ingeniero  
Pedro Palacios Ullauri  
ALCALDE DEL CANTÓN CUENCA  
Presente.

De mi consideración:

En ejercicio de mi derecho constitucional de acceder a la información pública, solicito a Usted la siguiente información:

Información técnica y físico mecánica del área minera  
aprovechamiento Cochapamba - Código 10002184 para los estándares.

• IMPORTANTE: Referir de manera concreta el documento o información que solicita.

Información que reposa en los archivos custodiados por:

Dirección General de Áridos y Pétreos

• IMPORTANTE: Referir de manera concreta el nombre de la Dirección o Unidad en donde se ubiquen los datos o temas motivo de la solicitud.

La información que solicito, la recibiré de la siguiente manera:

Mediante correo electrónico: Cesar.palacios@ucuenca.edu.ec

Formato electrónico digital: PDF  Word  Excel

De manera personal en la Institución, en: Copia simple  Copia certificada  CD

Para ello, en función lo que establece la LOTAIP, a continuación registro mis datos personales:

Nombres y Apellidos: César Mateo Palacios Quezada cc: 0106691181

Dirección domiciliar: [Redacted] Teléfono: [Redacted]

Firma del o la solicitante

Con copia al: Secretaría General, Unidad de Transparencia.

CONSTANCIA DE CONTESTACIÓN A LA SOLICITUD DE ACCESO A LA INFORMACIÓN PÚBLICA:

Fecha de contestación: Hora: Firma de recepción o referencia del correo remitido:

LOTAIP: Art. 4 Boreal: El acceso a la información pública, será por regla general gratuito y excepto de los costos de reproducción y podrá replicarse por los términos de esta Ley.

**SOLICITUD DE ACCESO A LA INFORMACIÓN PÚBLICA**

Cuenca, 14 de noviembre de 2022

Ingeniero  
Pedro Palacios Ullauri  
ALCALDE DEL CANTÓN CUENCA  
Presente.

De mi consideración:

En ejercicio de mi derecho constitucional de acceder a la información pública, solicito a Usted la siguiente información:

Información técnica y físico mecánica del área minera  
Concesión Mina Las Tigres - Código 141326, para los estándares.

• IMPORTANTE: Referir de manera concreta el documento o información que solicita.

Información que reposa en los archivos custodiados por:

Dirección General de Áridos y Pétreos

• IMPORTANTE: Referir de manera concreta el nombre de la Dirección o Unidad en donde se ubiquen los datos o temas motivo de la solicitud.

La información que solicito, la recibiré de la siguiente manera:

Mediante correo electrónico: Cesar.palacios@ucuenca.edu.ec

Formato electrónico digital: PDF  Word  Excel

De manera personal en la Institución, en: Copia simple  Copia certificada  CD

Para ello, en función lo que establece la LOTAIP, a continuación registro mis datos personales:

Nombres y Apellidos: César Mateo Palacios Quezada cc: 0106691181

Dirección domiciliar: [Redacted] Teléfono: [Redacted]

Firma del o la solicitante

Con copia al: Secretaría General, Unidad de Transparencia.

CONSTANCIA DE CONTESTACIÓN A LA SOLICITUD DE ACCESO A LA INFORMACIÓN PÚBLICA:

Fecha de contestación: Hora: Firma de recepción o referencia del correo remitido:

LOTAIP: Art. 4 Boreal: El acceso a la información pública, será por regla general gratuito y excepto de los costos de reproducción y podrá replicarse por los términos de esta Ley.

**DIRECCIÓN DE ÁRIDOS Y PÉTREOS**

Oficio Nro. DGAP-0281-2022

Cuenca, 17 de noviembre de 2022

Señor  
César Mateo Palacios Quezada  
En su Despacho.

De mi consideración:

En atención a la Solicitud de Acceso a la Información Pública, ingresada mediante trámite externo Nro. EXT-29556-2022, mediante el cual solicita copia de los documentos relacionados al área minera "Chalco", código 10000528, al respecto me permito indicar que:

Una vez revisados los archivos originales que reposan en Dirección de Áridos y Pétreos del GAD Municipal del cantón Cuenca, adjunto de manera digital y en un CD la copia simple de la Información técnica y físico mecánica del área minera "Chalco", constante en 3 fojas útiles.

Conforme se indica en su solicitud, notifíquese al correo electrónico cesar.palacios@ucuenca.edu.ec, señalado para el efecto. Información que podrá ser retirada de manera física en las oficinas de esta dependencia municipal, ubicada en la calle Simón Bolívar 7-55, primera planta alta, en horario normal de 08h00 a 16h45.

Dándose respuesta dentro del plazo establecido conforme lo dispone la LOTAIP.

Con sentimientos de distinguida consideración.

Atentamente,

Ing. Erika Belén Bermeo Chiriboga  
DIRECTORA GENERAL DE ÁRIDOS Y PÉTREOS

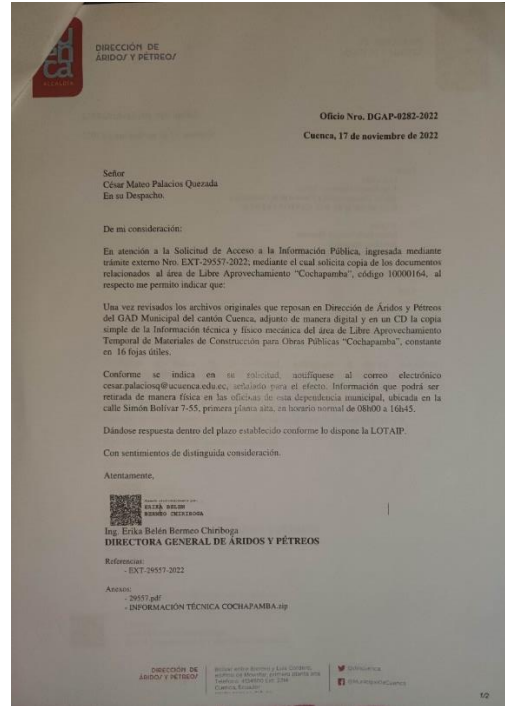
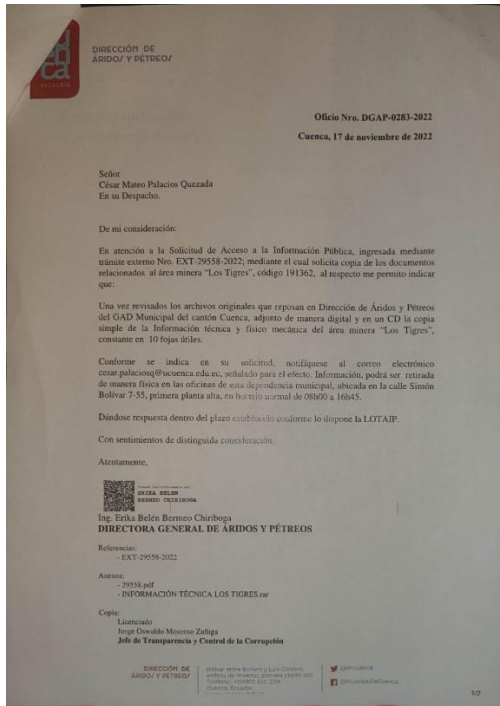
Referencias:  
- EXT-29556-2022

Adjuntos:  
- 29556.pdf  
- INFORMACIÓN TÉCNICA CHALCO.zip

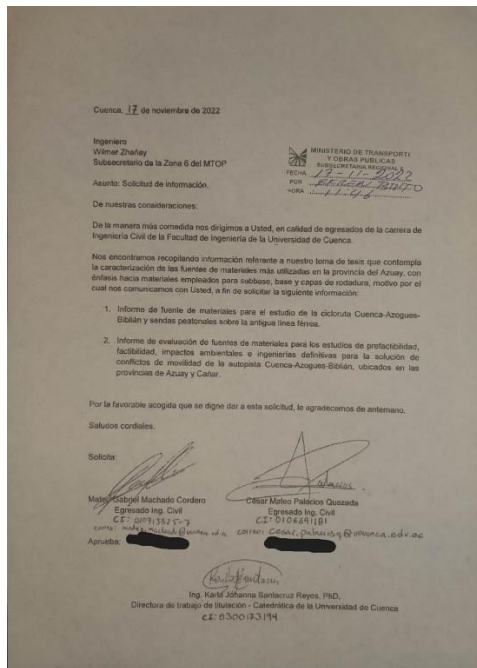
Copia:  
Licenciado  
Jorge Oswaldo Moncayo Zúñiga  
Jefe de Transparencia y Control de la Corrupción

DIRECCIÓN DE ÁRIDOS Y PÉTREOS

Redes sociales: @MunicipalidadCuenca, @MunicipalidadCuenca



## Anexo E Solicitud de acceso a la información pública - MTOP



## Anexo F Imágenes cargadora frontal - Proceso de homogenización de muestra a seleccionar





## Anexo G Tamaño de muestra

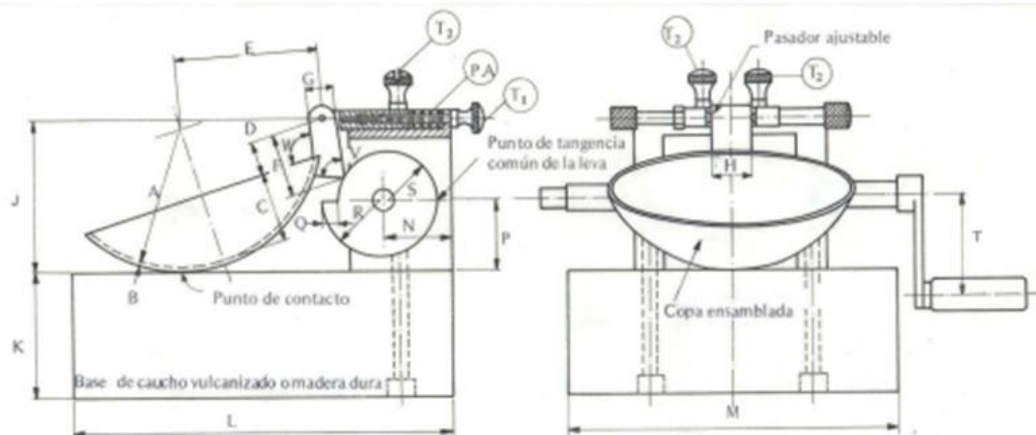
TABLA 1. Tamaño de muestras

Tamaño del árido <sup>A</sup> mm	Masa mínima de la muestra in situ <sup>B</sup> kg	Volumen mínimo de la muestra in situ, litros
Áridos finos		
2,36	10	8
4,75	10	8
Áridos gruesos		
9,5	10	8
12,5	15	12
19,0	25	20
25,0	50	40
37,5	75	60
50	100	80
63	125	100
75	150	120
90	175	140

<sup>A</sup> Para los áridos procesados, utilizar el tamaño máximo nominal que se indica en la norma respectiva o en la descripción. Si la norma o descripción no indican un tamaño máximo nominal (por ejemplo, una abertura de tamiz que contemple un pasante del 90% al 100%), utilizar el tamaño máximo (la abertura de tamiz que pase el 100%).  
<sup>B</sup> Para áridos gruesos y finos combinados (por ejemplo, áridos para bases o subbases) la masa mínima debe ser la masa mínima del árido grueso más 10 kg.

Fuente: INEN 695 (2010)

## Anexo H Diagrama Cuchara de Casagrande



Letra	A	B	C	D	E	F	G	H	J
mm	54 ± 0,5	2 ± 0,5	27 ± 0,5	125 ± 0,5	56 ± 0,5	25 ± 0,5	10 ± 0,5	16 ± 0,5	60 ± 0,5
Letra	K	L	M	N	P	Q*	R*	S*	T
mm	50 ± 5	150 ± 5	130 ± 5	27 ± 1	28 ± 0,5	6,0	22 ± 0,5	19 ± 0,5	40 ± 5

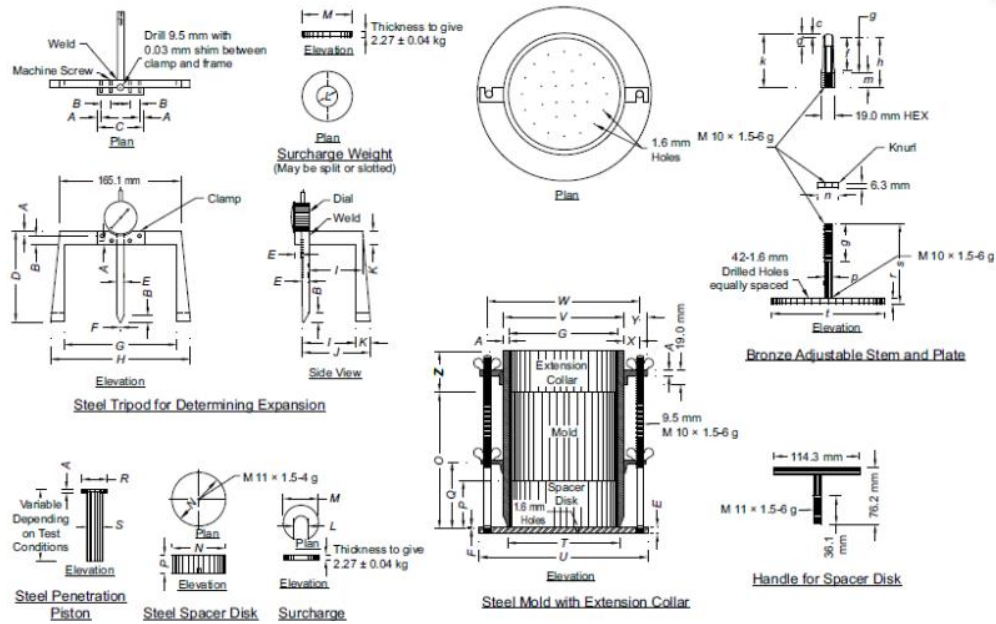
Letra	V	W
Grados	75 ± 5	100 ± 3

\* La leva está fabricada de dos secciones semicirculares con un punto de tangencia común. Las dimensiones esenciales tienen tolerancia.

FIGURA A1. Dispositivo mecánico para el límite líquido.

Fuente: NTE INEN 691:1982

## Anexo I Diagrama CBR

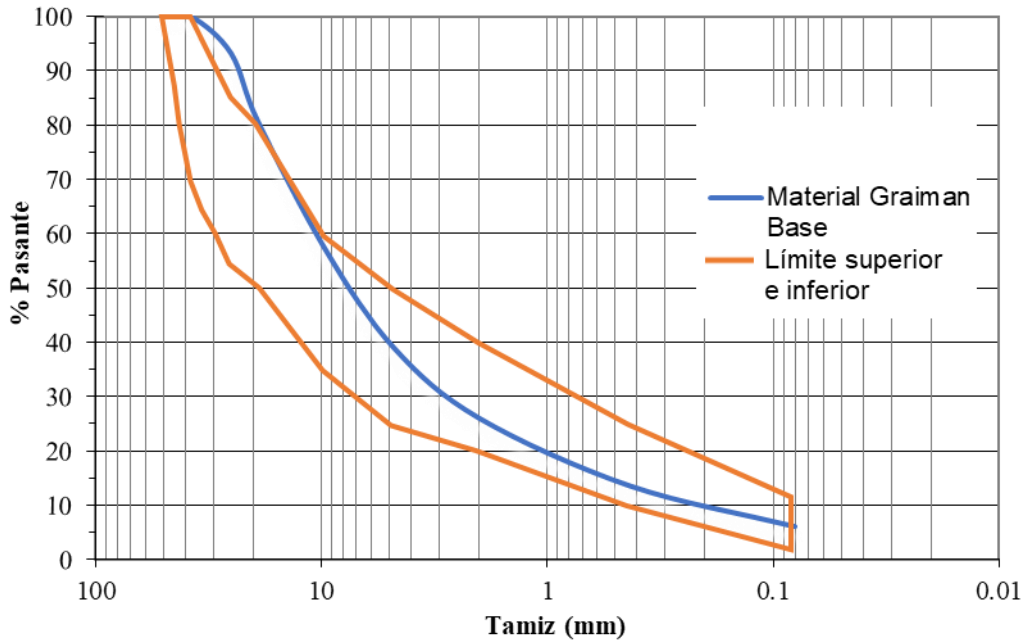


Fuente: (Carpio, 2014)

## Anexo J Clasificación Granulométrica / Base y Sub-base

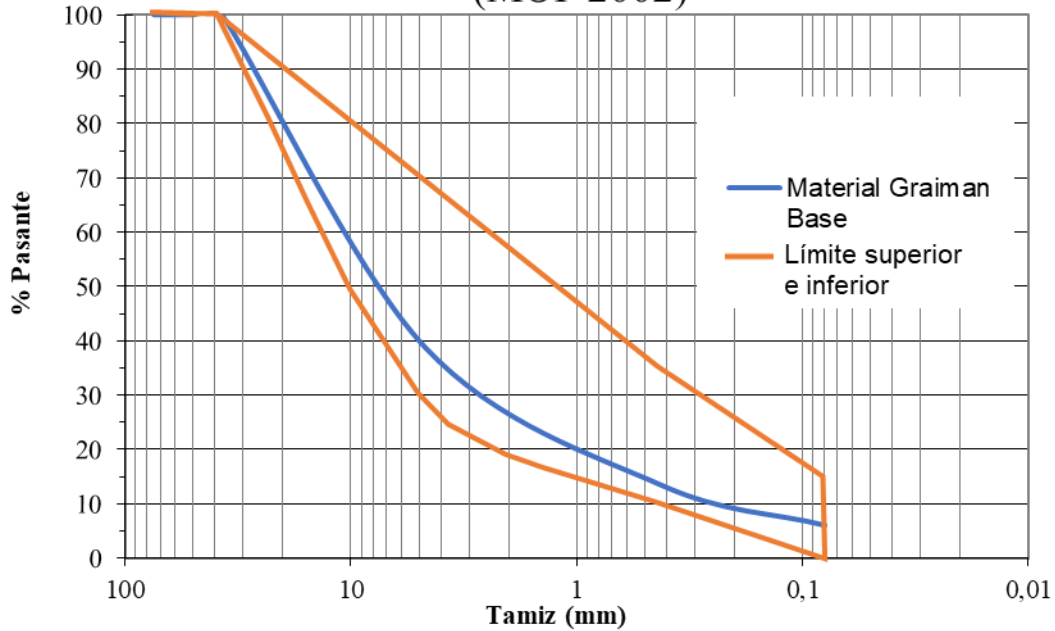
Anexo J.1. Granulometría Atenas (Graiman) Base y los límites de la Base 1A

### Límites Granulometría Base 1A (MOP 2002)



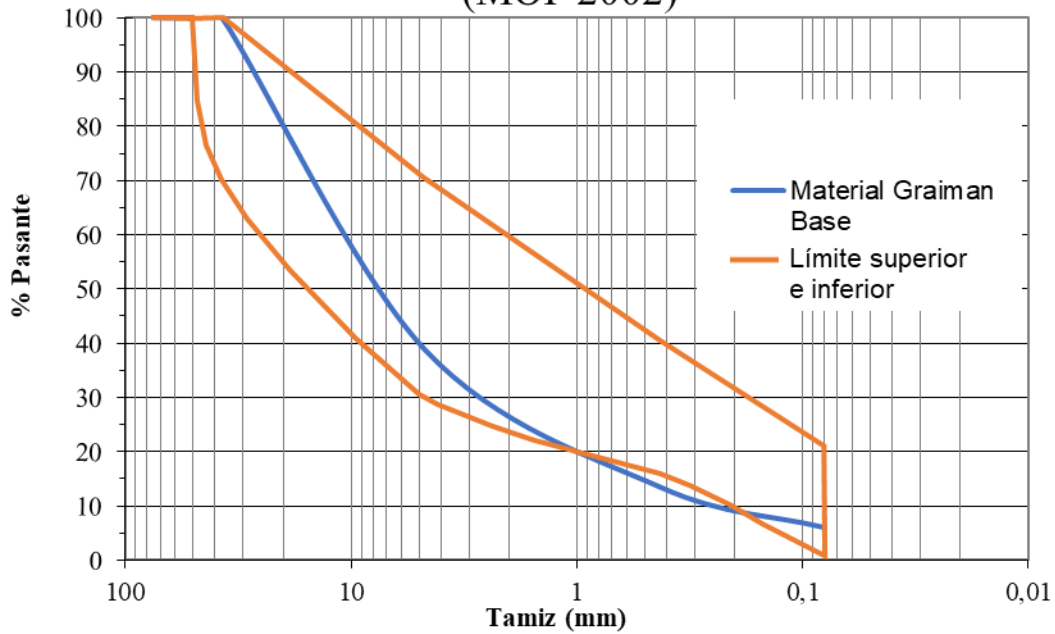
Anexo J.2. Granulometría Atenas (Graiman) Base y los límites de la Sub-base Clase 1

Límites Granulometría Subbase Clase 1  
(MOP 2002)



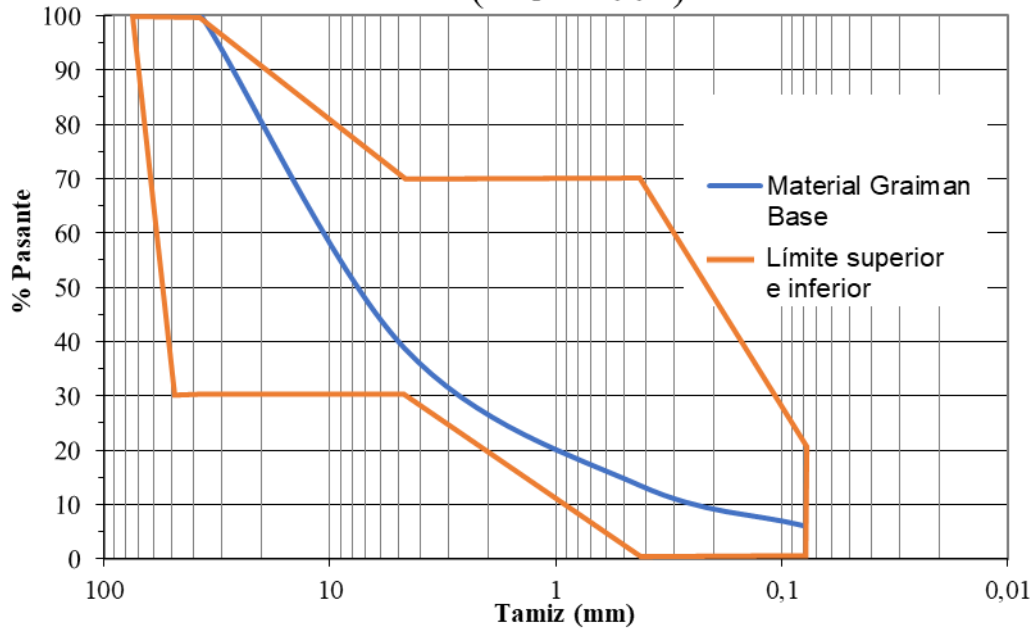
Anexo J.3. Granulometría Atenas (Graiman) Base y los límites de la Sub-base Clase 2

Límites Granulometría Subbase Clase 2  
(MOP 2002)



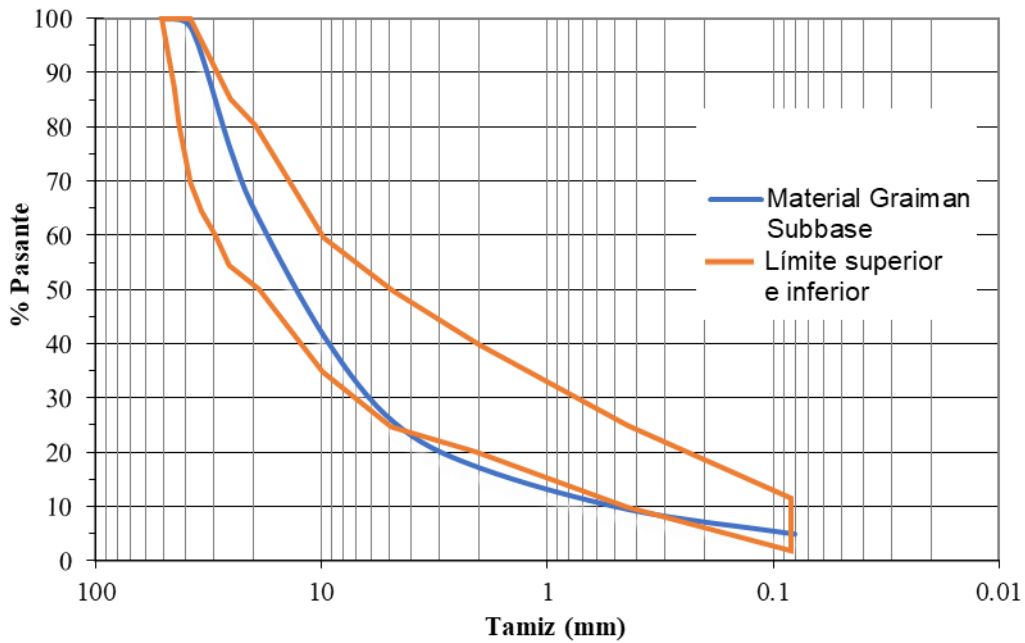
Anexo J.4. Granulometría Atenas (Graiman) Base y los límites de la Sub-base Clase 3

Límites Granulometría Subbaase Clase 3 (MOP 2002)



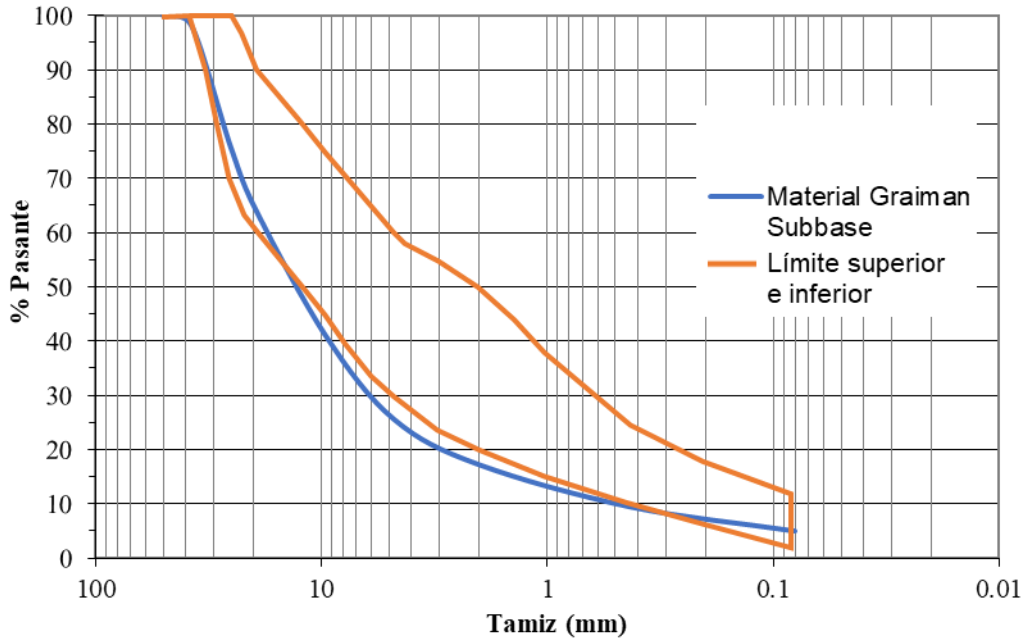
Anexo J.5. Granulometría Atenas (Graiman) Sub-base y los límites de la Base 1A

Límites Granulometría Base 1A (MOP 2002)



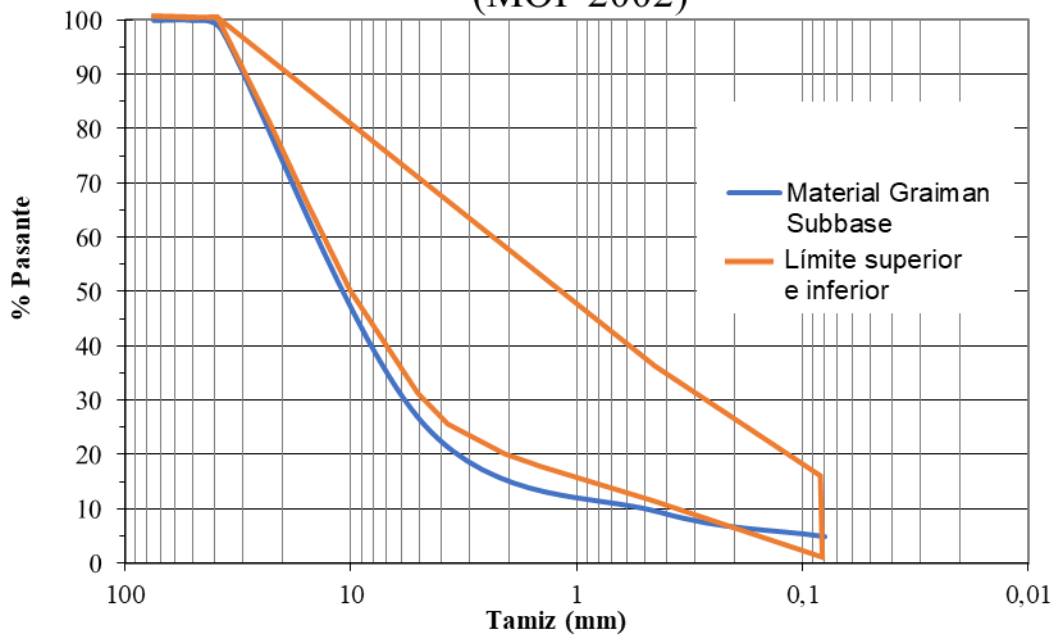
Anexo J.6. Granulometría Atenas (Graiman) Sub-base y los límites de la Base 1B

Límites Granulometría Base 1B (MOP 2002)

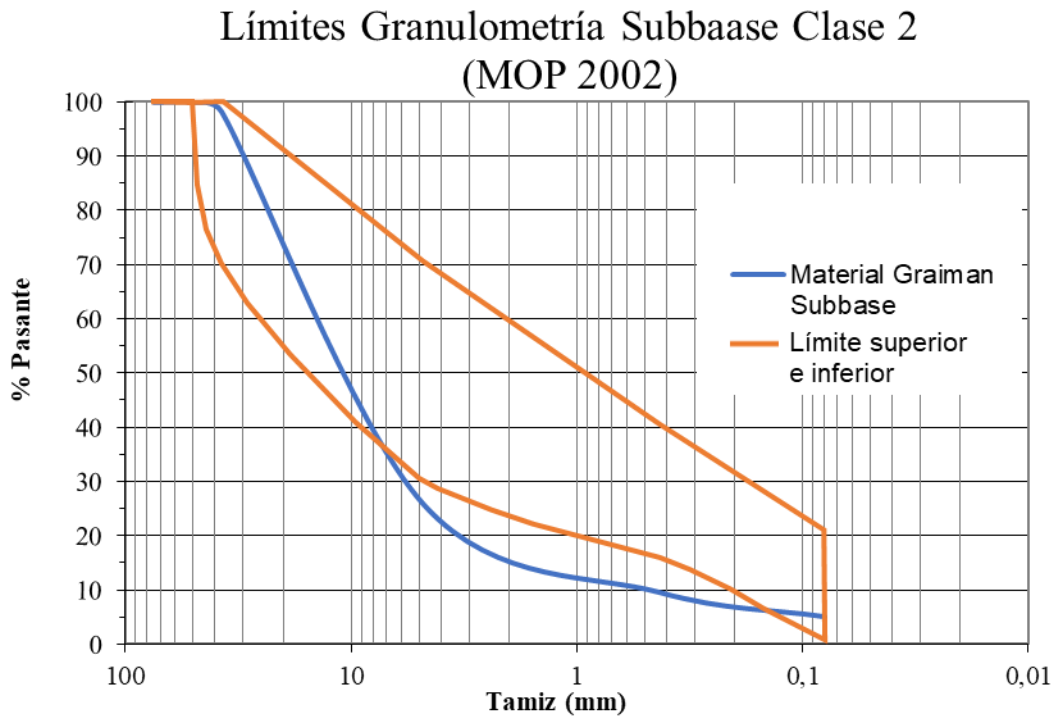


Anexo J.7. Granulometría Atenas (Graiman) Sub-base y los límites de la Sub-base Clase 1

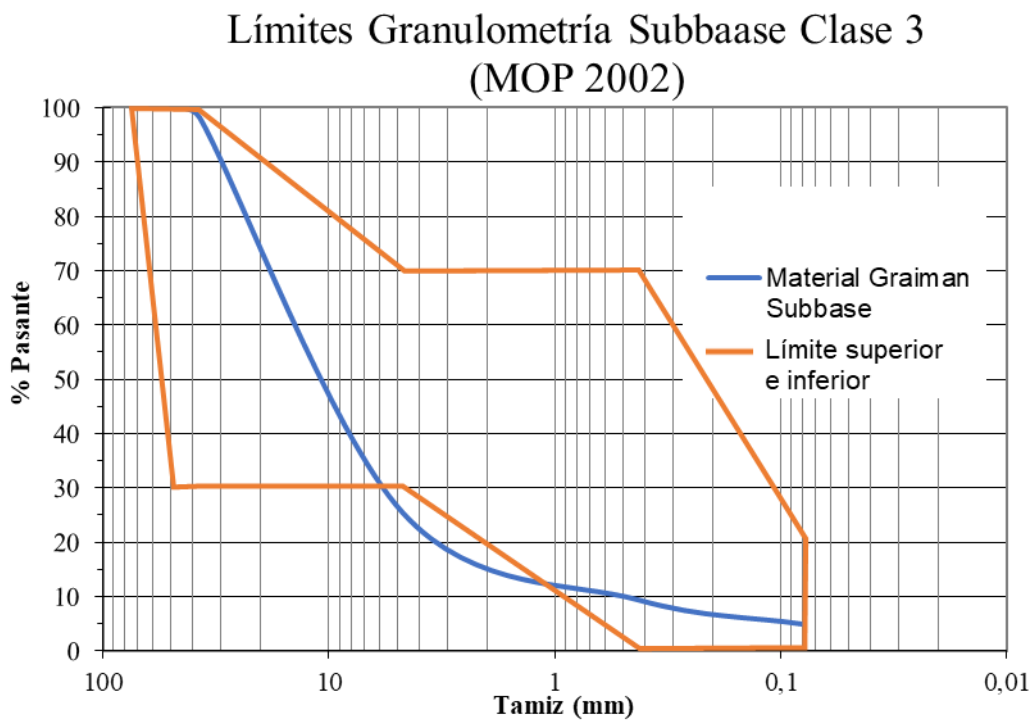
Límites Granulometría Subbase Clase 1 (MOP 2002)



Anexo J.8. Granulometría Atenas (Graiman) Sub-base y los límites de la Sub-base Clase 2

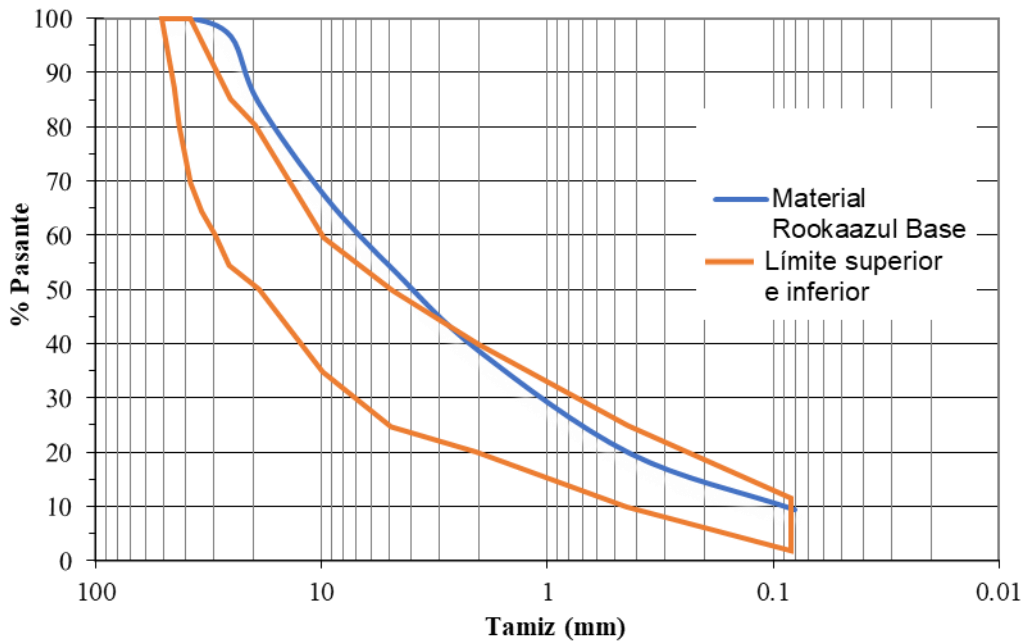


Anexo J.9. Granulometría Atenas (Graiman) Sub-base y los límites de la Sub-base Clase 3



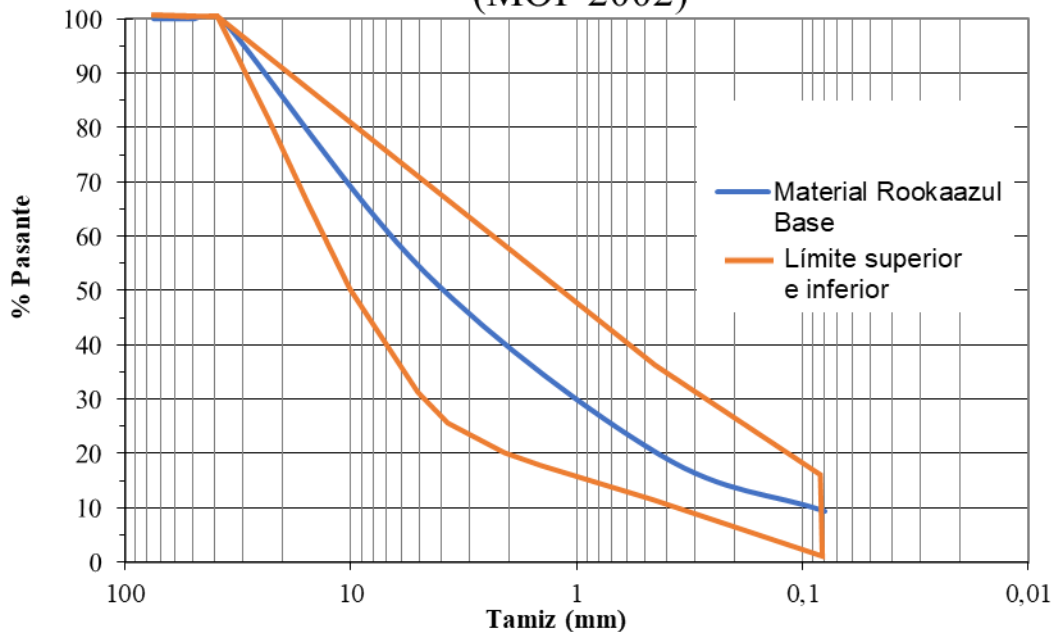
Anexo J.10. Granulometría Rookaazul Base y los límites de la Base 1A

Límites Granulometría Base 1A (MOP 2002)



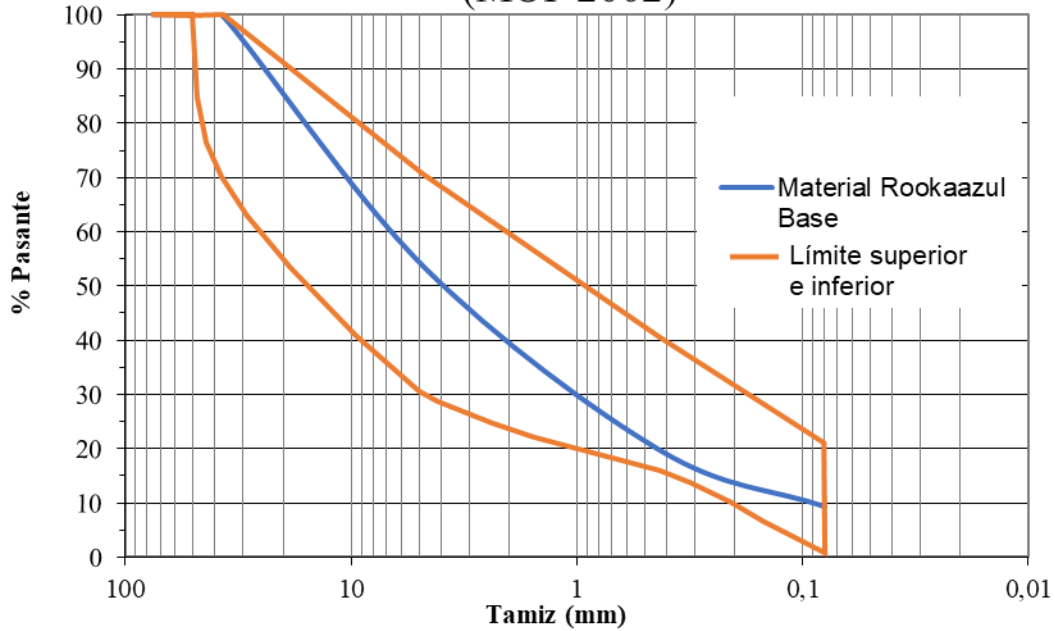
Anexo J.11. Granulometría Rookaazul Base y los límites de la Sub-base Clase 1

Límites Granulometría Subbase Clase 1 (MOP 2002)



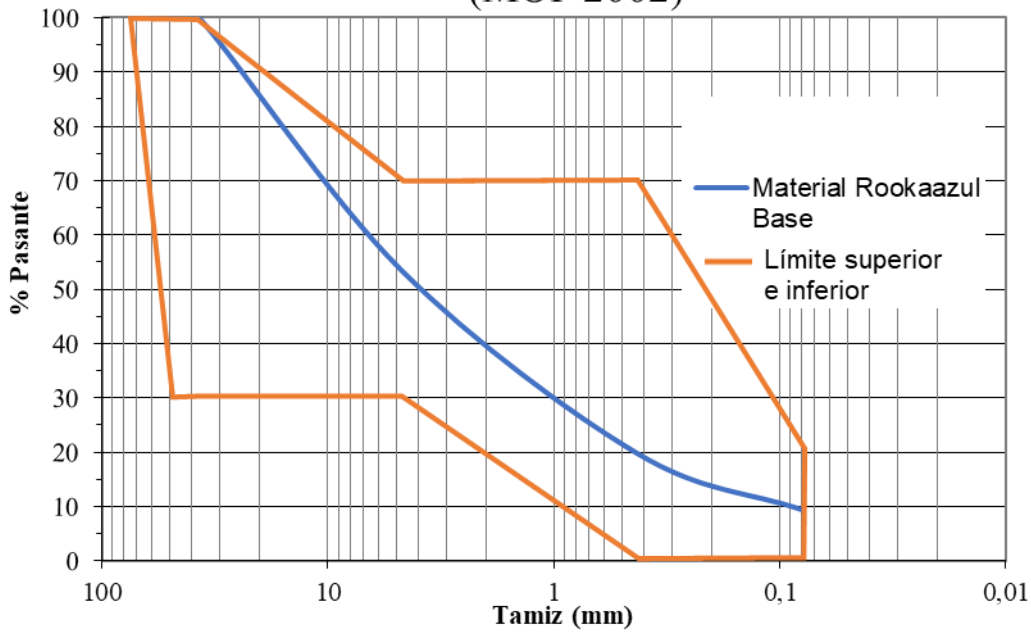
Anexo J.12. Granulometría Rookaazul Base y los límites de la Sub-base Clase 2

Límites Granulometría Subbase Clase 2 (MOP 2002)



Anexo J.12. Granulometría Rookaazul Base y los límites de la Sub-base Clase 3

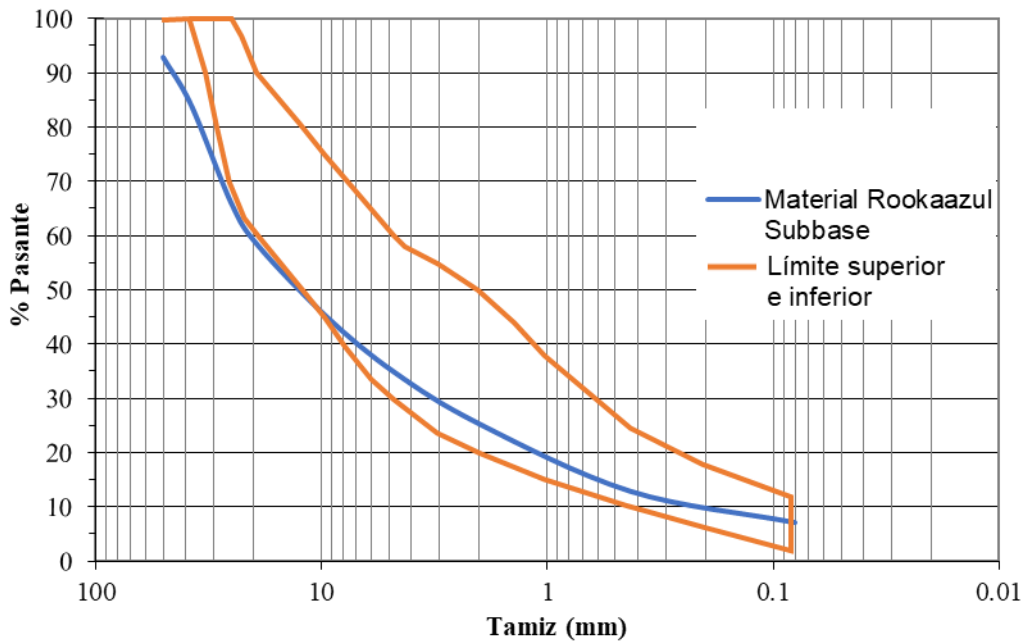
Límites Granulometría Subbase Clase 3 (MOP 2002)





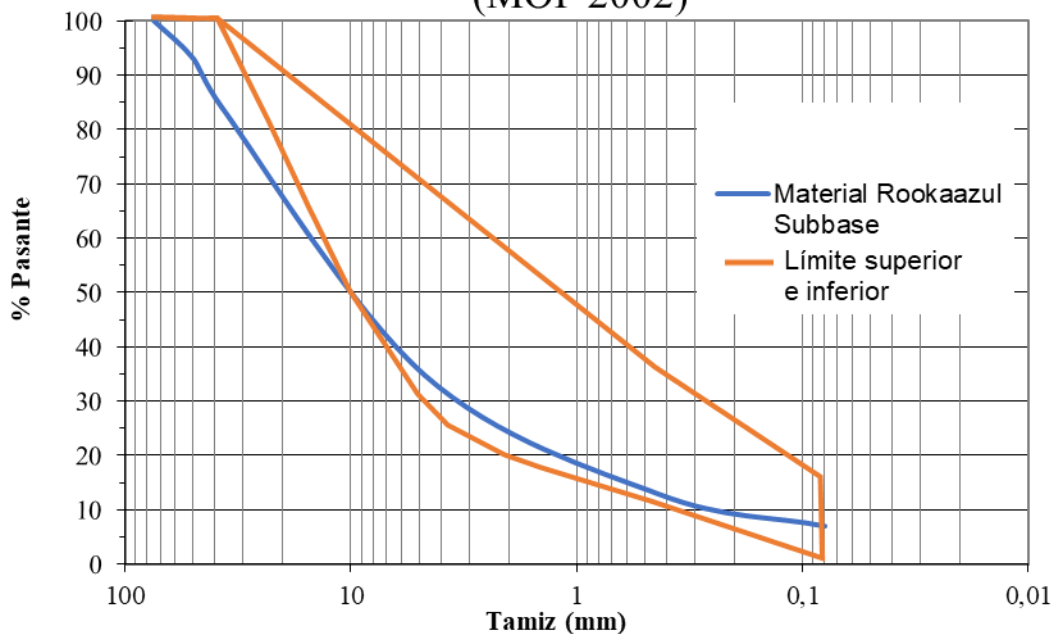
Anexo J.13. Granulometría Rookaazul Sub-base y los límites de la Base 1B

Límites Granulometría Base 1B (MOP 2002)



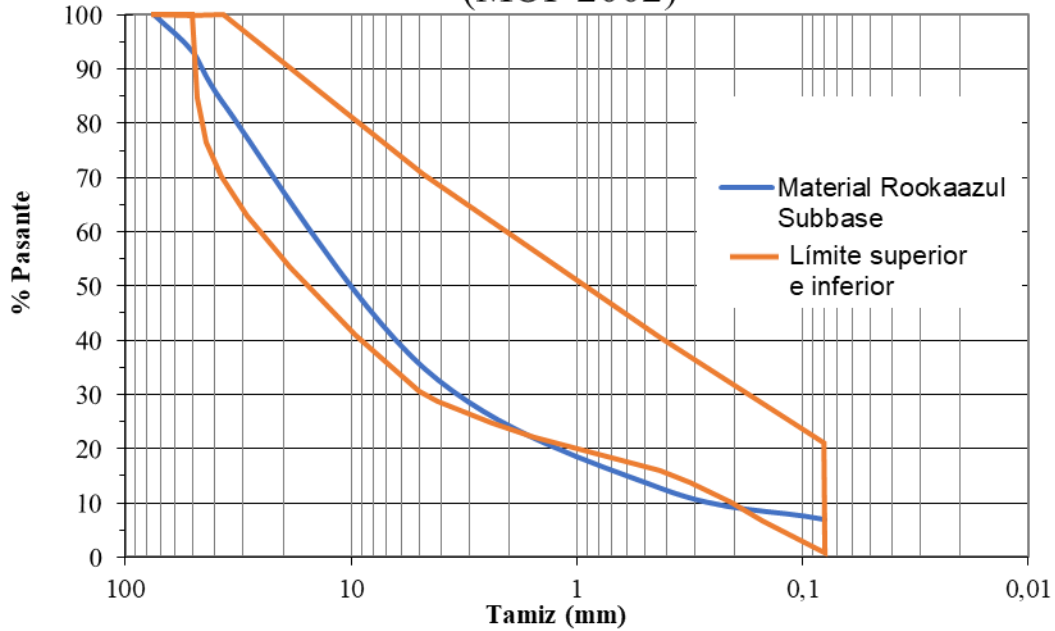
Anexo J.14. Granulometría Rookaazul Sub-base y los límites de la Sub-base Clase 1

Límites Granulometría Subbase Clase 1 (MOP 2002)



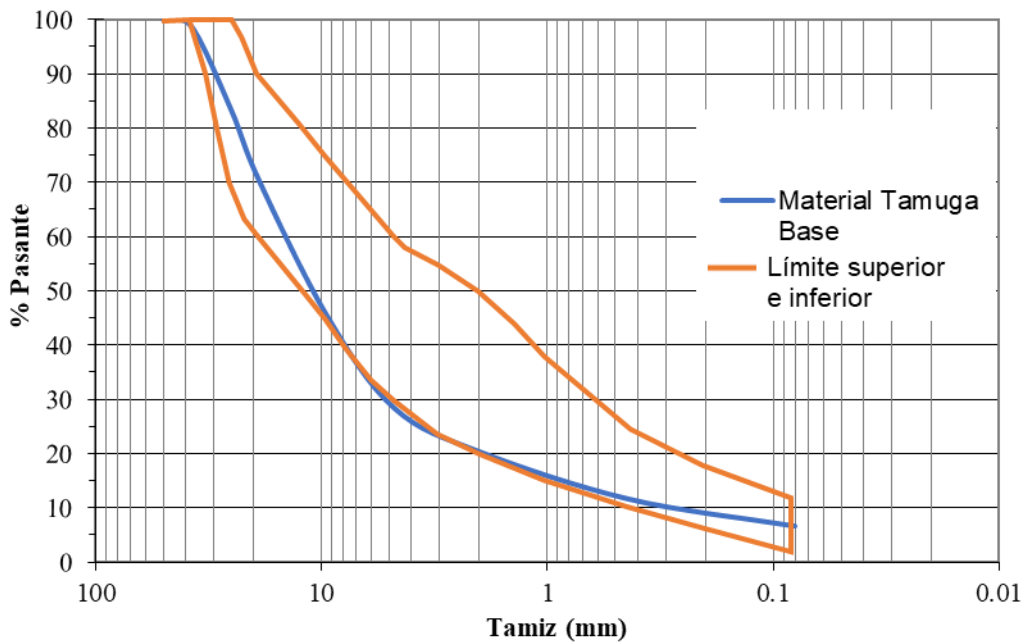
Anexo J.15. Granulometría Rookaazul Sub-base y los límites de la Sub-base Clase 2

Límites Granulometría Subbase Clase 2 (MOP 2002)

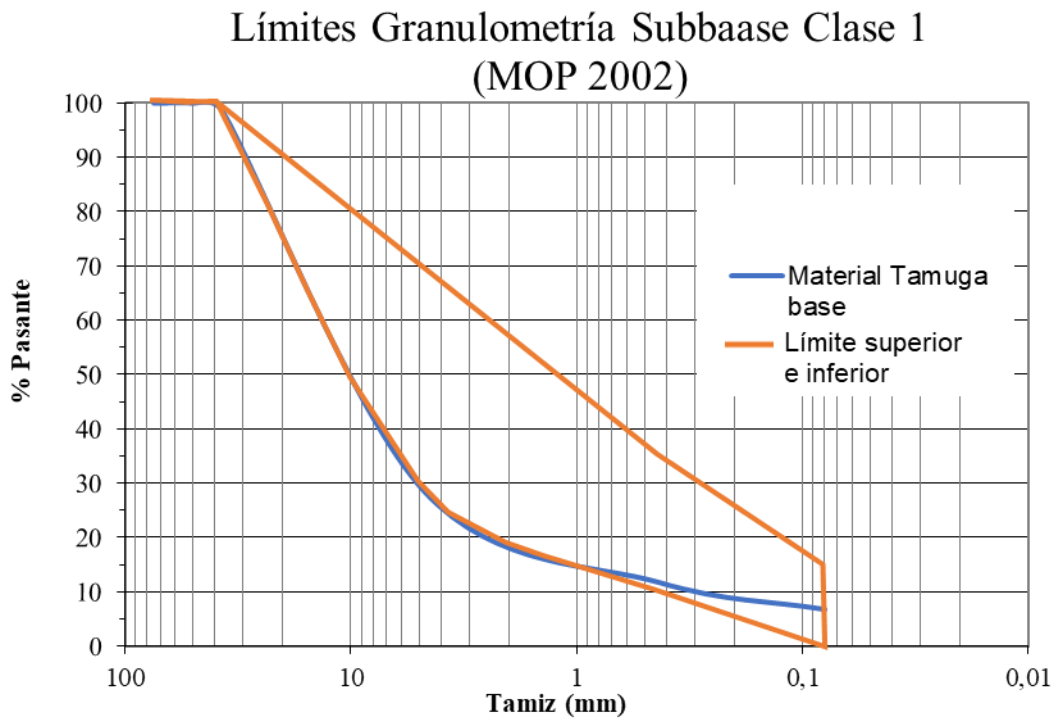


Anexo J.16. Granulometría Tamuga Base y los límites de la Base 1B

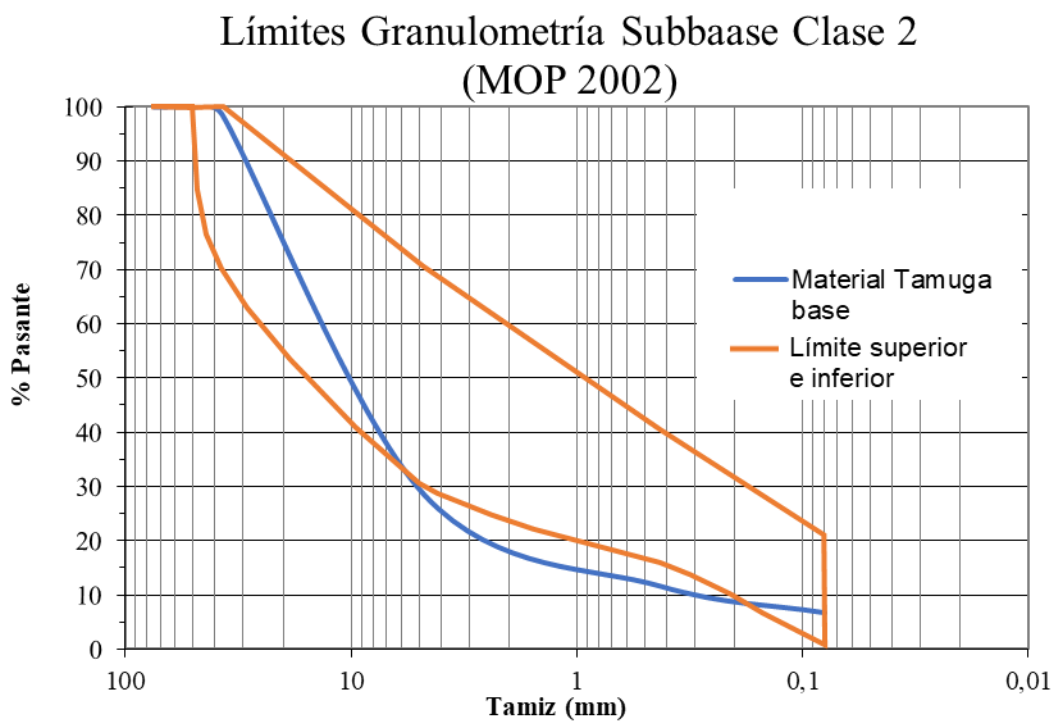
Límites Granulometría Base 1B (MOP 2002)



Anexo J.17. Granulometría Tamuga Base y los límites de la Sub-base Clase 1

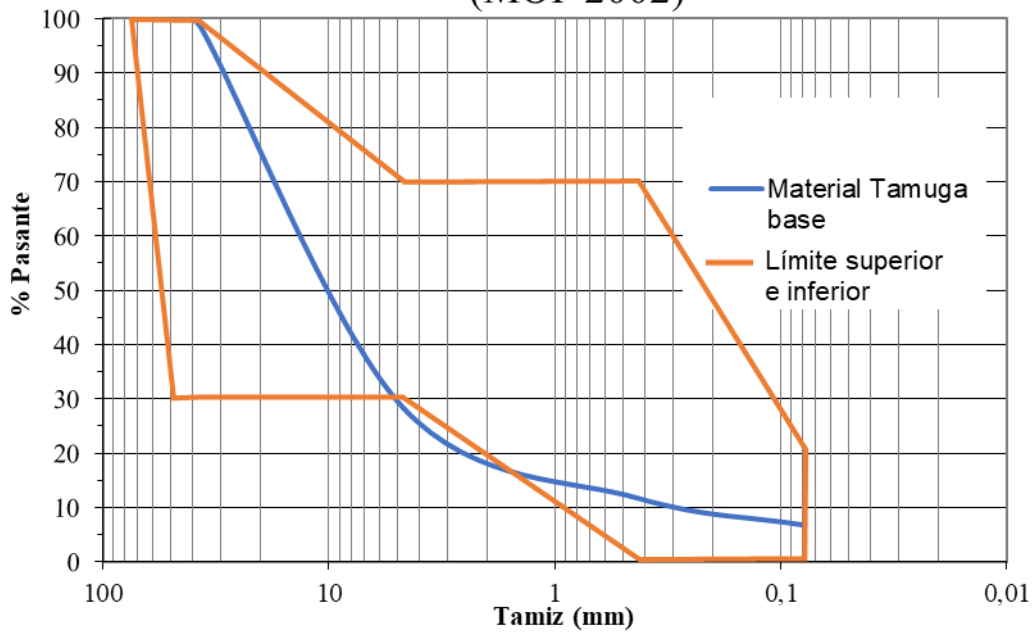


Anexo J.18. Granulometría Tamuga Base y los límites de la Sub-base Clase 2



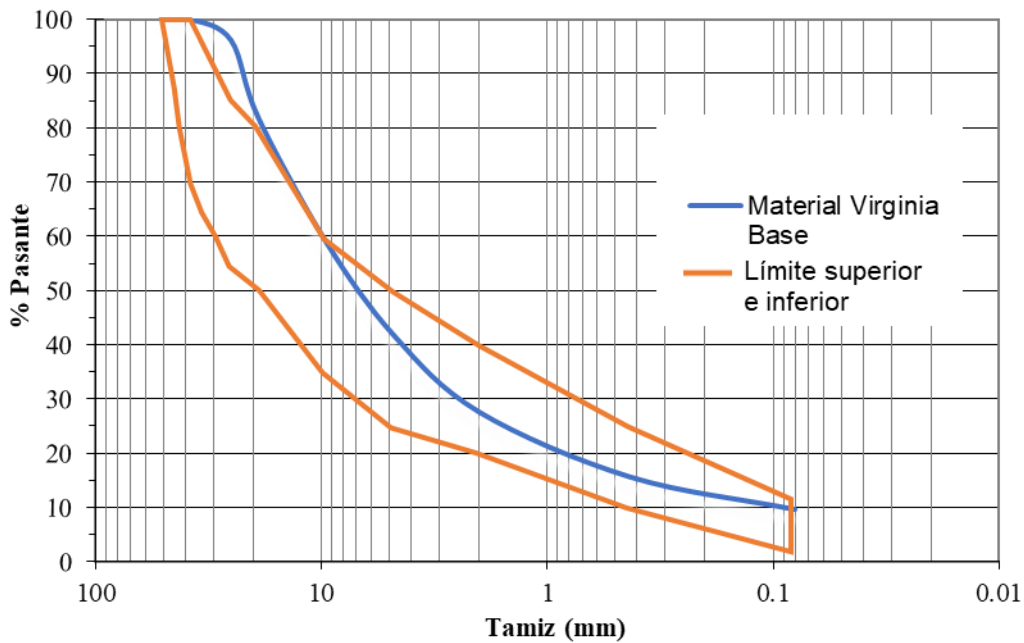
Anexo J.19. Granulometría Tamuga Base y los límites de la Sub-base Clase 3

Límites Granulometría Subbaase Clase 3 (MOP 2002)

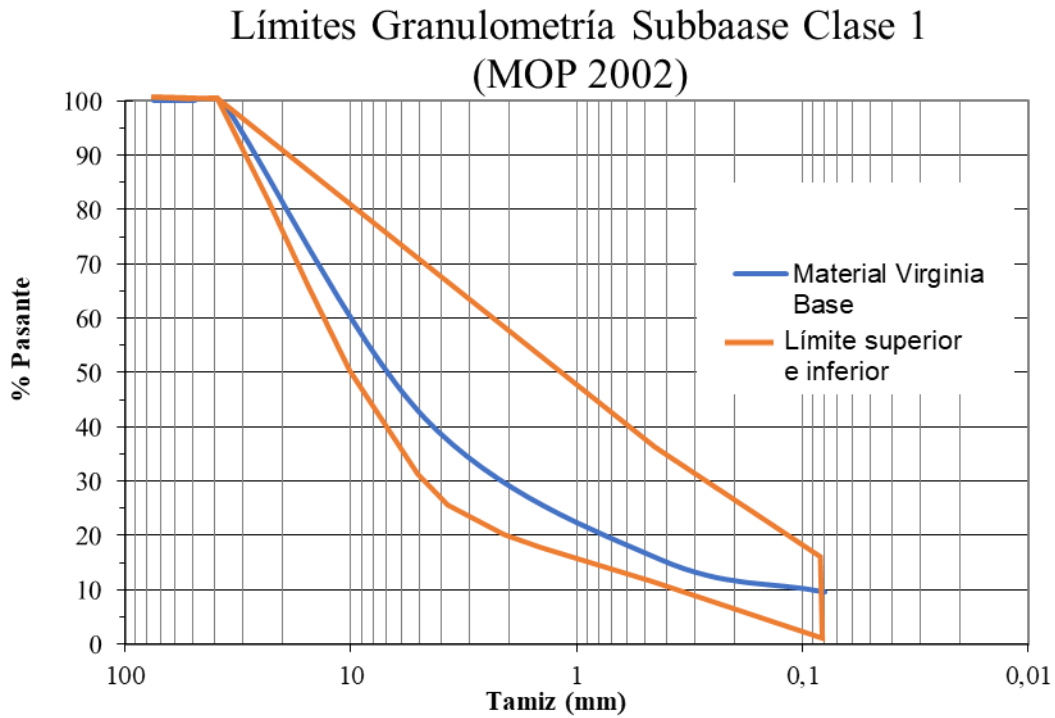


Anexo J.20. Granulometría Virginia Base y los límites de la Base 1A

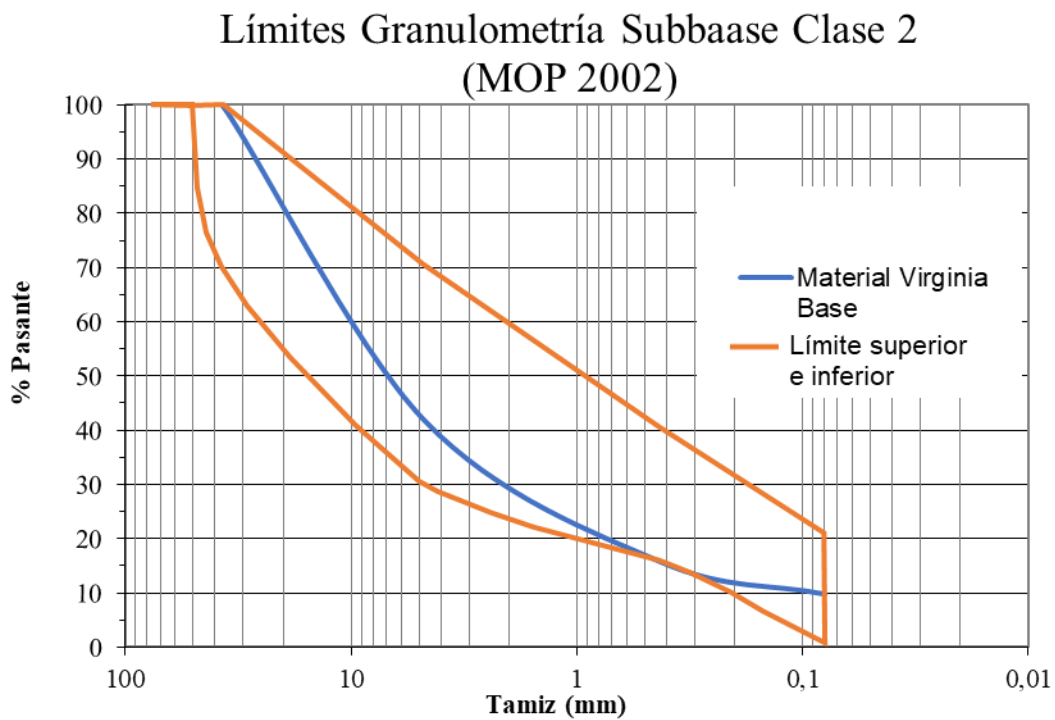
Límites Granulometría Base 1A (MOP 2002)



Anexo J.21. Granulometría Virginia Base y los límites de la Sub-base Clase 1

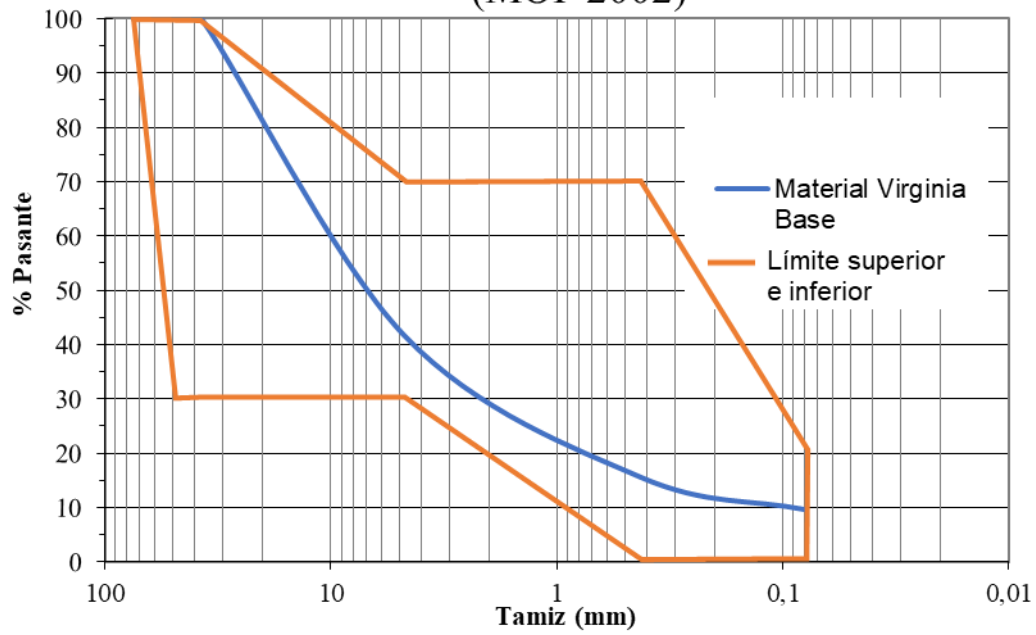


Anexo J.22. Granulometría Virginia Base y los límites de la Sub-base Clase 2

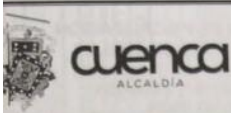


Anexo J.23. Granulometría Virginia Base y los límites de la Sub-base Clase 3

Límites Granulometría Subbaase Clase 3  
(MOP 2002)



## Anexo K GAD Municipal Cuenca - Resultados de Laboratorio



**cuenca**  
ALCALDÍA

**DIRECCION DE FISCALIZACION  
LABORATORIO DE SUELOS  
S/N y Beethoven (Narancay)  
Teléfono (07) 2386-154  
AÑO 2023**

Oficio Nro. LABFISC-0264-2023  
Cuenca, 26 de abril de 2023

**FISCALIZACIÓN**  
28 ABRIL  
RECIBIDO

Ingeniero.  
Patricio Duran.  
Funcionario de Fiscalización  
Su despacho.

De mi consideración:

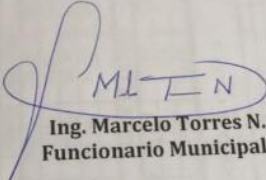
Por medio del presente remito los resultados de los ensayos de **Clasificación, Proctor y Abrasión**, realizados al material de **Subbase**, proveniente de la mina de **Graiman**.

Esta muestra fue tomada de la Obra, por el personal del Laboratorio de Suelos del GAD Municipal de Cuenca, el **20 de abril de 2023**.


Para la obra de "Reposición de Veredas", ubicado en la **Calle Presidente Córdova entre General Torres y Estévez de Toral**. Obra ejecutada por el **Ing. Wilson Andrade Abad**.


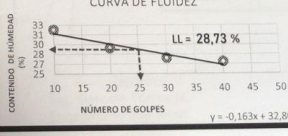
Sin otro particular suscribo.

Atentamente,



**Ing. Marcelo Torres N.**  
Funcionario Municipal



	<b>PROYECTO:</b> Reposición de Veredas <b>UBICACION:</b> Calle Presidente Córdova entre General Torres y Estevez de Toral <b>CONTRATISTA:</b> Ing. Wilson Andrade Abad <b>FISCALIZADOR:</b> Ing. Patricio Duran <b>FECHA:</b> 26 de abril de 2023	<b>Muestra Tomada:</b> Personal de Suelos el: 20 de abril de 2023 <b>MATERIAL:</b> Subbase <b>MINA:</b> Graiman
<b>CLASIFICACION DE SUELOS</b>		
<b>% DE HUMEDAD</b>		<b>GRANULOMETRIA</b>
PRUEBA	TARRO	N° GOLPES
N°	N°	N°
1	47	83,00
2	28	93,95
		PESO TARRO - SUELO SECO (gr)
		PESO TARRO - SUELO HUMEDO (gr)
		PESO TARRO (gr)
		CONTENIDO HUMEDAD (%)
		PROMEDIO
		7,44
<b>LIMITE LIQUIDO</b>		
1	80	40
2	81	30
3	82	20
4	83	10
		PESO TARRO - SUELO SECO (gr)
		PESO TARRO - SUELO HUMEDO (gr)
		PESO TARRO (gr)
		CONTENIDO HUMEDAD (%)
		PROMEDIO
		22,79
<b>LIMITE PLASTICO</b>		
1	304	-
2	312	-
3	318	-
		PESO TARRO - SUELO SECO (gr)
		PESO TARRO - SUELO HUMEDO (gr)
		PESO TARRO (gr)
		CONTENIDO HUMEDAD (%)
		PROMEDIO
		22,79
<b>SUBBASE CLASE 2</b>		
		
<b>RESULTADOS LIMITES DE ATTERBERG</b>		
PESO HUMEDO TOTAL ANTES DEL ENSAYO = (gr)	17587,00	
PESO HUMEDO TOTAL DESPUES DEL ENSAYO = (gr)	17587,00	
HUMEDAD QUE PASA MALLA #4 = (%)	7,44	
PESO SECO TOTAL=(gr)	17227,35	
PESO QUE PASA LA MALLA #4 PARA LAVADO = (gr)	500	
PESO SECO ANTES DEL LAVADO = (gr)	465,36	
PESO SECO DESPUES DEL LAVADO = (gr)	351,30	
PESO SECO QUE PASA MALLA #4 = (gr)	4831,35	
<b>RESULTADOS LIMITES DE ATTERBERG</b>		<b>% w natural:</b> 7,44
<b>CURVA DE FLUIDEZ</b>		<b>LL (%):</b> 28,73
		<b>LP (%):</b> 22,79
<b>100% TRITURADO</b>		<b>IP=</b>
Revisado Por: Ing. Marcelo Torres N. Funcionario Municipal		<b>LL-LP:</b> 5,94
Realizado Por: Tnlg. David Arroyo. Funcionario Municipal		

**CUENCA** LABORATORIO DE SUELOS DIRECCION DE FISCALIZACION ALCALDIA

PROYECTO: Reposición de Veredas  
 UBICACION: Calle Presidente Córdova entre General Torres y Estevez de Toral  
 CONTRATISTA: Ing. Wilson Andrade Abad  
 FISCALIZADOR: Ing. Patricio Duran  
 FECHA: 26 de abril de 2023


MATERIAL: Subbase  
 MINA: Graiman

### ENSAYO-PROCTOR

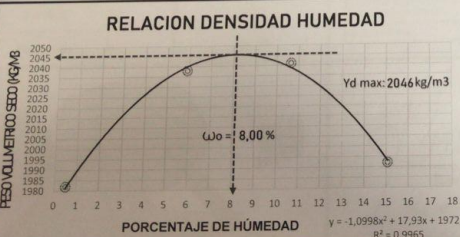
#### RELACION HUMEDAD-DENSIDAD

Muestra	1	2	3	4	5
Humedad añadida en %	0	3	6	8	
Agua aumentada en cm3	50	150	250	450	
Peso de molde cilindro +suelo húmedo =P1	10110	10455	10664	10735	
Peso de molde cilindro sin collarin =P2	5952	5952	5952	5952	
Peso de suelo húmedo P1-P2=P3	4158	4503	4712	4783	
Volumen del cilindro sin collarin= V	2087	2087	2087	2087	
DENSIDAD HUMEDA D1=P3/V	1992	2158	2258	2292	

Muestra para promediar	1	2	3	4	5
N° de Tarro	29	4	8	68	58
Peso del tarro + suelo Húmedo	108,09	103,54	100,79	107,96	107,41
Peso del tarro + suelo seco	107,51	103,15	95,64	102,79	98,26
Peso del agua	0,58	0,39	5,15	5,17	9,15
Peso del tarro	10,94	11,23	10,38	13,08	13,71
Peso del suelo seco	96,57	91,92	85,26	89,71	84,55
Contenido del agua en %	0,60	0,42	6,04	5,76	10,82
Contenido promedio de agua en %	0,51		5,90	10,64	15,08
DENSIDAD SECA	1982		2038	2041	1992



#### RELACION DENSIDAD HUMEDAD



Yd max: 2046 kg/m<sup>3</sup>  
 ω<sub>o</sub> = 8,00 %

$y = -1,0998x^2 + 17,93x + 1972,5$   
 $R^2 = 0,9965$

#### RESULTADOS

Peso Unitario Máximo del Suelo Seco	Yd máx=	2046	kg./m <sup>3</sup>
Contenido Óptimo de Humedad	Co=	8,00	%

Revisado Por: **Ing. Marcelo Torres N.**  
 Funcionario Municipal

Realizado Por: **Tnlg. David Arroyo.**  
 Funcionario Municipal

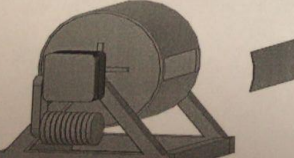
**CUENCA** LABORATORIO DE SUELOS DIRECCION DE FISCALIZACION ALCALDIA

PROYECTO: Reposición de Veredas  
 UBICACION: Calle Presidente Córdova entre General Torres y Estevez de Toral  
 CONTRATISTA: Ing. Wilson Andrade Abad  
 FISCALIZADOR: Ing. Patricio Duran  
 FECHA: 26 de abril de 2023

MATERIAL: Subbase  
 MINA: Graiman

### ENSAYO DE ABRASIÓN DE AGREGADO GRUESO MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (INV. E-218 E-219)

MUESTRA #	1	DATOS SOBRE GRADACIÓN, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES								
Procedencia	SUBBASE	GRADACIONES Y MASAS DE LA MUESTRA EN GRAMOS								
Tipo de muestra	CLASE 2	PASA	RETIENE	A	B	C	D	E	F	G
Gradación usada	A	3"	2 1/2"					2500±50		
No. de esferas	12	2 1/2"	2"					2500±50		
No. de revoluciones	500	2"	1 1/2"						5000±50	
Peso muestra inicial (g)	5000	1 1/2"	1"	1250±25						5000±25
Peso muestra final (g)	4055	1"	3/4"	1250±25						5000±25
Pérdida (g)	945	3/4"	1/2"	1250±10	2500±10					
Desgaste %	18,90	1/2"	3/8"	1250±10	2500±10					
		3/8"	1/4"			2500±10				
		1/4"	Nº4			2500±10				
		Nº4	Nº8				5000±10			
		TOTAL		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±100	10000±75	10000±50
		Nº de REVOLUCIONES		500	500	500	500	1000	1000	1000
		Nº de ESFERAS		12	11	8	6	12	12	12



Revisado Por: **Ing. Marcelo Torres N.**  
 Funcionario Municipal

Realizado Por: **Tnlg. David Arroyo.**  
 Funcionario Municipal



## Anexo L Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Base

### Anexo L.1. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Base - Granulometría

Caracterización del material							
Procedencia: Mina Graiman (Base)							
GRANULOMETRÍA (NTE INEN)							
Masa inicial de suelo =		27.912 kg					
Tamiz	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasante (Relativo)	%Pasante
3"	75	0.000	0.000	-	-	100.00	100.00
2 1/2"	63	0.000	0.000	-	-	100.00	100.00
2"	50	0.000	0.000	-	-	100.00	100.00
1 1/2"	37.5	0.000	0.000	-	-	100.00	100.00
1"	25	1.896	1.896	6.79	6.79	93.21	93.21
3/4"	19	3.513	5.409	12.59	19.38	80.62	80.62
1/2"	12.5	4.028	9.437	14.43	33.81	66.19	66.19
3/8"	9.5	2.606	12.043	9.34	43.15	56.85	56.85
#4	4.75	4.886	16.929	17.51	60.65	39.35	39.35
Fondo	---	10.983	27.912	39.35	100.00	-	-
Masa inicial de suelo =		1.289 kg					
Tamiz	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasante (Relativo)	%Pasante
#4	4.75	0.015	0.015	1.17	1.17	98.83	38.89
#8	2.36	0.350	0.365	27.17	28.34	71.66	28.20
#10	2	0.073	0.438	5.64	33.97	66.03	25.98
#16	1.18	0.179	0.617	13.87	47.85	52.15	20.52
#20	0.85	0.090	0.706	6.96	54.80	45.20	17.78
#30	0.6	0.073	0.779	5.63	60.43	39.57	15.57
#40	0.425	0.069	0.848	5.32	65.75	34.25	13.48
#50	0.3	0.059	0.907	4.58	70.33	29.67	11.67
#100	0.15	0.115	1.021	8.90	79.23	20.77	8.17
#200	0.075	0.072	1.093	5.56	84.79	15.21	5.98
F	---	0.196	1.289	15.21	100.00	-	-
Análisis Errores				Gráfico			
Sección Gruesa	0.20%	Sección Fina	0.26%	Abertura del tamiz (mm)	% Pasante		
				75.00	100.00		
				63.00	100.00		
				50.00	100.00		
				37.50	100.00		
				25.00	93.21		
				19.00	80.62		
				12.50	66.19		
				9.50	56.85		
				4.75	38.89		
				2.36	28.20		
				2.00	25.98		
				1.18	20.52		
				0.85	17.78		
				0.60	15.57		
				0.43	13.48		
				0.30	11.67		
				0.15	8.17		
				0.08	5.98		

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

Y-axis: % Pasante (0 to 100)  
X-axis: (mm) (100.00 to 0.01)

Key values:  
 $D_{60} = 10.51 \text{ mm}$   
 $D_{30} = 2.76 \text{ mm}$   
 $D_{10} = 0.23 \text{ mm}$   
 $C_u = 46.04$   
 $C_c = 3.18$

Abertura del tamiz (mm)	% Pasante
75.00	100.00
63.00	100.00
50.00	100.00
37.50	100.00
25.00	93.21
19.00	80.62
12.50	66.19
9.50	56.85
4.75	38.89
2.36	28.20
2.00	25.98
1.18	20.52
0.85	17.78
0.60	15.57
0.43	13.48
0.30	11.67
0.15	8.17
0.08	5.98

## Anexo L.2. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Base – Límites de Atterberg, Proctor y Desgaste

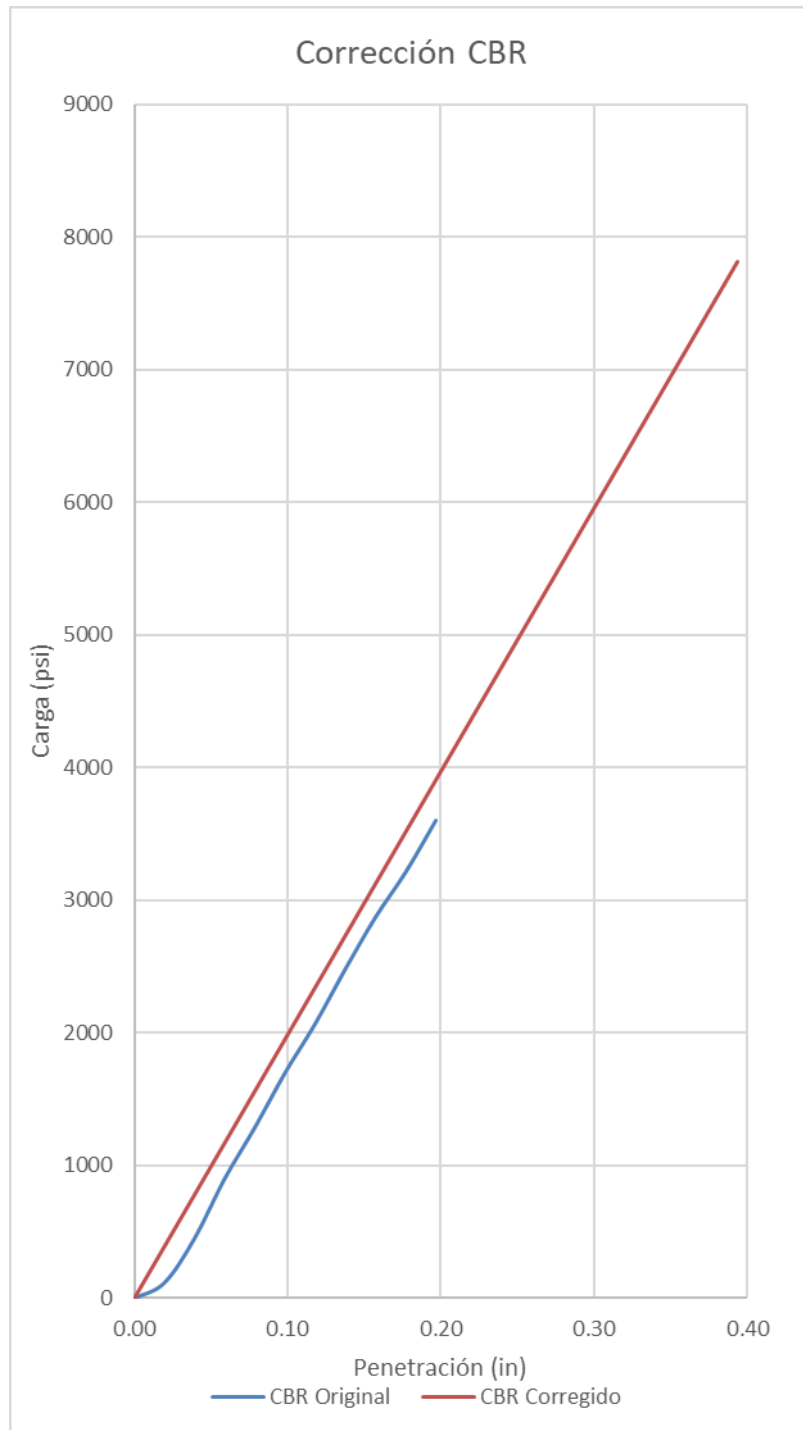
Caracterización del material					
Procedencia: Mina Graiman (Base)					
LÍMITES DE ATTERBERG					
LÍMITE LÍQUIDO (NTE INEN 691)					
Número de Golpes (u)	Humedad				
39	21.54%				
34	21.62%				
23	22.44%				
18	22.67%				
11	23.95%				
LÍMITE PÁSTICO (NTE INEN 692)					
Número de Intento	Humedad	Humedad promedio  20.38%	Resultados		
1	21.12%		Límite plástico	20.38%	
2	19.71%		Límite Líquido	22.25%	
3	19.89%		Índice de plasticidad	1.87%	
4	20.91%				
5	20.28%				
PROCTOR MODIFICADO (ASTM D1557)					
Datos molde					
Código	Peso (kg)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	
89974	6.527	11.570	15.230	2107.767	
Datos ensayo					
Método	Material Pasante (mm)	Peso Martillo (lb)	Altura caída (in)	Número de capas	Golpes por capa
C	19	10	18	5	56
Humedad	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )				
4.14%	1.96				
6.23%	1.98				
8.00%	2.00				
9.45%	2.01				
10.26%	2.01				
11.56%	1.99				
Humedad óptima	Densidad Seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	95% Densidad Seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )			1.911
9.49%	2.011				

DESGASTE (NTE INEN 860)	
Método A	
Pasa (1 1/2") y Retiene (1") (kg)	1255
Pasa (1") y Retiene (3/4") (kg)	1250
Pasa (3/4") y Retiene (1/2") (kg)	1254
Pasa (1/2") y Retiene (3/8") (kg)	1251
Material Inicial (kg)	5010
Material después del ensayo (kg)	4017
Desgaste	19.82%

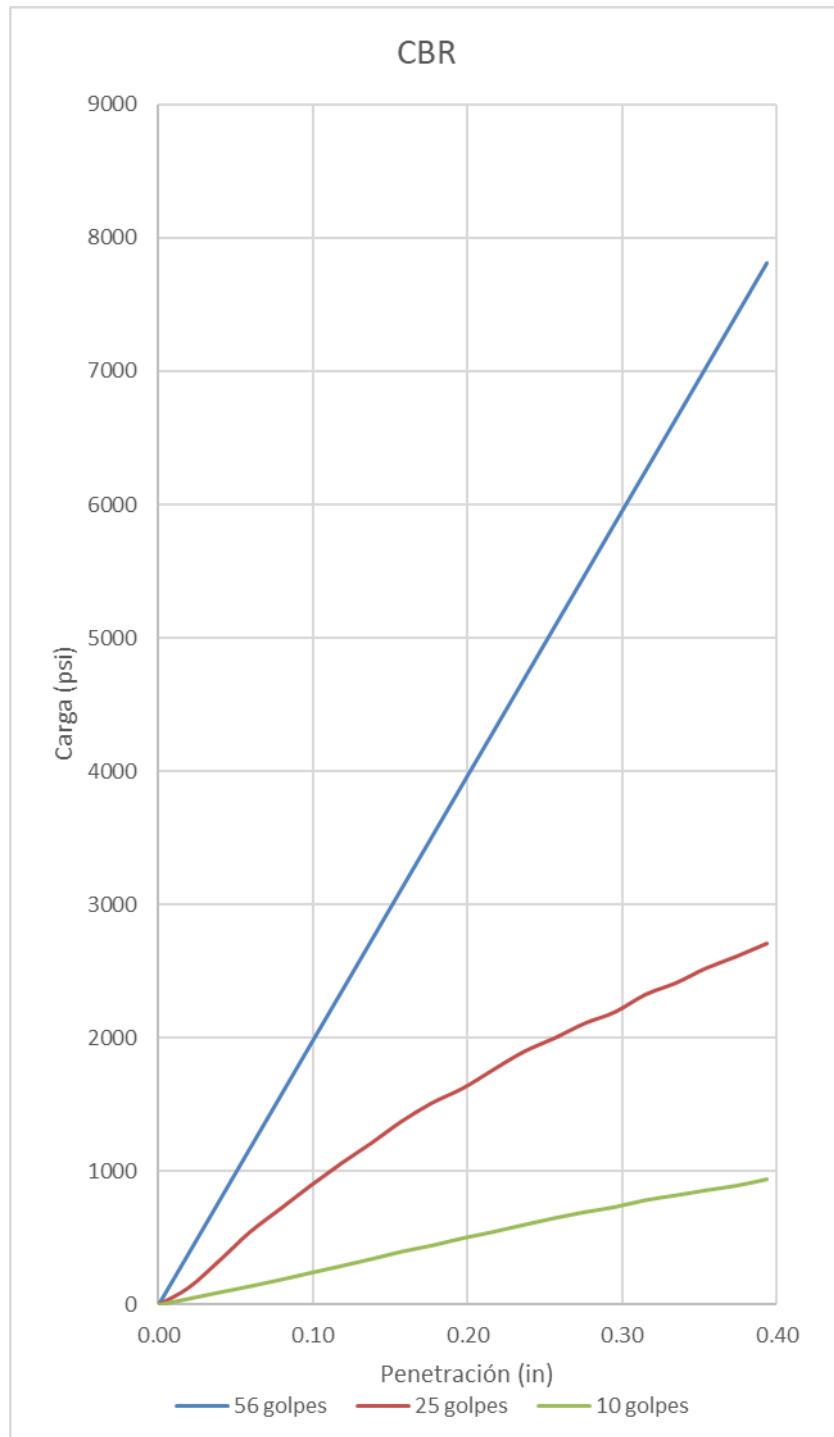
## Anexo L.3. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Base - CBR

Caracterización del material							
Procedencia: Mina Graiman (Base)							
Ensayo CBR (ASTM D1883)							
Lecturas CBR (Multispeed)				Parametros estandar	Penetración (in)	Carga unitaria patrón (psi)	
Sobrecarga 4527 kg - Condición: Saturada					0.1	1000	
Penetración (in)	Carga (psi)			Penetración (in)	CBR (%)		
	Molde: 2 56 golpes	Molde: 3 25 golpes	Molde: 4 10 golpes		2	3	4
0.00	0.00	0.00	0.00	0.1	195.28	24.05	
0.02	390.57	131.19	45.95	0.2	260.38	33.42	
0.04	781.13	332.31	93.33	Molde:	2	4	
0.06	1171.70	545.13	139.43	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )			
0.08	1562.26	718.90	188.38	Antes del remojo	1.961	1.753	
0.10	1952.83	893.71	240.48	Después del remojo	1.932	1.720	
0.12	2343.39	1059.08	291.83	Humedad (%)			
0.14	2733.96	1212.90	344.76	Antes del remojo	9.6	9.5	
0.16	3124.52	1376.85	400.90	Después del remojo	11.2	13.8	
0.18	3515.09	1514.18	447.30				
0.20	3905.65	1622.58	501.35				
0.22	4296.22	1761.63	548.66				
0.24	4686.78	1896.04	601.13				
0.26	5077.35	1996.49	651.80				
0.28	5467.92	2108.04	697.08				
0.30	5858.48	2193.35	735.46				
0.31	6249.05	2324.46	786.74				
0.33	6639.61	2411.26	823.62				
0.35	7030.18	2522.28	861.18				
0.37	7420.74	2610.59	896.41				
0.39	7811.31	2707.37	944.16				
<b>Hinchamiento</b>		Horas:	0h	24h	48h	72h	96h
2			0.00%	0.08%	0.08%	0.08%	0.08%
3			0.00%	0.07%	0.07%	0.07%	0.07%
4			0.00%	0.05%	0.05%	0.05%	0.05%

Anexo L.4. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Base –  
Corrección CBR



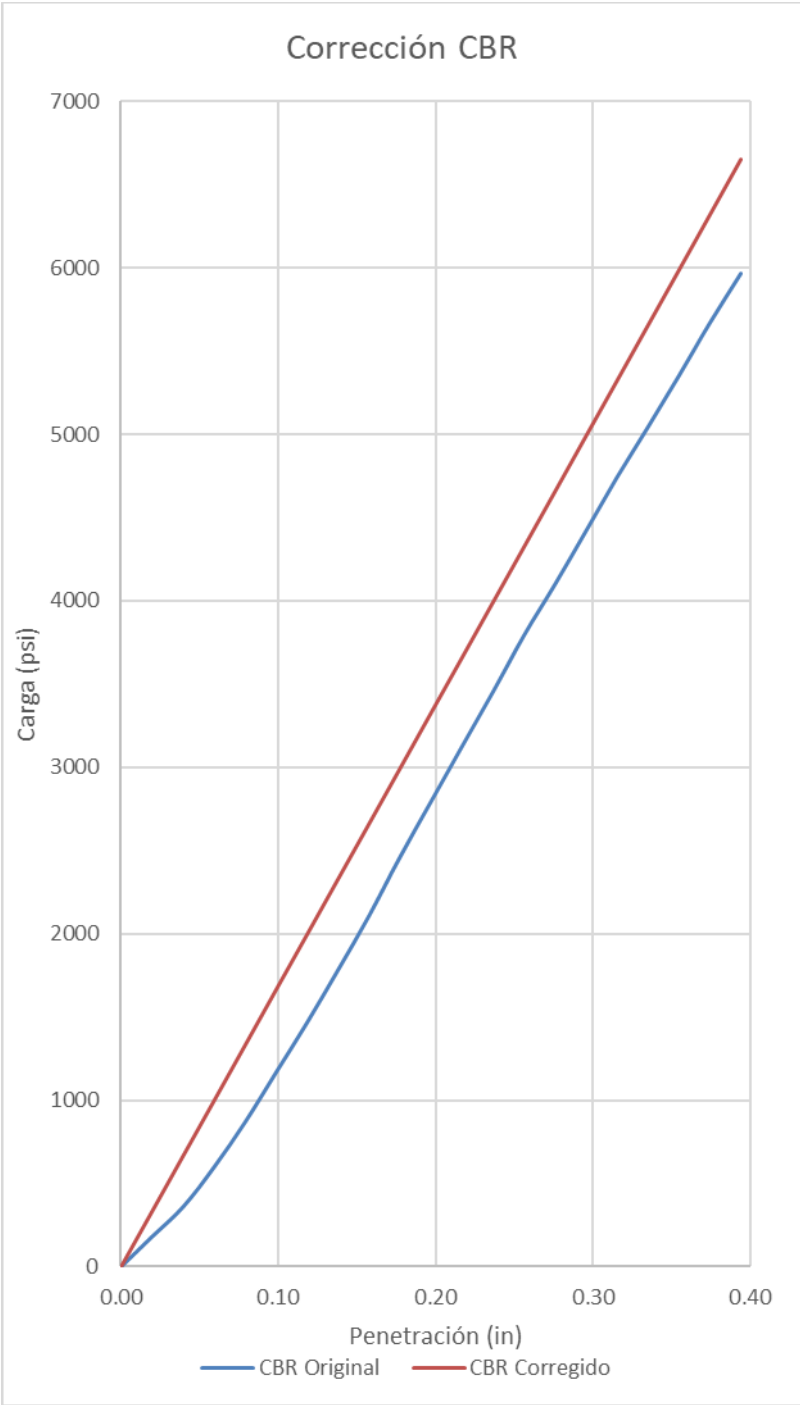
Anexo L.5. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Base – Gráfico CBR



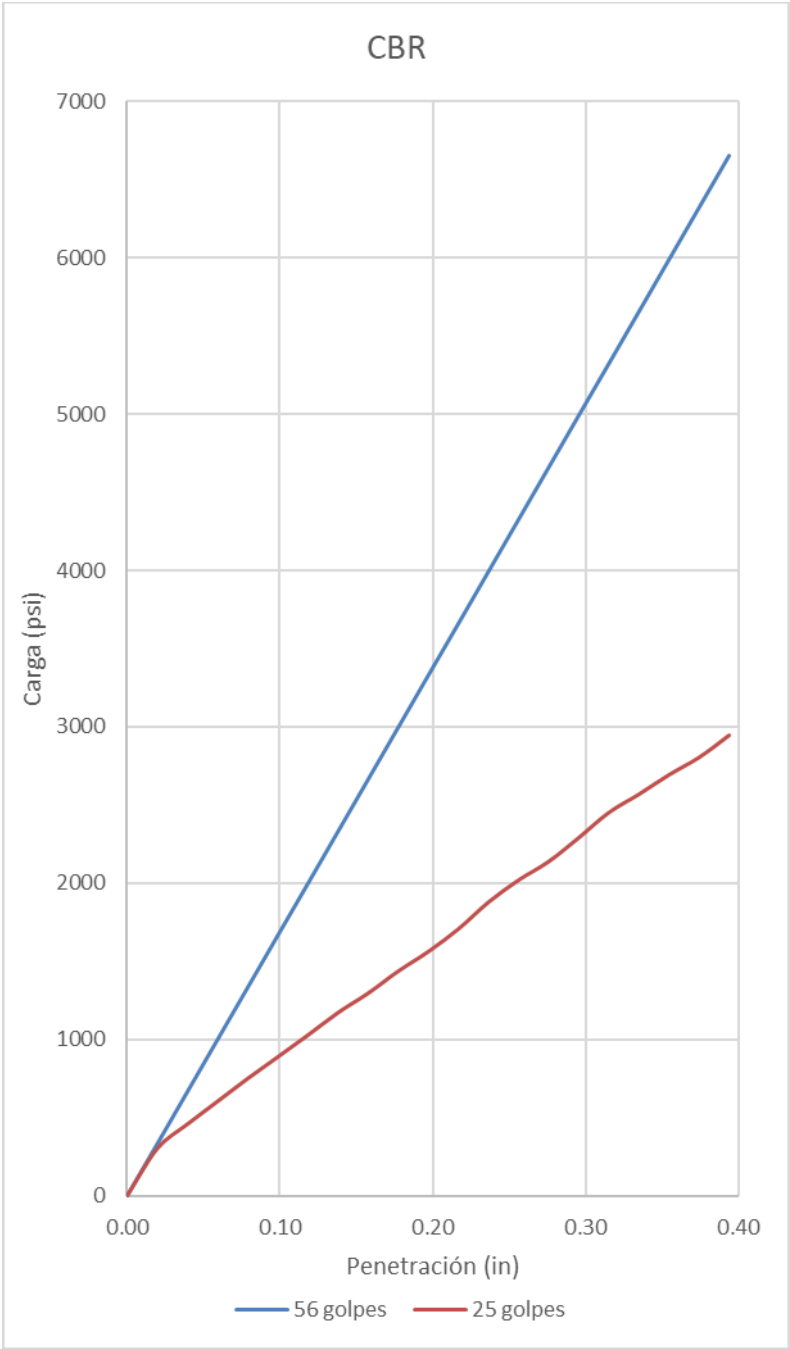
## Anexo L.6. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Base - CBR

Caracterización del material						
Procedencia: Mina Graiman (Base)						
Ensayo CBR (ASTM D1883)						
Lecturas CBR (Multispeed)				Parametros estandar	Penetración (in)	Carga unitaria patrón (psi)
Sobrecarga <b>4526 kg</b> - Condición: Saturada					0.1	1000
Penetración (in)	Carga (psi)			Penetración (in)	0.2	1500
	Molde: m2 56 golpes	Molde: m3 25 golpes	-		CBR (%)	
					m2	m3
0.00	0.00	0.00	-	0.1	166.34	88.61
0.02	332.68	301.35	-	0.2	221.79	103.95
0.04	665.36	457.28	-	Molde:	m2	m3
0.06	998.04	602.70	-	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )		
0.08	1330.72	748.13	-	Antes del remojo	2.021	1.904
0.10	1663.39	886.06	-	Después del remojo	1.983	1.869
0.12	1996.07	1025.50	-	Humedad (%)		
0.14	2328.75	1169.42	-	Antes del remojo	9.5	9.6
0.16	2661.43	1293.11	-	Después del remojo	9.2	10.3
0.18	2994.11	1434.04	-	Densidad Seca vs CBR		
0.20	3326.79	1559.23	-			
0.22	3659.47	1703.91	-			
0.24	3992.15	1875.58	-			
0.26	4324.83	2016.51	-			
0.28	4657.50	2134.95	-			
0.30	4990.18	2287.12	-			
0.31	5322.86	2448.30	-			
0.33	5655.54	2565.24	-			
0.35	5988.22	2689.68	-			
0.37	6320.90	2800.62	-			
0.39	6653.58	2942.30	-			
<b>Hinchamiento</b>		Horas:	0h	24h	48h	72h
m2		-	-	0.00%	0.00%	0.02%
m3		-	-	0.02%	0.02%	0.04%
-		-	-	-	-	-

Anexo L.7. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Base –  
Corrección CBR



Anexo L.8. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Base – Gráfico CBR





## Anexo M Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Sub-base

### Anexo M.1. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Sub-base - Granulometría

Caracterización del material							
Procedencia: Mina Graiman (Subbase)							
Análisis Granulométrico (ASTM D422)							
Masa inicial de suelo =		37.924 kg					
Tamiz	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasante (Relativo)	%Pasante
3"	75	0.000	0.000	-	-	100.00	100.00
2 1/2"	63	0.000	0.000	-	-	100.00	100.00
2"	50	0.000	0.000	-	-	100.00	100.00
1 1/2"	37.5	0.667	0.667	1.76	1.76	98.24	98.24
1"	25	8.614	9.281	22.71	24.47	75.53	75.53
3/4"	19	4.608	13.889	12.15	36.62	63.38	63.38
1/2"	12.5	5.475	19.364	14.44	51.06	48.94	48.94
3/8"	9.5	3.063	22.427	8.08	59.14	40.86	40.86
#4	4.75	5.712	28.139	15.06	74.20	25.80	25.80
Fondo	---	9.785	37.924	25.80	100.00	-	-
Masa inicial de suelo =		1.892 kg					
Tamiz	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasante (Relativo)	%Pasante
#4	4.75	0.020	0.020	1.05	1.05	98.95	25.53
#8	2.36	0.506	0.526	26.73	27.78	72.22	18.63
#10	2	0.106	0.631	5.59	33.37	66.63	17.19
#16	1.18	0.260	0.891	13.74	47.10	52.90	13.65
#20	0.85	0.122	1.013	6.42	53.53	46.47	11.99
#30	0.6	0.098	1.111	5.18	58.70	41.30	10.66
#40	0.425	0.090	1.200	4.75	63.45	36.55	9.43
#50	0.3	0.075	1.275	3.95	67.40	32.60	8.41
#100	0.15	0.154	1.430	8.16	75.56	24.44	6.30
#200	0.075	0.100	1.530	5.29	80.86	19.14	4.94
F	---	0.362	1.892	19.14	100.00	-	-
Análisis Errores				Gráfico			
Sección Gruesa	0.02%	Sección Fina	0.10%	Abertura del tamiz (mm)	% Pasante		
				75.00	100.00		
				63.00	100.00		
				50.00	100.00		
				37.50	98.24		
				25.00	75.53		
				19.00	63.38		
				12.50	48.94		
				9.50	40.86		
				4.75	25.53		
				2.36	18.63		
				2.00	17.19		
				1.18	13.65		
				0.85	11.99		
				0.60	10.66		
				0.43	9.43		
				0.30	8.41		
				0.15	6.30		
				0.08	4.94		

Abertura del tamiz (mm)	% Pasante
75.00	100.00
63.00	100.00
50.00	100.00
37.50	98.24
25.00	75.53
19.00	63.38
12.50	48.94
9.50	40.86
4.75	25.53
2.36	18.63
2.00	17.19
1.18	13.65
0.85	11.99
0.60	10.66
0.43	9.43
0.30	8.41
0.15	6.30
0.08	4.94

## Anexo M.2. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Sub-base – Límites de Atterberg, Proctor y Desgaste

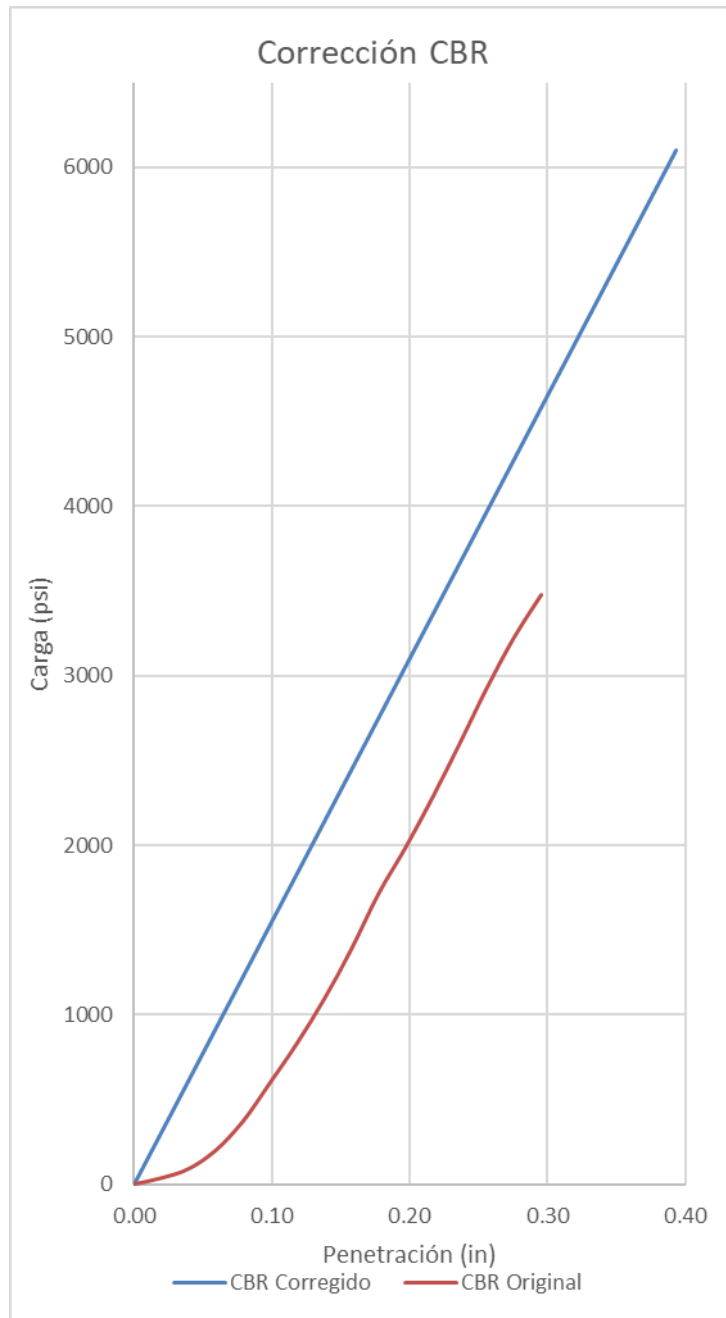
Caracterización del material					
Procedencia: Mina Graiman (Subbase)					
LÍMITES DE ATTERBERG					
LÍMITE LÍQUIDO (NTE INEN 691)					
Número de Golpes (u)	Humedad				
34	21.62%				
28	22.68%				
23	23.34%				
19	24.25%				
13	25.34%				
LÍMITE PÁSTICO (NTE INEN 692)					
Número de Intento	Humedad	Humedad promedio	Resultados		
1	22.17%		Límite plástico	21.24%	
2	20.74%		Límite Líquido	23.10%	
3	20.45%				
4	21.58%	Índice de plasticidad	1.86%		
21.24%					
PROCTOR MODIFICADO (ASTM D1557)					
Datos molde					
Código	Peso (kg)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	
89974	6.527	11.570	15.230	2107.767	
Datos ensayo					
Método	Material Pasante (mm)	Peso Martillo (lb)	Altura caída (in)	Número de capas	Golpes por capa
C	19	10	18	5	56
Humedad	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )				
5.59%	1.91				
6.52%	1.95				
8.64%	2.02				
10.02%	2.04				
10.97%	2.03				
12.02%	2.01				
Humedad óptima	Densidad Seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )				
10.29%	2.034				
95% Densidad Seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )			1.932		

DESGASTE (NTE INEN 860)	
Método A	
Pasa (1 1/2") y Retiene (1") (kg)	1253
Pasa (1") y Retiene (3/4") (kg)	1243
Pasa (3/4") y Retiene (1/2") (kg)	1255
Pasa (1/2") y Retiene (3/8") (kg)	1253
Material Inicial (kg)	5004
Material después del ensayo (kg)	4039
Desgaste	19.28%

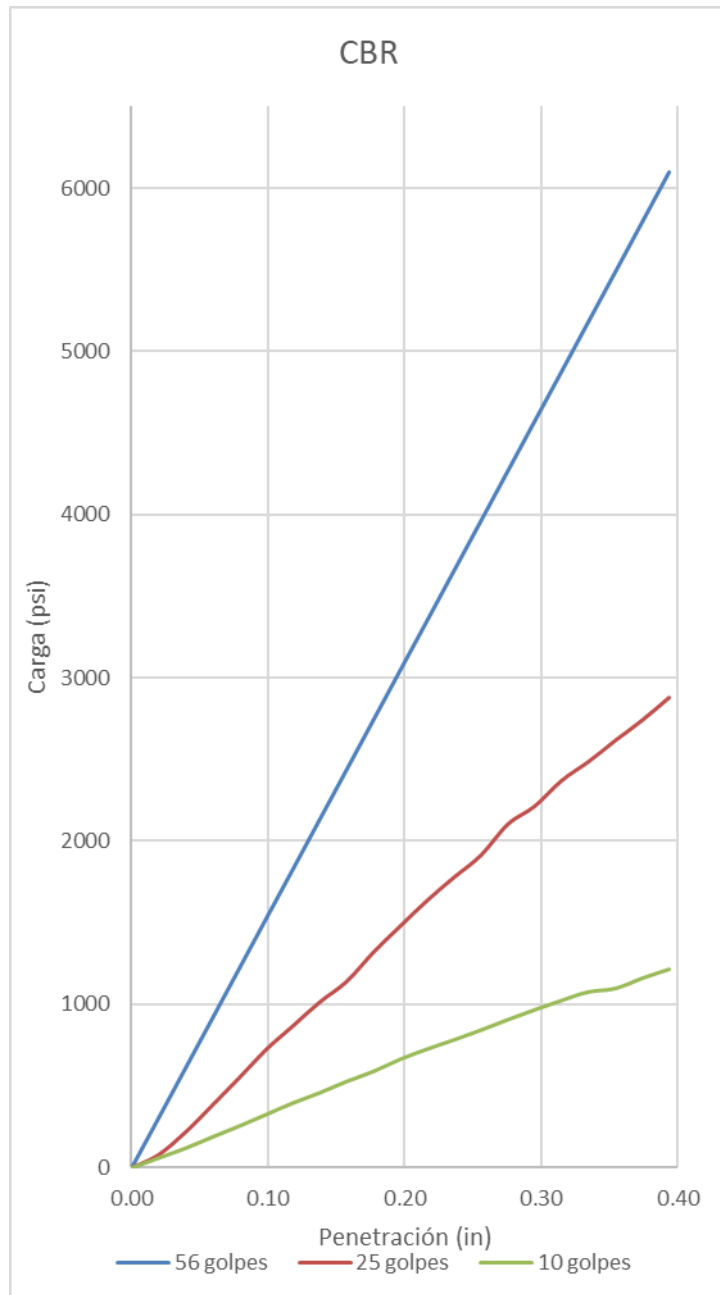
## Anexo M.3. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Sub-base - CBR

Caracterización del material							
Procedencia: Mina Graiman (Subbase)							
Ensayo CBR (ASTM D1883)							
Lecturas CBR (Multispeed)				Parametros estandar	Penetración (in)	Carga unitaria patrón (psi)	
Sobrecarga 4527 kg - Condición: Saturada					0.1	1000	
Penetración (in)	Carga (psi)			Penetración (in)	0.2	1500	
	Molde: M1 56 golpes	Molde: M2 25 golpes	Molde: M3 10 golpes		CBR (%)		
					M1	M2	M3
0.00	0.00	0.00	0.00	0.1	152.54	72.44	32.50
0.02	305.08	80.44	60.42	0.2	203.39	98.81	44.19
0.04	610.16	218.37	119.64	Molde:	M1	M2	M3
0.06	915.24	383.21	188.23	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )			
0.08	1220.33	551.13	254.42	Antes del remojo	1.984	1.728	1.506
0.10	1525.41	724.37	324.97	Después del remojo	1.954	1.690	1.475
0.12	1830.49	869.95	395.81	Humedad (%)			
0.14	2135.57	1015.98	458.32	Antes del remojo	10.4	10.4	10.2
0.16	2440.65	1142.06	527.22	Después del remojo	12.1	12.3	11.5
0.18	2745.73	1321.97	588.46	Densidad Seca vs CBR			
0.20	3050.82	1482.10	662.90				
0.22	3355.90	1639.22	724.89				
0.24	3660.98	1781.12	781.12				
0.26	3966.06	1915.98	840.56				
0.28	4271.14	2105.94	903.91				
0.30	4576.22	2216.28	964.18				
0.31	4881.30	2372.73	1021.07				
0.33	5186.39	2489.00	1073.17				
0.35	5491.47	2618.76	1094.24				
0.37	5796.55	2742.98	1156.53				
0.39	6101.63	2881.28	1210.88				
<b>Hinchamiento</b>	Horas:	0h	24h	48h	72h	96h	
M1		0.00%	0.11%	0.13%	0.15%	0.15%	
M2		0.00%	0.02%	0.03%	0.03%	0.03%	
M3		0.00%	0.02%	0.03%	0.03%	0.04%	

Anexo M.4. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Sub-base –  
Corrección CBR



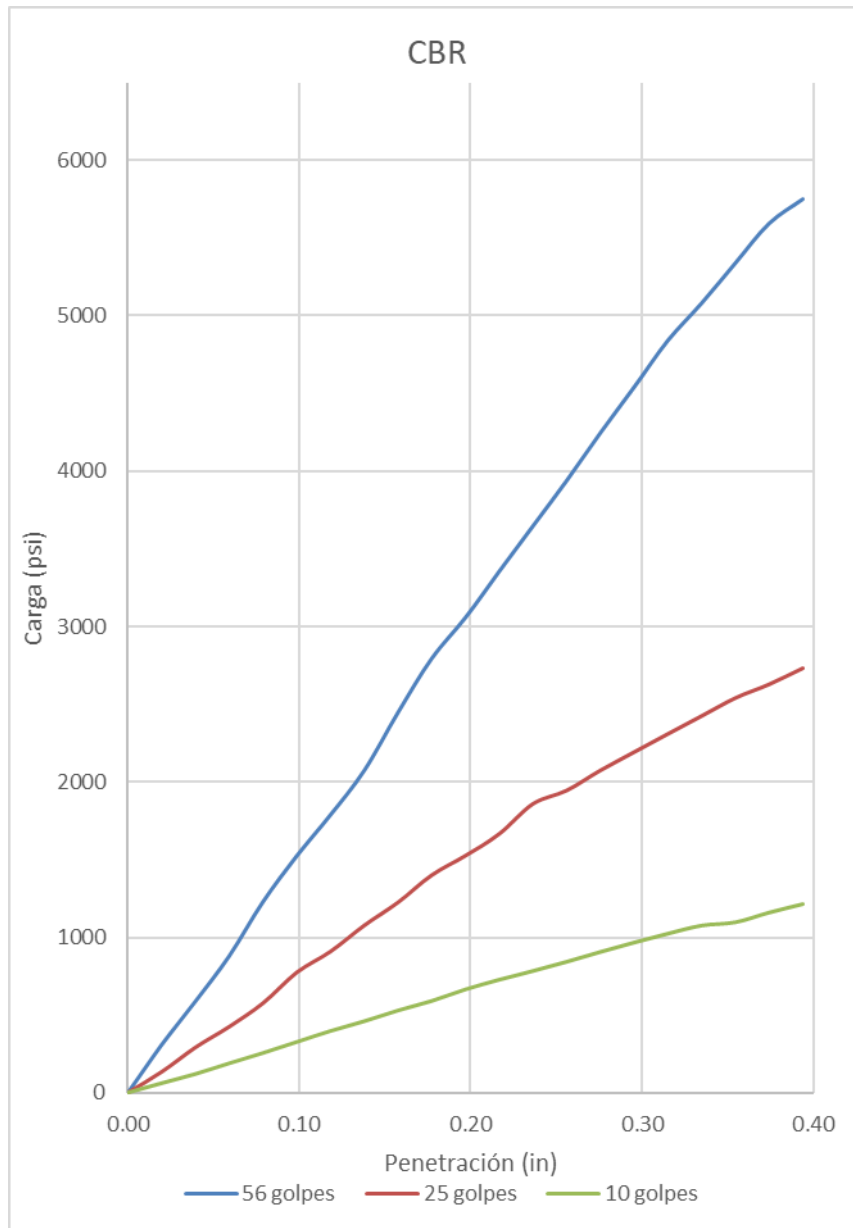
Anexo M.5. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Griman) Sub-base – Gráfico CBR



## Anexo M.6. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Sub-base – CBR

Caracterización del material							
Procedencia: Mina Graiman (Subbase)							
Ensayo CBR (ASTM D1883)							
Lecturas CBR (Multispeed)				Parametros estandar	Penetración (in)	Carga unitaria patrón (psi)	
Sobrecarga 4527 kg - Condición: Saturada					0.1	1000	
Penetración (in)	Carga (psi)			Penetración (in)	CBR (%)		
	Molde: M1 56 golpes	Molde: M2 25 golpes	Molde: M3 10 golpes		M1	M2	M3
0.00	0.00	0.00	0.00	0.1	152.25	77.31	31.17
0.02	308.54	134.06	44.24	0.2	203.76	101.64	41.88
0.04	588.01	290.98	109.15	Molde:	M1	M2	M3
0.06	879.46	424.30	167.42	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )			
0.08	1227.75	575.93	238.01	Antes del remojo	2.003	1.824	1.654
0.10	1522.47	773.12	311.65	Después del remojo	1.973	1.784	1.620
0.12	1786.81	908.17	368.07	Humedad (%)			
0.14	2072.34	1075.85	454.19	Antes del remojo	10.3	10.3	10.2
0.16	2445.33	1224.07	497.49	Después del remojo	11.9	11.9	11.7
0.18	2793.21	1399.56	586.59				
0.20	3056.36	1524.63	628.22				
0.22	3353.16	1665.10	686.14				
0.24	3645.65	1858.35	763.02				
0.26	3937.92	1944.77	810.36				
0.28	4245.62	2074.17	888.01				
0.30	4539.27	2191.72	938.44				
0.31	4839.72	2308.84	987.27				
0.33	5079.87	2424.33	1065.41				
0.35	5337.72	2539.93	1089.15				
0.37	5592.49	2627.89	1137.75				
0.39	5749.11	2731.47	1203.46				
<b>Hinchamiento</b>		Horas:	0h	24h	48h	72h	96h
M1			0.00%	0.11%	0.13%	0.15%	0.15%
M2			0.00%	0.02%	0.03%	0.03%	0.03%
M3			0.00%	0.02%	0.03%	0.03%	0.04%

Anexo M.7. Resultado de Laboratorio Mina Atenas (Graiman) Sub-base – Gráfico CBR



## Anexo N Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Base

### Anexo N.1. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Base - Granulometría

Caracterización del materia+B2:149I							
Procedencia: Mina Rookaazul (Base)							
GRANULOMETRÍA (NTE INEN 696)							
Masa inicial de suelo =		31.744 kg					
Tamiz	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasante (Relativo)	%Pasante
3"	75	0.000	0.000	-	-	100.00	100.00
2 1/2"	63	0.000	0.000	-	-	100.00	100.00
2"	50	0.000	0.000	-	-	100.00	100.00
1 1/2"	37.5	0.000	0.000	-	-	100.00	100.00
1"	25	1.094	1.094	3.45	3.45	96.55	96.55
3/4"	19	3.807	4.901	11.99	15.44	84.56	84.56
1/2"	12.5	3.544	8.445	11.16	26.60	73.40	73.40
3/8"	9.5	2.073	10.518	6.53	33.13	66.87	66.87
#4	4.75	4.167	14.685	13.13	46.26	53.74	53.74
Fondo	---	17.059	31.744	53.74	100.00	--	--
Masa inicial de suelo =		3.268 kg					
Tamiz	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasante (Relativo)	%Pasante
#4	4.75	0.020	0.020	0.62	0.62	99.38	53.40
#8	2.36	0.730	0.750	22.34	22.96	77.04	41.40
#10	2	0.173	0.923	5.28	28.25	71.75	38.56
#16	1.18	0.443	1.366	13.55	41.80	58.20	31.28
#20	0.85	0.252	1.618	7.70	49.50	50.50	27.14
#30	0.6	0.228	1.845	6.96	56.46	43.54	23.40
#40	0.425	0.226	2.071	6.91	63.37	36.63	19.68
#50	0.3	0.183	2.254	5.60	68.98	31.02	16.67
#100	0.15	0.288	2.543	8.83	77.81	22.19	11.93
#200	0.075	0.161	2.704	4.93	82.73	17.27	9.28
F	---	0.564	3.268	17.27	100.00	-	-
Análisis Errores				Gráfico			
Sección Gruesa	0.10%	Sección Fina	0.03%	Abertura del tamiz (mm)	% Pasante		
				75.00	100.00		
				63.00	100.00		
				50.00	100.00		
				37.50	100.00		
				25.00	96.55		
				19.00	84.56		
				12.50	73.40		
				9.50	66.87		
				4.75	53.40		
				2.36	41.40		
				2.00	38.56		
				1.18	31.28		
				0.85	27.14		
				0.60	23.40		
				0.43	19.68		
				0.30	16.67		
				0.15	11.93		
				0.08	9.28		

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

Curva de granulometría que muestra el porcentaje de material que pasa a través de tamices de diferentes tamaños. El eje horizontal representa el tamaño de partícula en milímetros (mm) en una escala logarítmica, y el eje vertical representa el porcentaje de material que pasa (% Pasante). Se indican los valores de  $D_{90}=7.08$  mm,  $D_{30}=1.08$  mm,  $D_{10}=0.09$  mm,  $C_u=74.17$  y  $C_c=1.72$ .

Abertura del tamiz (mm)	% Pasante
75.00	100.00
63.00	100.00
50.00	100.00
37.50	100.00
25.00	96.55
19.00	84.56
12.50	73.40
9.50	66.87
4.75	53.40
2.36	41.40
2.00	38.56
1.18	31.28
0.85	27.14
0.60	23.40
0.43	19.68
0.30	16.67
0.15	11.93
0.08	9.28



## Anexo N.2. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Base – Límites de Atterberg, Proctor y Desgaste

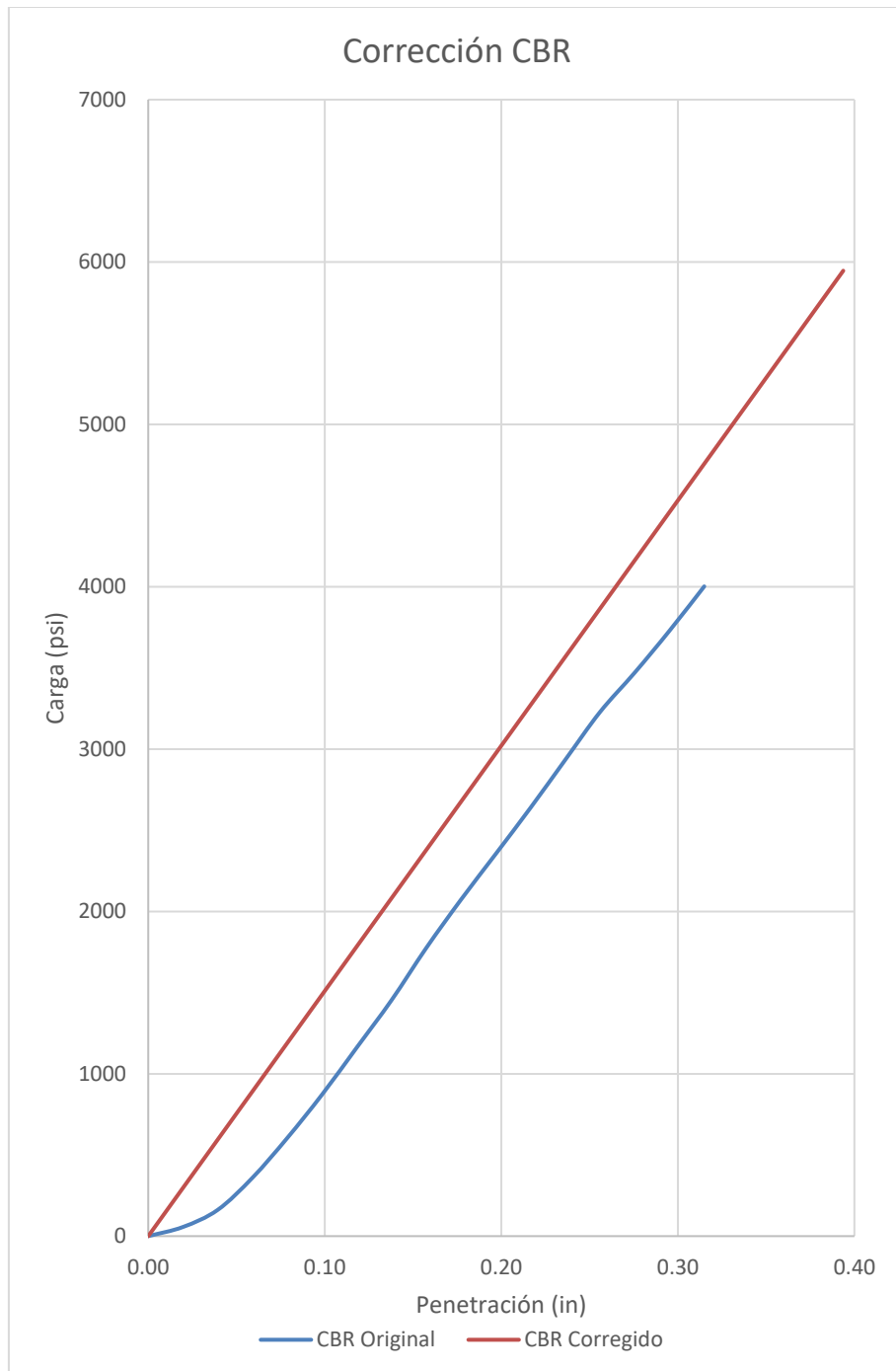
Caracterización del material					
Procedencia: Mina Rookaazul (Base)					
LÍMITES DE ATTERBERG					
LÍMITE LÍQUIDO (NTE INEN 691)					
Número de Golpes (u)	Humedad				
40	19.12%				
34	20.13%				
24	20.73%				
21	21.71%				
15	22.43%				
LÍMITE PÁSTICO (NTE INEN 692)					
Número de Intento	Humedad	Humedad promedio	Resultados		
1	16.88%	17.14%	Límite plástico	17.14%	
2	16.36%		Límite Líquido	20.75%	
3	18.18%		Índice de plasticidad	3.61%	
4	17.27%				
5	17.02%				
PROCTOR MODIFICADO (ASTM D1557)					
Datos molde					
Código	Peso (kg)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	
89974	6.530	11.570	15.230	2107.767	
Datos ensayo					
Método	Material Pasante (mm)	Peso Martillo (lb)	Altura caída (in)	Número de capas	Golpes por capa
C	19	10	18	5	56
Humedad	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )				
2.70%	2.09				
4.54%	2.12				
7.43%	2.14				
8.90%	2.13				
10.92%	2.10				
Humedad óptima	Densidad Seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )				
7.15%	2.142				
95% Densidad Seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )				2.035	

DESGASTE (NTE INEN 860)	
Método B	
Pasa (3/4") y Retiene (1/2") (kg)	2506
Pasa (1/2") y Retiene (3/8") (kg)	2501
Material Inicial (kg)	5007
Material después del ensayo (kg)	4057
Desgaste	18.97%

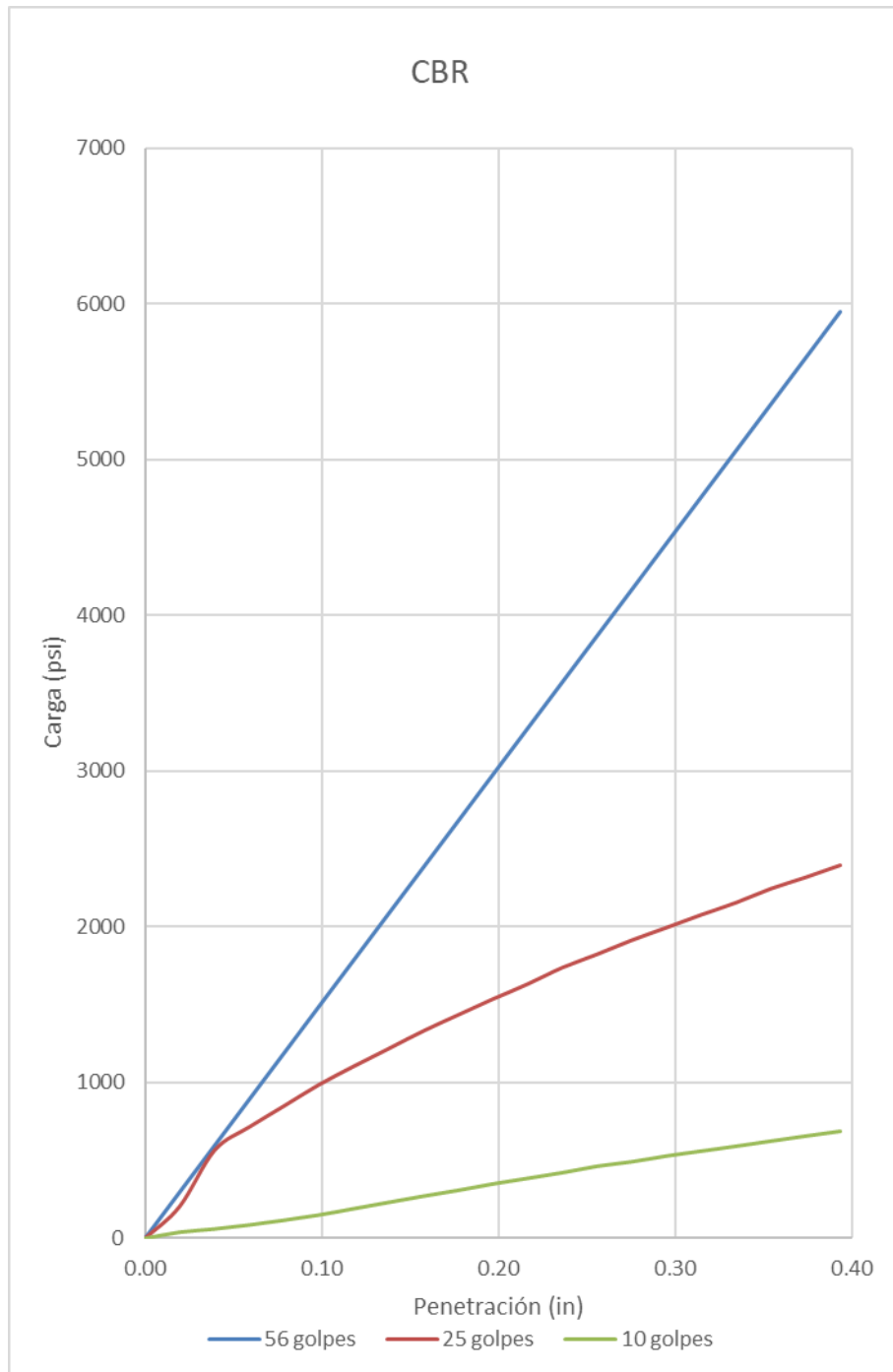
## Anexo N.3. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Base - CBR

Caracterización del material																																			
Procedencia: Mina Rookaazul (Base)																																			
Ensayo CBR (ASTM D1883)																																			
Lecturas CBR (Multispeed)				Parametros estandar	Penetración (in)	Carga unitaria patrón (psi)																													
Sobrecarga <b>4527 kg</b> - Condición: Saturada					0.1	1000																													
Penetración (in)	Carga (psi)			Penetración (in)	0.2	1500																													
	Molde: 2A 56 golpes	Molde: 3A 25 golpes	Molde: 4A 10 golpes		CBR (%)																														
					2A	3A	4A																												
0.00	0.00	0.00	0.00	0.1	148.66	98.43	15.01																												
0.02	297.31	205.25	40.11	0.2	198.21	102.18	23.29																												
0.04	594.63	564.10	60.95	Molde:	2A	3A	4A																												
0.06	891.94	713.80	86.36	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )																															
0.08	1189.26	848.58	116.87	Antes del remojo	2.120	2.021	1.913																												
0.10	1486.57	984.27	150.08	Después del remojo	2.092	1.966	1.877																												
0.12	1783.89	1102.41	190.41	Humedad (%)																															
0.14	2081.20	1214.63	231.04	Antes del remojo	7.2	7.2	7.1																												
0.16	2378.52	1328.57	270.84	Después del remojo	8.8	9.7	11.0																												
0.18	2675.83	1431.35	307.95																																
0.20	2973.15	1532.70	349.33																																
0.22	3270.46	1628.72	384.79																																
0.24	3567.78	1734.87	421.14																																
0.26	3865.09	1820.33	462.52																																
0.28	4162.41	1910.59	491.68																																
0.30	4459.72	1991.02	528.49																																
0.31	4757.04	2073.70	559.60																																
0.33	5054.35	2151.37	590.71																																
0.35	5351.67	2240.42	623.62																																
0.37	5648.98	2313.14	655.85	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Hinchamiento</th> <th>Horas:</th> <th>0h</th> <th>24h</th> <th>48h</th> <th>72h</th> <th>96h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2A</td> <td></td> <td>0.00%</td> <td>0.07%</td> <td>0.09%</td> <td>0.09%</td> <td>0.09%</td> </tr> <tr> <td>3A</td> <td></td> <td>0.00%</td> <td>0.04%</td> <td>0.05%</td> <td>0.05%</td> <td>0.05%</td> </tr> <tr> <td>4A</td> <td></td> <td>0.00%</td> <td>0.04%</td> <td>0.04%</td> <td>0.04%</td> <td>0.05%</td> </tr> </tbody> </table>				Hinchamiento	Horas:	0h	24h	48h	72h	96h	2A		0.00%	0.07%	0.09%	0.09%	0.09%	3A		0.00%	0.04%	0.05%	0.05%	0.05%	4A		0.00%	0.04%	0.04%	0.04%	0.05%
Hinchamiento	Horas:	0h	24h					48h	72h	96h																									
2A		0.00%	0.07%					0.09%	0.09%	0.09%																									
3A		0.00%	0.04%	0.05%	0.05%	0.05%																													
4A		0.00%	0.04%	0.04%	0.04%	0.05%																													
0.39	5946.30	2390.80	686.59																																

Anexo N.4. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Base – Corrección CBR



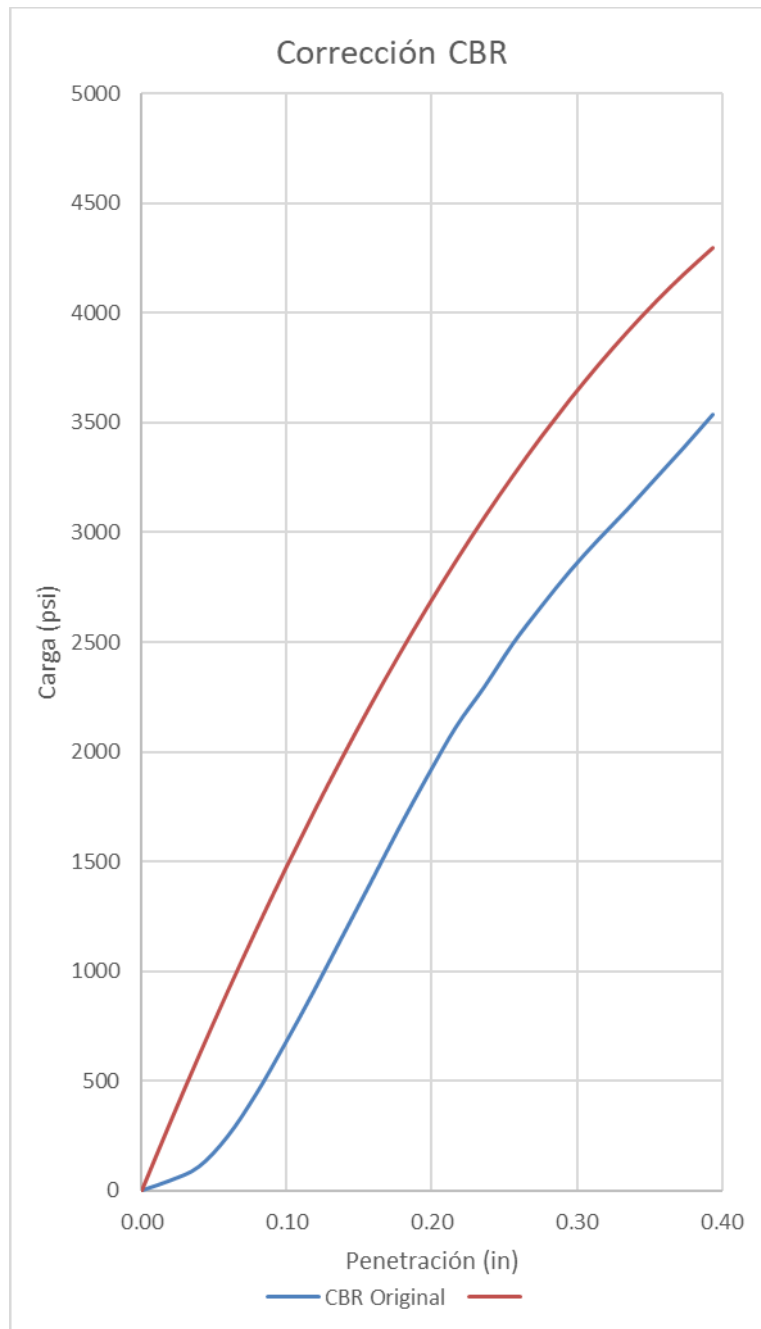
Anexo N.5. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Base – Gráfico CBR



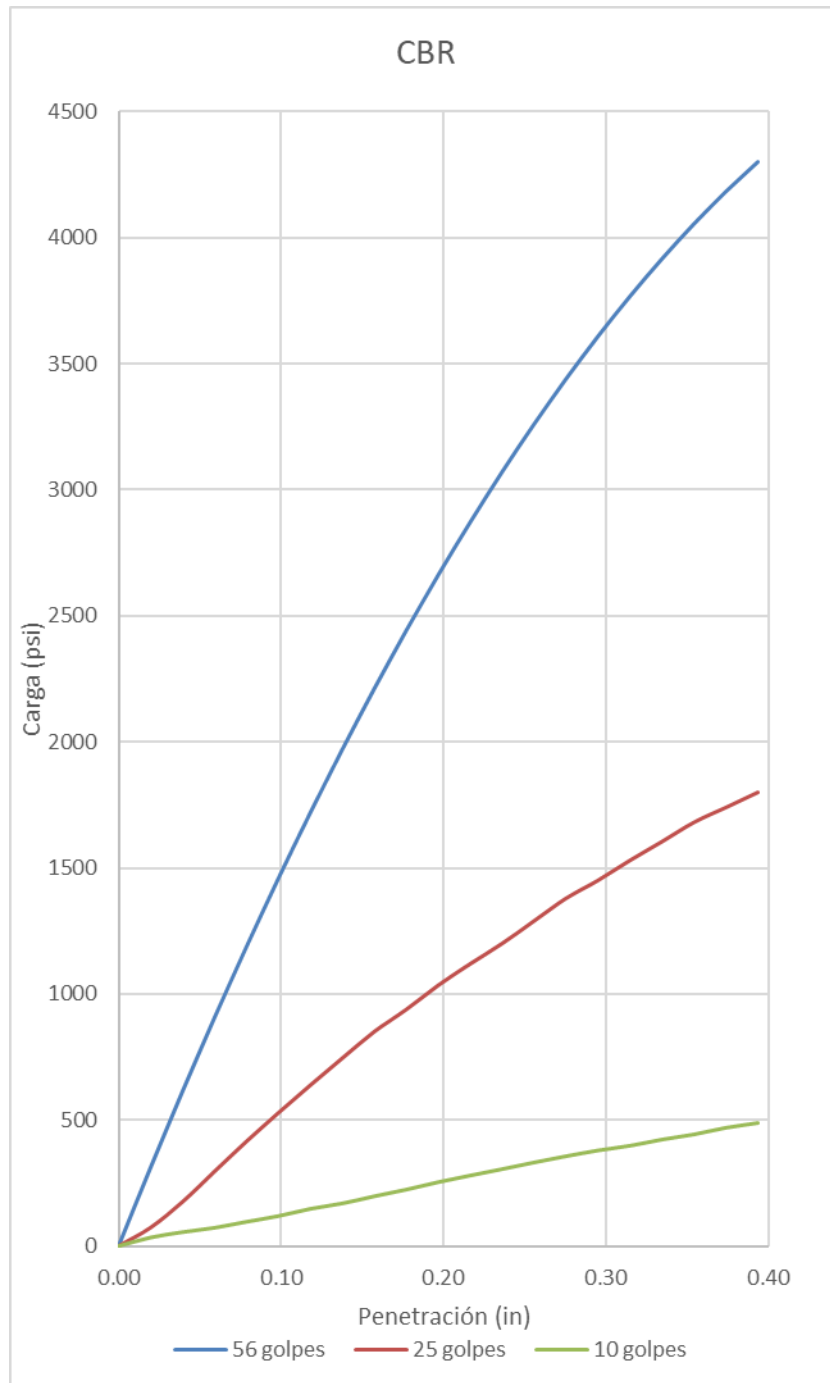
Anexo N.6. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Base – CBR

Caracterización del material																																			
Procedencia: Mina Rookaazul (Base)																																			
Ensayo CBR (ASTM D1883)																																			
Lecturas CBR (Multispeed)				Parametros estandar	Penetración (in)	Carga unitaria patrón (psi)																													
Sobrecarga 4526 kg - Condición: Saturada					0.1	1000																													
Penetración (in)	Carga (psi)			Penetración (in)	1500																														
	Molde: 2A 56 golpes	Molde: 3A 25 golpes	Molde: 4A 10 golpes		CBR (%)																														
					2A	3A	4A																												
0.00	0.00	0.00	0.00	0.1	145.85	52.87	11.87																												
0.02	312.15	73.31	33.66	0.2	177.41	69.04	16.84																												
0.04	614.07	175.64	55.10	Molde:	2A	3A	4A																												
0.06	905.76	296.33	72.11	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )																															
0.08	1187.23	415.52	95.88	Antes del remojo	2.10	2.04	1.98																												
0.10	1458.46	528.71	118.67	Después del remojo	2.05	2.00	1.94																												
0.12	1719.47	639.06	147.08	Humedad (%)																															
0.14	1970.25	746.26	168.59	Antes del remojo	7.1	7.0	7.2																												
0.16	2210.80	851.51	197.00	Después del remojo	9.1	9.9	11.5																												
0.18	2441.12	939.36	223.39																																
0.20	2661.21	1035.54	252.55																																
0.22	2871.08	1120.70	279.09																																
0.24	3070.72	1201.51	304.20																																
0.26	3260.12	1291.01	330.81																																
0.28	3439.30	1380.82	355.48																																
0.30	3608.25	1452.26	378.34																																
0.31	3766.98	1531.72	396.78																																
0.33	3915.47	1605.94	421.29																																
0.35	4053.74	1682.55	441.68																																
0.37	4181.77	1741.62	467.99	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Hinchamiento</th> <th>Horas:</th> <th>0h</th> <th>24h</th> <th>48h</th> <th>72h</th> <th>96h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2A</td> <td></td> <td>0.00%</td> <td>0.02%</td> <td>0.02%</td> <td>0.02%</td> <td>0.02%</td> </tr> <tr> <td>3A</td> <td></td> <td>0.00%</td> <td>0.02%</td> <td>0.02%</td> <td>0.02%</td> <td>0.02%</td> </tr> <tr> <td>4A</td> <td></td> <td>0.00%</td> <td>0.04%</td> <td>0.04%</td> <td>0.05%</td> <td>0.05%</td> </tr> </tbody> </table>				Hinchamiento	Horas:	0h	24h	48h	72h	96h	2A		0.00%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	3A		0.00%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	4A		0.00%	0.04%	0.04%	0.05%	0.05%
Hinchamiento	Horas:	0h	24h					48h	72h	96h																									
2A		0.00%	0.02%					0.02%	0.02%	0.02%																									
3A		0.00%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%																													
4A		0.00%	0.04%	0.04%	0.05%	0.05%																													
0.39	4299.58	1801.51	486.74																																

## Anexo N.7. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Base – Corrección CBR



Anexo N.8. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Base – Gráfico CBR

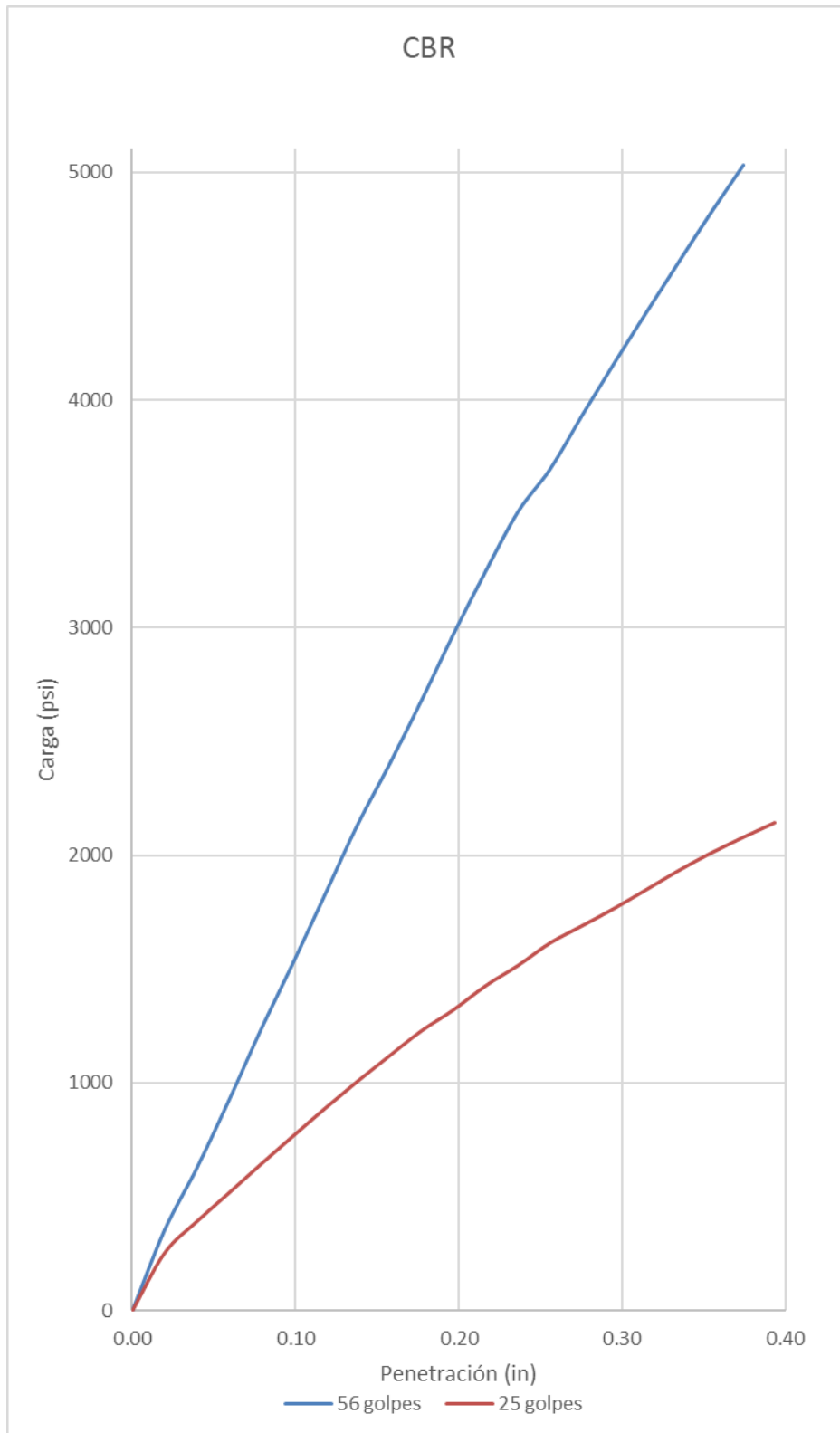


## Anexo N.9. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Base – CBR

Caracterización del material																																			
Procedencia: Mina Rookaazul (Base)																																			
Ensayo CBR (ASTM D1883)																																			
Lecturas CBR (Multispeed)				Parámetros estandar	Penetración (in)	Carga unitaria patrón (psi)																													
Sobrecarga 4526 kg - Condición: Saturada					0.1	1000																													
Penetración (in)	Carga (psi)			Penetración (in)	CBR (%)																														
	Molde: 4A 56 golpes	Molde: M1 25 golpes	-		4A	M1	-																												
0.00	0.00	0.00	-	0.1	152.85	76.76	-																												
0.02	353.83	253.38	-	0.2	198.40	88.16	-																												
0.04	625.94	392.06	-	Molde:	4A	M1	-																												
0.06	923.55	517.25	-	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )																															
0.08	1236.14	643.93	-	Antes del remojo	2.101	1.997	-																												
0.10	1528.50	767.62	-	Después del remo	2.069	1.959	-																												
0.12	1831.35	889.81	-	Humedad (%)																															
0.14	2134.20	1007.50	-	Antes del remojo	7.2	7.2	-																												
0.16	2401.82	1119.95	-	Después del remo	8.8	9.7	-																												
0.18	2683.68	1230.14	-																																
0.20	2976.04	1322.35	-																																
0.22	3251.90	1428.05	-																																
0.24	3511.27	1516.50	-																																
0.26	3698.68	1615.46	-																																
0.28	3936.31	1691.17	-																																
0.30	4165.70	1767.63	-																																
0.31	4388.34	1850.09	-																																
0.33	4607.98	1933.30	-																																
0.35	4824.63	2009.76	-																																
0.37	5031.52	2078.73	-	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Hinchamiento</th> <th>Horas:</th> <th>0h</th> <th>24h</th> <th>48h</th> <th>72h</th> <th>96h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4A</td> <td></td> <td>-</td> <td>0.07%</td> <td>0.09%</td> <td>0.09%</td> <td>0.09%</td> </tr> <tr> <td>M1</td> <td></td> <td>-</td> <td>0.04%</td> <td>0.05%</td> <td>0.05%</td> <td>0.05%</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td></td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>				Hinchamiento	Horas:	0h	24h	48h	72h	96h	4A		-	0.07%	0.09%	0.09%	0.09%	M1		-	0.04%	0.05%	0.05%	0.05%	-		-	-	-	-	-
Hinchamiento	Horas:	0h	24h	48h	72h	96h																													
4A		-	0.07%	0.09%	0.09%	0.09%																													
M1		-	0.04%	0.05%	0.05%	0.05%																													
-		-	-	-	-	-																													
0.39	5253.42	2143.95	-																																



Anexo N.10. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Base – Gráfico CBR



## Anexo O Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Sub-Base

### Anexo O.1. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Sub-base – Granulometría

Caracterización del material							
Procedencia: Mina Rookaazul (Subbase)							
GRANULOMETRÍA (NTE INEN 696)							
Masa inicial de suelo = 37.586 kg							
Tamiz	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasante (Relativo)	%Pasante
3	75	0.000	0.000	-	-	100.00	100.00
2.5	63	0.345	0.345	0.92	0.92	99.08	99.08
2	50	2.294	2.639	6.10	7.02	92.98	92.98
1.5	37.5	3.355	5.994	8.93	15.95	84.05	84.05
1	25	6.760	12.754	17.99	33.93	66.07	66.07
3/4	19	2.966	15.720	7.89	41.82	58.18	58.18
1/2	12.5	3.028	18.748	8.06	49.88	50.12	50.12
3/8	9.5	1.881	20.629	5.00	54.88	45.12	45.12
N4	4.75	3.796	24.425	10.10	64.98	35.02	35.02
Fondo	---	13.161	37.586	35.02	100.00	-	-
Masa inicial de suelo = 3.233 kg							
Tamiz	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasante (Relativo)	%Pasante
#4	4.75	0.019	0.019	0.60	0.60	99.40	34.80
#8	2.36	0.707	0.726	21.85	22.46	77.54	27.15
#10	2	0.175	0.901	5.41	27.86	72.14	25.26
#16	1.18	0.459	1.360	14.21	42.08	57.92	20.28
#20	0.85	0.258	1.619	7.99	50.07	49.93	17.48
#30	0.6	0.219	1.838	6.78	56.85	43.15	15.11
#40	0.425	0.213	2.051	6.59	63.44	36.56	12.80
#50	0.3	0.162	2.213	5.01	68.45	31.55	11.05
#100	0.15	0.240	2.453	7.42	75.87	24.13	8.45
#200	0.075	0.135	2.587	4.16	80.03	19.97	6.99
F	---	0.646	3.233	19.97	100.00	-	-
Análisis Errores				Gráfico			
Sección Gruesa	0.01%	Sección Fina	0.18%	Abertura del tamiz (mm)	% Pasante		
				75.00	100.00		
				63.00	99.08		
				50.00	92.98		
				37.50	84.05		
				25.00	66.07		
				19.00	58.18		
				12.50	50.12		
				9.50	45.12		
				4.75	34.80		
				2.36	27.15		
				2.00	25.26		
				1.18	20.28		
				0.85	17.48		
				0.60	15.11		
				0.43	12.80		
				0.30	11.05		
				0.15	8.45		
				0.08	6.99		

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
Cu = 85.12	Cc = 2.16
D <sub>60</sub> = 20.39 mm	D <sub>30</sub> = 3.25 mm
D <sub>10</sub> = 0.24 mm	

## Anexo O.2. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Sub-base – Límites de Atterberg, Proctor y Desgaste

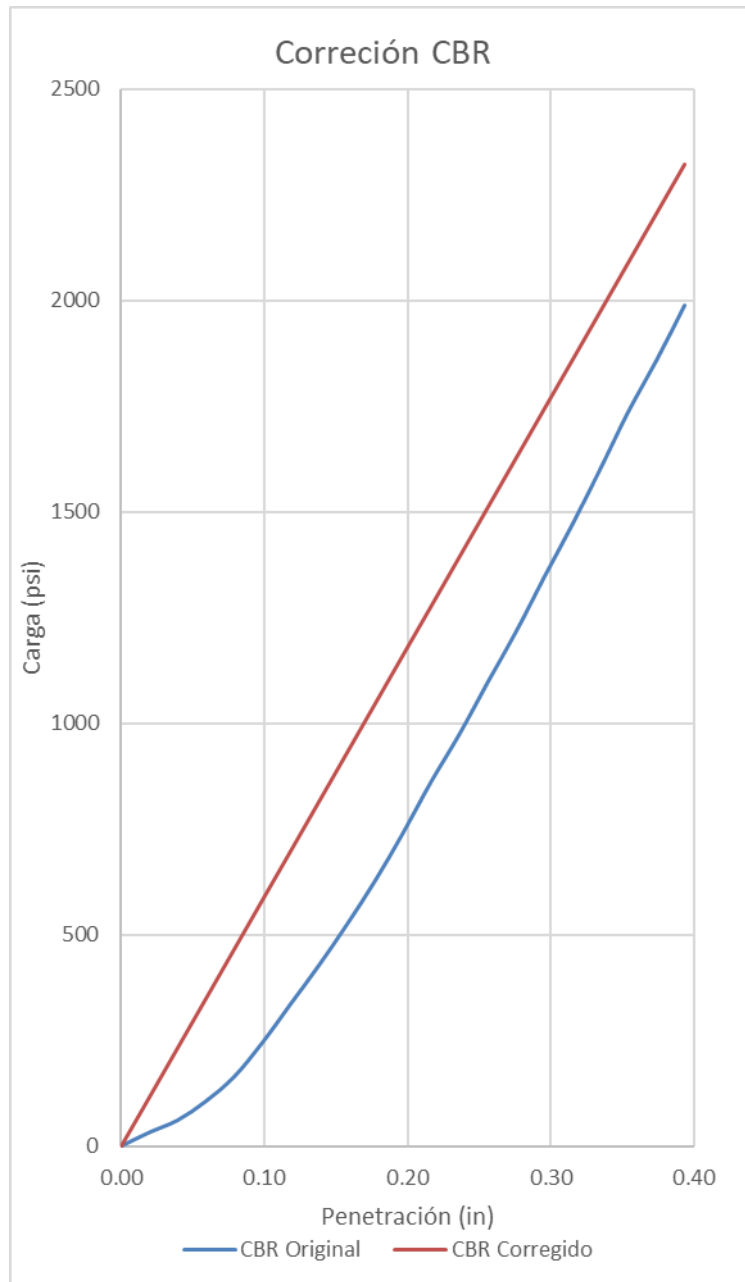
Caracterización del material					
Procedencia: Mina Rookaazul (Subbase)					
LÍMITES DE ATTERBERG					
LÍMITE LÍQUIDO (NTE INEN 691)					
Número de Golpes (u)	Humedad				
34	21.27%				
28	22.68%				
23	24.22%				
19	24.43%				
13	25.21%				
LÍMITE PÁSTICO (NTE INEN 692)					
Número de Intento	Humedad	Humedad promedio	Resultados		
1	16.19%		Límite plástico	17.25%	
2	17.86%		Límite Líquido	23.00%	
3	17.50%				
4	17.59%	Índice de plasticidad	5.76%		
17.29%					
PROCTOR MODIFICADO (ASTM D1557)					
Datos molde					
Código	Peso (kg)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	
89974	6.527	11.570	15.230	2107.767	
Datos ensayo					
Método	Material Pasante (mm)	Peso Martillo (lb)	Altura caída (in)	Número de capas	Golpes por capa
C	19	10	18	5	56
Humedad	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )				
	2.55%	2.03			
	4.62%	2.10			
	7.31%	2.13			
	9.28%	2.12			
10.70%	2.06				
Humedad óptima	Densidad Seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )				
	7.49%	2.135			
95% Densidad Seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )		2.028			

DESGASTE (NTE INEN 860)	
Método A	
Pasa (1 1/2") y Retiene (1") (kg)	1252
Pasa (1") y Retiene (3/4") (kg)	1252
Pasa (3/4") y Retiene (1/2") (kg)	1253
Pasa (1/2") y Retiene (3/8") (kg)	1253
Material Inicial (kg)	5010
Material después del ensayo (kg)	3914
Desgaste	21.88%

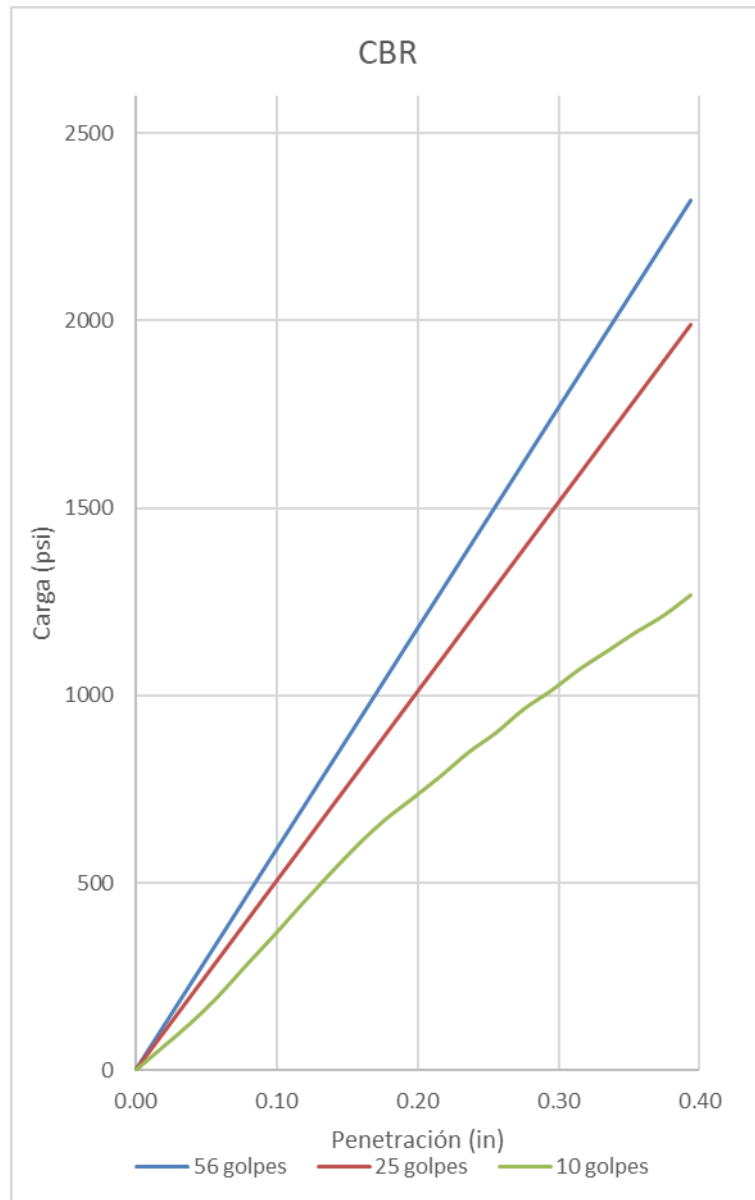
## Anexo O.3. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Sub-base - CBR

Caracterización del material							
Procedencia: Mina Rookaazul (Subbase)							
Ensayo CBR (ASTM D1883)							
Lecturas CBR (Multispeed)				Parametros estandar	Penetración (in)	Carga unitaria patrón (psi)	
Sobrecarga 4527 kg - Condición: Saturada					0.1	1000	
Penetración (in)	Carga (psi)			Penetración (in)	CBR (%)		
	Molde: M1 56 golpes	Molde: M2 25 golpes	Molde: M3 10 golpes		M1	M2	M3
0.00	0.00	0.00	0.00	0.1	58.06	36.08	
0.02	116.11	99.50	63.42	0.2	77.41	48.44	
0.04	232.23	199.00	126.91	Molde:	M1	M2	
0.06	348.34	298.50	199.40	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )			
0.08	464.46	398.00	281.34	Antes del remojo	2.130	1.968	
0.10	580.57	497.50	360.80	Después del remojo	2.092	1.928	
0.12	696.68	597.00	444.01	Humedad (%)			
0.14	812.80	696.50	524.07	Antes del remojo	7.6	7.5	
0.16	928.91	796.00	601.20	Después del remojo	9.6	10.8	
0.18	1045.03	895.50	669.65	<p style="text-align: center;">Densidad Seca vs CBR</p>			
0.20	1161.14	995.00	726.62				
0.22	1277.26	1094.50	785.61				
0.24	1393.37	1194.00	848.73				
0.26	1509.48	1293.50	901.81				
0.28	1625.60	1393.00	964.85				
0.30	1741.71	1492.50	1014.55				
0.31	1857.83	1592.00	1070.92				
0.33	1973.94	1691.50	1118.82				
0.35	2090.05	1791.00	1168.15				
0.37	2206.17	1890.50	1212.68				
0.39	2322.28	1990.00	1268.08				
<b>Hinchamiento</b>		Horas:	0h	24h	48h	72h	96h
M1			0.00%	0.11%	0.11%	0.11%	0.13%
M2			0.00%	0.09%	0.09%	0.09%	0.09%
M3			0.00%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%

## Anexo O.4. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Sub-base – Corrección CBR



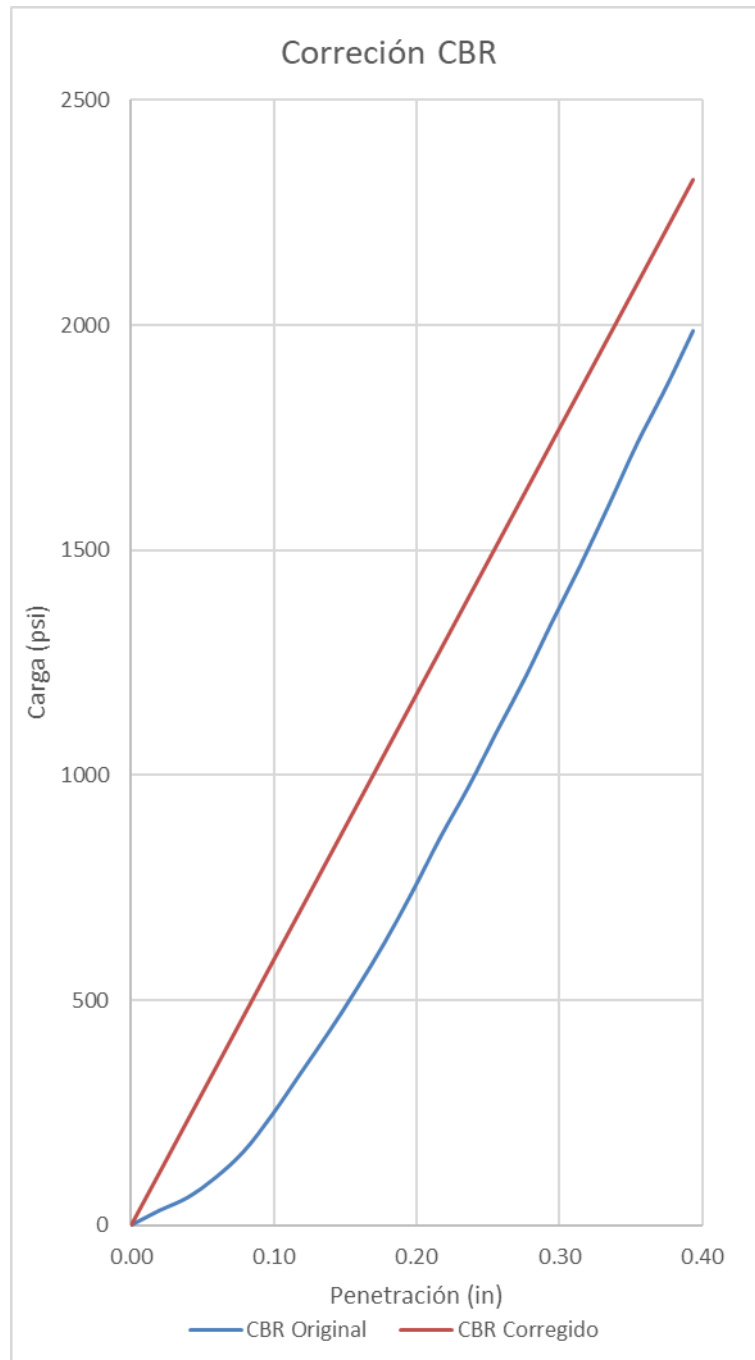
Anexo O.5. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Sub-base – Gráfico CBR



Anexo O.6. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Sub-base – CBR

Caracterización del material								
Procedencia: Mina Rookaazul (Subbase)								
Ensayo CBR (ASTM D1883)								
Lecturas CBR (Multispeed)				Parametros estandar	Penetración (in)		Carga unitaria patrón (psi)	
Sobrecarga 4526 kg - Condición: Saturada					0.1	1000		
Penetración (in)	Carga (psi)			Penetración (in)	CBR (%)			
	Molde: 2A 56 golpes	Molde: 3A 25 golpes	-		2A	3A	-	
0.00	0.00	0.00	-	0.1	65.59	46.93	-	
0.02	131.18	95.95	-	0.2	87.45	64.17	-	
0.04	262.36	174.66	-	Molde:	2A	3A	-	
0.06	393.53	269.87	-	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )				
0.08	524.71	368.07	-	Antes del remojo	2.14	2.05	-	
0.10	655.89	469.27	-	Después del remojo	2.09	2.00	-	
0.12	787.07	568.97	-	Humedad (%)				
0.14	918.25	666.42	-	Antes del remojo	7.6	7.4	-	
0.16	1049.42	766.87	-	Después del remojo	9.6	10.0	-	
0.18	1180.60	863.58	-	<p style="text-align: center;">Densidad Seca vs CBR</p>				
0.20	1311.78	962.53	-					
0.22	1442.96	1065.23	-					
0.24	1574.14	1164.93	-					
0.26	1705.31	1266.88	-					
0.28	1836.49	1359.83	-					
0.30	1967.67	1449.79	-					
0.31	2098.85	1545.74	-					
0.33	2230.03	1632.70	-					
0.35	2361.20	1721.90	-					
0.37	2492.38	1802.86	-					
0.39	2623.56	1892.07	-					
<b>Hinchamiento</b>		0	0h	24h	48h	72h	96h	
2A			0.00%	0.04%	0.04%	0.05%	0.05%	
3A			0.00%	0.04%	0.07%	0.07%	0.07%	
-			-	-	-	-	-	

Anexo O.7. Resultado de Laboratorio Mina Rookaazul Sub-base – Gráfico CBR





## Anexo P Resultado de Laboratorio Mina Cerro Tamuga Base

### Anexo P. 1. Resultado de Laboratorio Mina Cerro Tamuga Base – Granulometría

Caracterización del material							
Procedencia: Mina cerro Tamuga (BASE)							
GRANULOMETRÍA (NTE INEN 696)							
Masa inicial de suelo = 23.392 kg							
Tamiz	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasante (Relativo)	%Pasante
3"	75	0.000	0.000	-	-	100.00	100.00
2 1/2"	63	0.000	0.000	-	-	100.00	100.00
2"	50	0.000	0.000	-	-	100.00	100.00
1 1/2"	37.5	0.295	0.295	1.26	1.26	98.74	98.74
1"	25	3.602	3.897	15.40	16.66	83.34	83.34
3/4"	19	2.948	6.845	12.60	29.26	70.74	70.74
1/2"	12.5	3.937	10.782	16.83	46.09	53.91	53.91
3/8"	9.5	1.917	12.699	8.20	54.29	45.71	45.71
#4	4.75	3.791	16.490	16.21	70.49	29.51	29.51
Fondo	---	6.902	23.392	29.51	100.00	-	-
Masa inicial de suelo = 3.593 kg							
Tamiz	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasante (Relativo)	%Pasante
#4	4.75	0.129	0.129	3.59	3.59	96.41	28.45
#8	2.36	0.778	0.907	21.65	25.24	74.76	22.06
#10	2	0.198	1.105	5.51	30.75	69.25	20.43
#16	1.18	0.473	1.578	13.16	43.92	56.08	16.55
#20	0.85	0.233	1.811	6.48	50.40	49.60	14.63
#30	0.6	0.186	1.997	5.18	55.58	44.42	13.11
#40	0.425	0.182	2.179	5.07	60.65	39.35	11.61
#50	0.3	0.150	2.329	4.17	64.82	35.18	10.38
#100	0.15	0.254	2.583	7.07	71.89	28.11	8.29
#200	0.075	0.197	2.780	5.48	77.37	22.63	6.68
F	---	0.813	3.593	22.63	100.00	-	-

Análisis Errores				Gráfico	
Sección Gruesa	0.05%	Sección Fina	0.28%	Abertura del tamiz (mm)	% Pasante
				75.00	100.00
				63.00	100.00
				50.00	100.00
				37.50	98.74
				25.00	83.34
				19.00	70.74
				12.50	53.91
				9.50	45.71
				4.75	28.45
				2.36	22.06
				2.00	20.43
				1.18	16.55
				0.85	14.63
				0.60	13.11
				0.43	11.61
				0.30	10.38
				0.15	8.29
				0.08	6.68

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

Curva de % Pasante vs. Tamaño (mm)

Parámetros de la curva:

- $D_{60} = 14.85 \text{ mm}$
- $D_{30} = 5.18 \text{ mm}$
- $D_{10} = 0.27 \text{ mm}$
- $C_u = 54.47$
- $C_c = 6.62$

Abertura del tamiz (mm)	% Pasante
75.00	100.00
63.00	100.00
50.00	100.00
37.50	98.74
25.00	83.34
19.00	70.74
12.50	53.91
9.50	45.71
4.75	28.45
2.36	22.06
2.00	20.43
1.18	16.55
0.85	14.63
0.60	13.11
0.43	11.61
0.30	10.38
0.15	8.29
0.08	6.68

## Anexo P. 2. Resultado de Laboratorio Mina Cerro Tamuga Base – Límites de Atterberg, Proctor y Desgaste

Caracterización del material					
Procedencia: Mina cerro Tamuga (BASE)					
LÍMITES DE ATTERBERG					
LÍMITE LÍQUIDO (NTE INEN 691)					
Número de Golpes (u)	Humedad				
34	23.65%				
30	24.15%				
26	24.80%				
22	25.77%				
18	27.02%				
14	28.61%				
10	30.12%				
LÍMITE PÁSTICO (NTE INEN 692)					
Número de Intento	Humedad	Humedad promedio	Resultados		
1	15.84%		17.25%	Límite plástico	17.25%
2	16.27%			Límite Líquido	25.18%
3	17.11%				
4	16.36%				
5	18.45%				
6	17.01%	Índice de plasticidad		7.93%	
PROCTOR MODIFICADO (ASTM D1557)					
Datos molde					
Código	Peso (kg)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	
89974	6.527	11.570	15.230	2107.767	
Datos ensayo					
Método	Material Pasante (mm)	Peso Martillo (lb)	Altura caída (in)	Número de capas	Golpes por capa
C	19	10	18	5	56
Humedad	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )				
	4.34%				202.29
	5.24%				208.54
	7.49%				214.64
	8.47%				213.89
	10.01%				209.37
Humedad óptima	Densidad Seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	95% Densidad Seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )			
	7.68%	2.148	2.041		

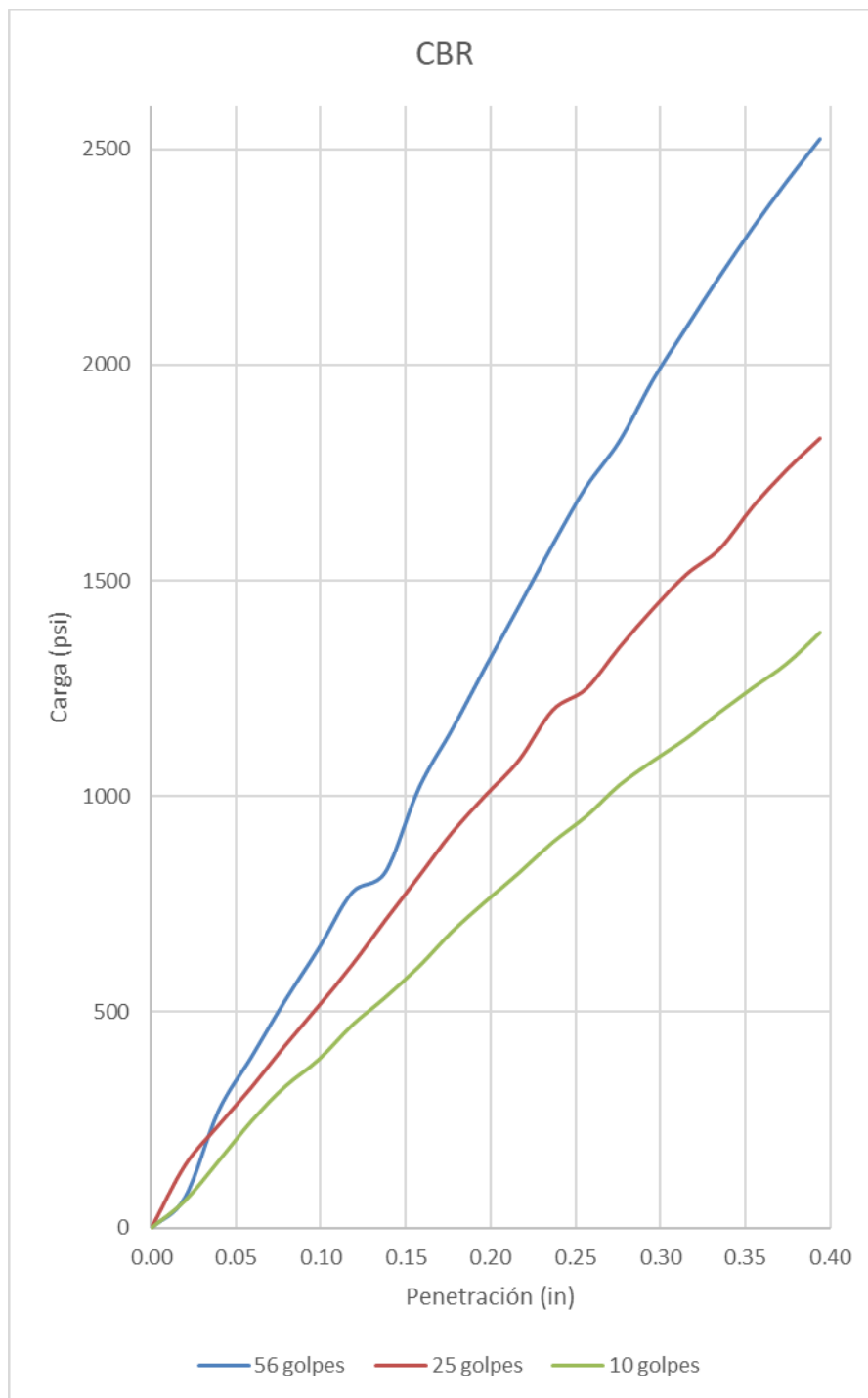
DESGASTE (NTE INEN 860)	
Método A	
Pasa (1 1/2") y Retiene (1") (kg)	1256
Pasa (1") y Retiene (3/4") (kg)	1249
Pasa (3/4") y Retiene (1/2") (kg)	1253
Pasa (1/2") y Retiene (3/8") (kg)	1249
Material Inicial (kg)	5007
Material después del ensayo (kg)	4087
Desgaste	18.37%

## Anexo P. 3. Resultado de Laboratorio Mina Cerro Tamuga Base - CBR

Caracterización del material								
Procedencia: Mina cerro Tamuga (BASE)								
Ensayo CBR (ASTM D1883)								
Lecturas CBR (Multispeed)				Parametros estandar	Penetración (in)		Carga unitaria patrón (psi)	
Sobrecarga 4527 kg - Condición: Saturada					0.1	1000		
Penetración (in)	Carga (psi)			0.2	1500			
	Molde: M1 56 golpes	Molde: M2 25 golpes	Molde: M3 10 golpes	CBR (%)				
				Penetración (in)	M1	M2	M3	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.1	64.72	51.36	38.98	
0.02	69.94	144.53	62.44	0.2	86.73	66.80	50.49	
0.04	270.09	236.88	154.12	Molde:	M1	M2	M3	
0.06	397.30	326.31	248.35	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )				
0.08	527.22	422.34	327.81	Antes del remojo	2.12	2.06	1.91	
0.10	647.23	513.65	389.81	Después del remojo	2.08	2.03	1.84	
0.12	776.99	608.93	469.72	Humedad (%)				
0.14	824.82	712.82	534.94	Antes del remojo	7.9	7.8	7.8	
0.16	1019.50	814.10	605.93	Después del remojo	8.1	8.2	8.8	
0.18	1156.38	916.27	687.49					
0.20	1300.91	1001.99	757.35					
0.22	1441.54	1083.82	823.69					
0.24	1583.00	1198.74	894.16					
0.26	1717.18	1248.14	954.28					
0.28	1823.33	1344.46	1026.99					
0.30	1965.05	1433.52	1082.84					
0.31	2086.97	1513.51	1135.24					
0.33	2205.79	1572.58	1196.11					
0.35	2319.36	1671.53	1253.23					
0.37	2425.06	1755.49	1308.33					
0.39	2524.08	1828.65	1380.75					
Hinchamiento		Horas:	0h	24h	48h	72h	96h	
M1			0.00%	0.02%	0.02%	0.02%	0.03%	
M2			0.00%	0.09%	0.10%	0.11%	0.11%	
M3			0.00%	0.07%	0.09%	0.09%	0.11%	

}

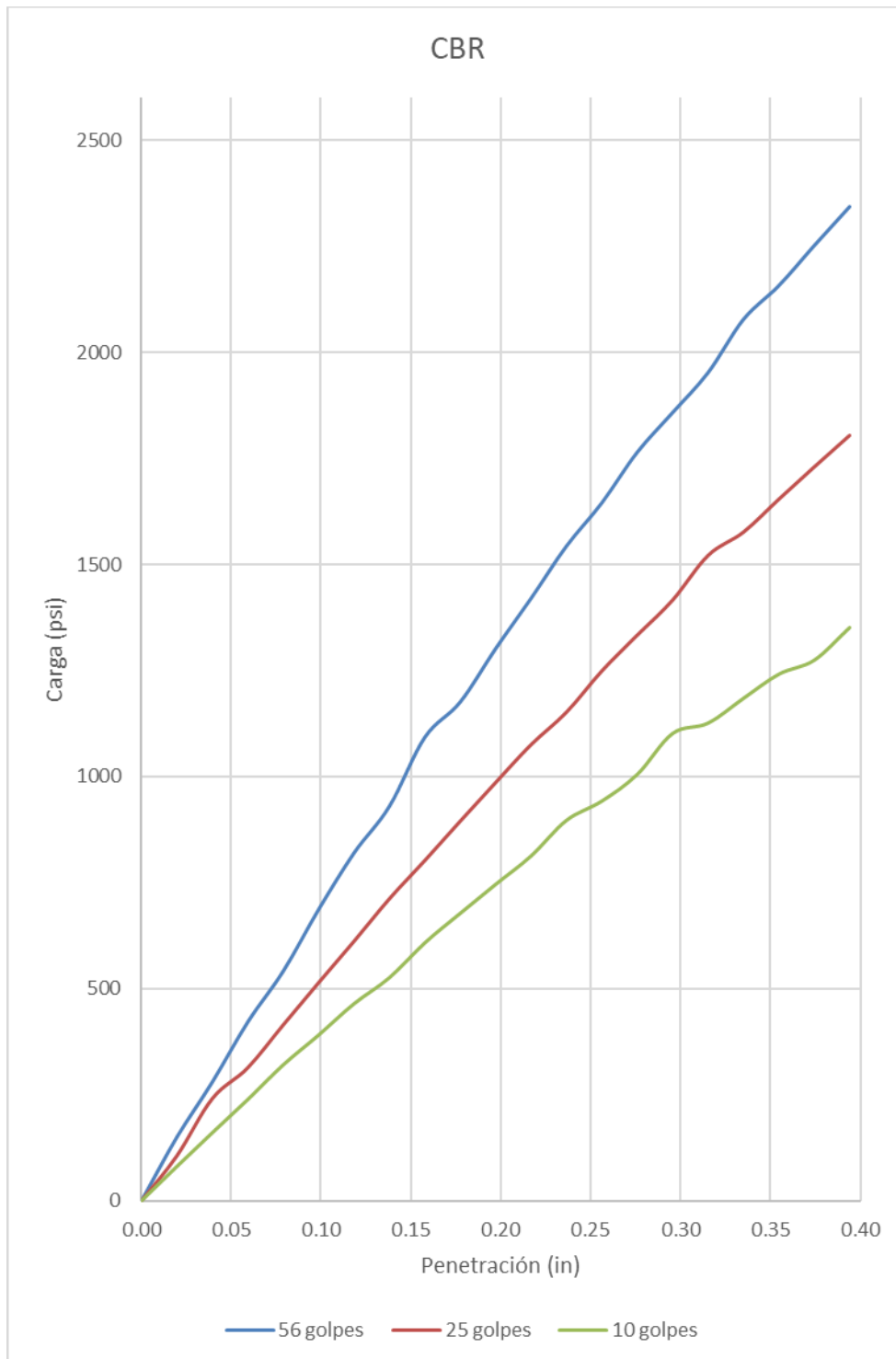
Anexo P. 4. Resultado de Laboratorio Mina Cerro Tamuga Base – Gráfica CBR



## Anexo P. 5. Resultado de Laboratorio Mina Cerro Tamuga Base – CBR

Caracterización del material								
Procedencia: Mina cerro Tamuga (BASE)								
Ensayo CBR (ASTM D1883)								
Lecturas CBR (Multispeed)				Parametros estandar	Carga unitaria patrón (psi)			
Sobrecarga 4527 kg - Condición: Saturada					1000			
Penetración (in)	Carga (psi)			Penetración (in)	1500			
	Molde: M1 56 golpes	Molde: M2 25 golpes	Molde: M3 10 golpes		CBR (%)			
					M1	M2	M3	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.1	68.67	51.41	39.08	
0.02	150.23	106.17	80.97	0.2	86.81	65.76	49.77	
0.04	280.18	241.12	160.53	Molde:	M1	M2	M3	
0.06	421.52	313.50	238.69	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )				
0.08	541.28	414.66	320.41	Antes del remojo	2.11	2.06	1.92	
0.10	686.71	514.14	390.79	Después del remojo	2.06	2.03	1.85	
0.12	820.15	611.94	464.74	Humedad (%)				
0.14	930.28	712.35	526.31	Antes del remojo	7.8	7.9	7.8	
0.16	1092.98	802.54	608.42	Después del remojo	8.2	8.3	8.3	
0.18	1176.31	895.32	678.15					
0.20	1302.15	986.43	746.48					
0.22	1420.69	1075.87	813.40					
0.24	1543.95	1152.32	897.41					
0.26	1646.09	1249.73	943.04					
0.28	1765.53	1334.14	1005.75					
0.30	1859.13	1416.89	1102.62					
0.31	1953.21	1522.21	1126.96					
0.33	2078.92	1577.35	1185.46					
0.35	2158.60	1655.07	1242.55					
0.37	2253.06	1731.12	1275.63					
0.39	2344.85	1805.50	1352.53					
<b>Hinchamiento</b>	Horas:			0h	24h	48h	72h	96h
M1				0.00%	0.01%	0.01%	0.02%	0.03%
M2				0.00%	0.06%	0.06%	0.07%	0.10%
M3				0.00%	0.06%	0.07%	0.08%	0.10%

Anexo P. 6. Resultado de Laboratorio Mina Cerro Tamuga Base – Gráfico CBR



## Anexo Q Resultado de Laboratorio Mina Virginia Base

### Anexo Q. 1. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Base – Granulometría

Caracterización del material							
Procedencia: Mina Virginia (BASE)							
GRANULOMETRÍA (NTE INEN 696)							
Masa inicial de suelo =		26.946 kg					
Tamiz	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasante (Relativo)	%Pasante
3"	75	0.000	0.000	-	-	100.00	100.00
2 1/2"	63	0.000	0.000	-	-	100.00	100.00
2"	50	0.000	0.000	-	-	100.00	100.00
1 1/2"	37.5	0.000	0.000	-	-	100.00	100.00
1"	25	1.041	1.041	3.86	3.86	96.14	96.14
3/4"	19	3.810	4.851	14.14	18.00	82.00	82.00
1/2"	12.5	3.792	8.643	14.07	32.08	67.92	67.92
3/8"	9.5	2.405	11.048	8.93	41.00	59.00	59.00
#4	4.75	4.171	15.219	15.48	56.48	43.52	43.52
Fondo	---	11.727	26.946	43.52	100.00	--	--
Masa inicial de suelo =		4.447 kg					
Tamiz	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasante (Relativo)	%Pasante
#4	4.75	0.184	0.184	4.14	4.14	95.86	41.72
#8	2.36	1.165	1.349	26.20	30.34	69.66	30.32
#10	2	0.271	1.620	6.09	36.43	63.57	27.67
#16	1.18	0.553	2.173	12.44	48.86	51.14	22.25
#20	0.85	0.268	2.441	6.03	54.89	45.11	19.63
#30	0.6	0.204	2.645	4.59	59.48	40.52	17.64
#40	0.425	0.198	2.843	4.45	63.93	36.07	15.70
#50	0.3	0.155	2.998	3.49	67.42	32.58	14.18
#100	0.15	0.276	3.274	6.21	73.62	26.38	11.48
#200	0.075	0.183	3.457	4.12	77.74	22.26	9.69
F	---	0.990	4.447	22.26	100.00	-	-
Análisis Errores					Gráfico		
Sección Gruesa	0.07%		Sección Fina	0.14%		Abertura del tamiz (mm)	% Pasante
						75.00	100.00
						63.00	100.00
						50.00	100.00
						37.50	100.00
						25.00	96.14
						19.00	82.00
						12.50	67.92
						9.50	59.00
						4.75	41.72
						2.36	30.32
						2.00	27.67
						1.18	22.25
						0.85	19.63
						0.60	17.64
0.43	15.70						
0.30	14.18						
0.15	11.48						
0.08	9.69						

## Anexo Q. 2. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Base – Límites de Atterberg, Proctor y Desgaste

Caracterización del material					
Procedencia: Mina Virginia (BASE)					
LÍMITES DE ATTERBERG					
LÍMITE LÍQUIDO (NTE INEN 691)					
Número de Golpes (u)	Humedad				
38	20.27%				
32	20.88%				
25	21.09%				
20	21.65%				
15	22.50%				
LÍMITE PÁSTICO (NTE INEN 692)					
Número de Intento	Humedad	Humedad promedio	Resultados		
1	18.18%		Límite plástico	17.25%	
2	18.18%		Límite Líquido	21.40%	
3	17.90%				
4	17.27%				
5	17.65%	Índice de plasticidad	4.15%		
Proctor Modificado (ASTM D1557)					
Datos molde					
Código	Peso (kg)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	
89974	6.527	11.570	15.230	2107.767	
Datos ensayo					
Método	Material Pasante (mm)	Peso Martillo (lb)	Altura caída (in)	Número de capas	Golpes por capa
C	19	10	18	5	56
Humedad	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )				
	2.16%				2.15
	3.22%				2.24
	5.40%				2.31
	7.22%				2.28
Humedad óptima	Densidad Seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )				
	8.30%	2.20			
	9.21%	2.18			
5.71%	2.31				
95% Densidad Seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )		2.190			

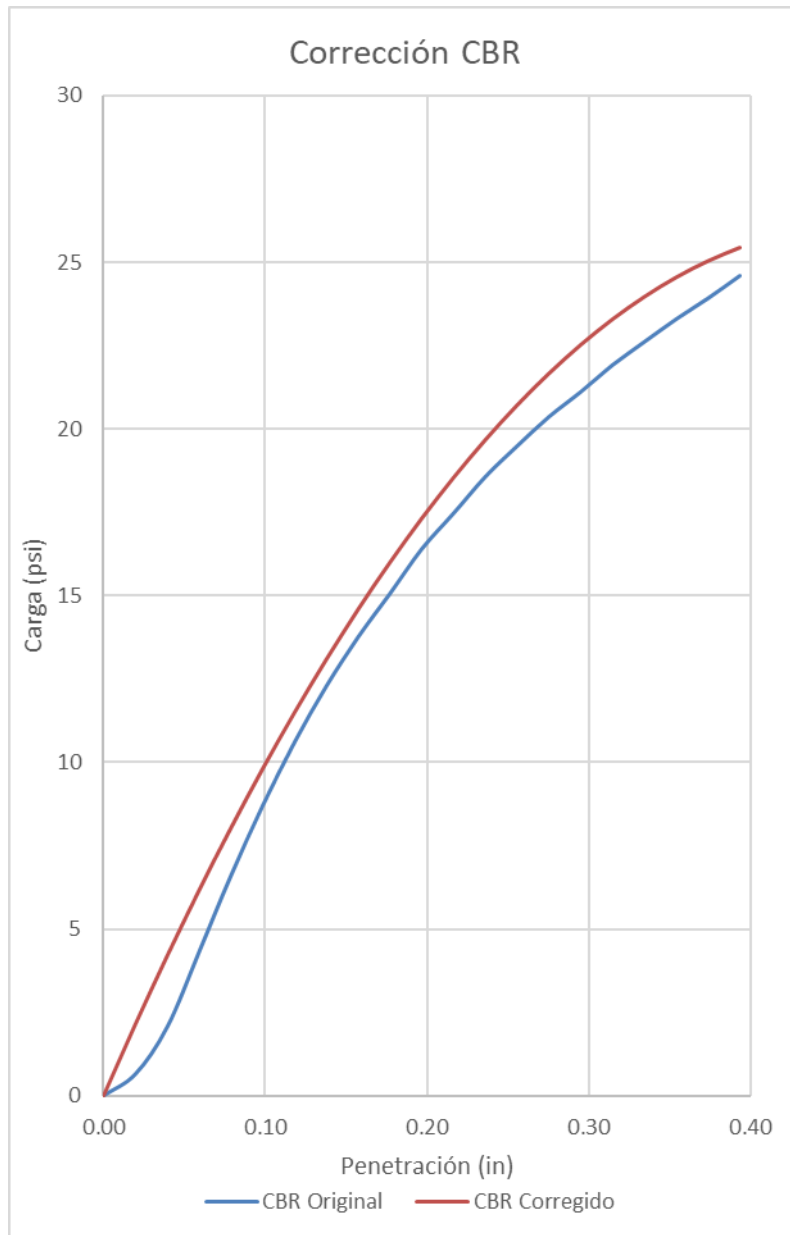
DESGASTE (NTE INEN 860)	
Método A	
Pasa (1 1/2") y Retiene (1") (kg)	1240
Pasa (1") y Retiene (3/4") (kg)	1257
Pasa (3/4") y Retiene (1/2") (kg)	1253
Pasa (1/2") y Retiene (3/8") (kg)	1253
Material Inicial (kg)	5003
Material después del ensayo (kg)	3991
Desgaste	20.23%



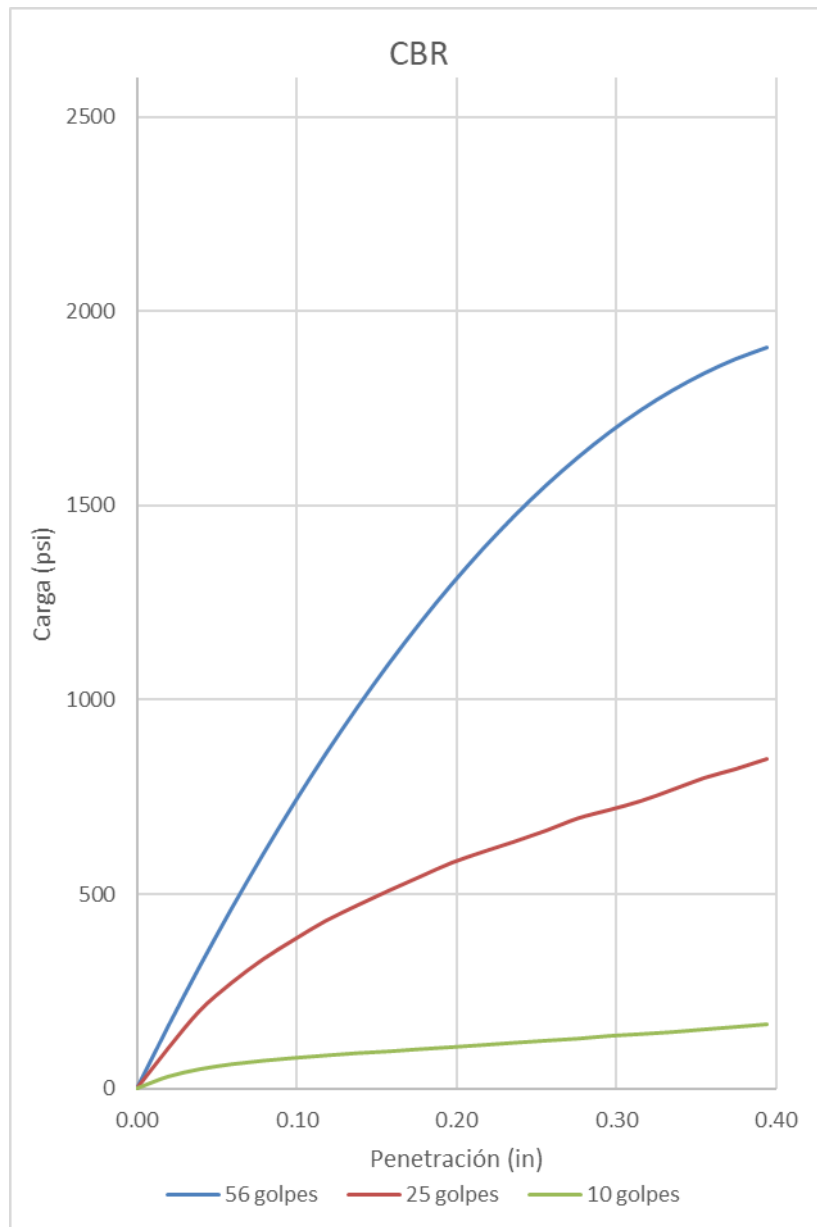
Anexo Q. 3. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Base – CBR

Caracterización del material										
Procedencia: Mina Virginia (BASE)										
Ensayo CBR (ASTM D1883)										
Lecturas CBR (Multispeed)				Parámetros estandar	Penetración (in)		Carga unitaria patrón (psi)			
Sobrecarga 4520 kg - Condición: Saturada					0.1		1000			
Penetración (in)	Carga (psi)			Penetración (in)	CBR (%)					
	Molde: M1 56 golpes	Molde: M2 25 golpes	Molde: M3 10 golpes		M1	M2	M3			
0.00	0.00	0.00	0.00	0.1	73.51	38.28	7.80			
0.02	160.80	103.67	30.44	0.2	86.53	38.68	7.05			
0.04	314.71	200.00	49.25	Molde:	M1	M2	M3			
0.06	461.73	271.22	61.77	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )						
0.08	601.86	331.79	70.84	Antes del remojo	2.226	2.089	1.938			
0.10	735.11	382.84	78.04	Después del remojo	2.197	2.043	1.876			
0.12	861.46	430.96	84.41	Humedad (%)						
0.14	980.93	470.69	90.41	Antes del remojo	5.6	5.6	5.9			
0.16	1093.50	508.70	94.83	Después del remojo	8.7	10.2	13.3			
0.18	1199.19	544.76	100.53	Densidad Seca vs CBR						
0.20	1297.99	580.21	105.77							
0.22	1389.90	608.55	111.25							
0.24	1474.91	634.94	116.94							
0.26	1553.04	663.20	122.26							
0.28	1624.29	694.46	127.44							
0.30	1688.64	716.12	134.41							
0.31	1746.10	738.91	139.13							
0.33	1796.67	767.85	144.30							
0.35	1840.36	797.98	150.98							
0.37	1877.16	820.92	157.42							
0.39	1907.06	846.93	164.02							
Hinchamiento		Horas:		0h	24h	48h	72h	96h		
M1				0.00%	0.21%	0.23%	0.26%	0.26%		
M2				0.00%	0.22%	0.26%	0.27%	0.27%		
M3				0.00%	0.55%	0.57%	0.58%	0.58%		

Anexo Q. 4. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Base – Corrección CBR



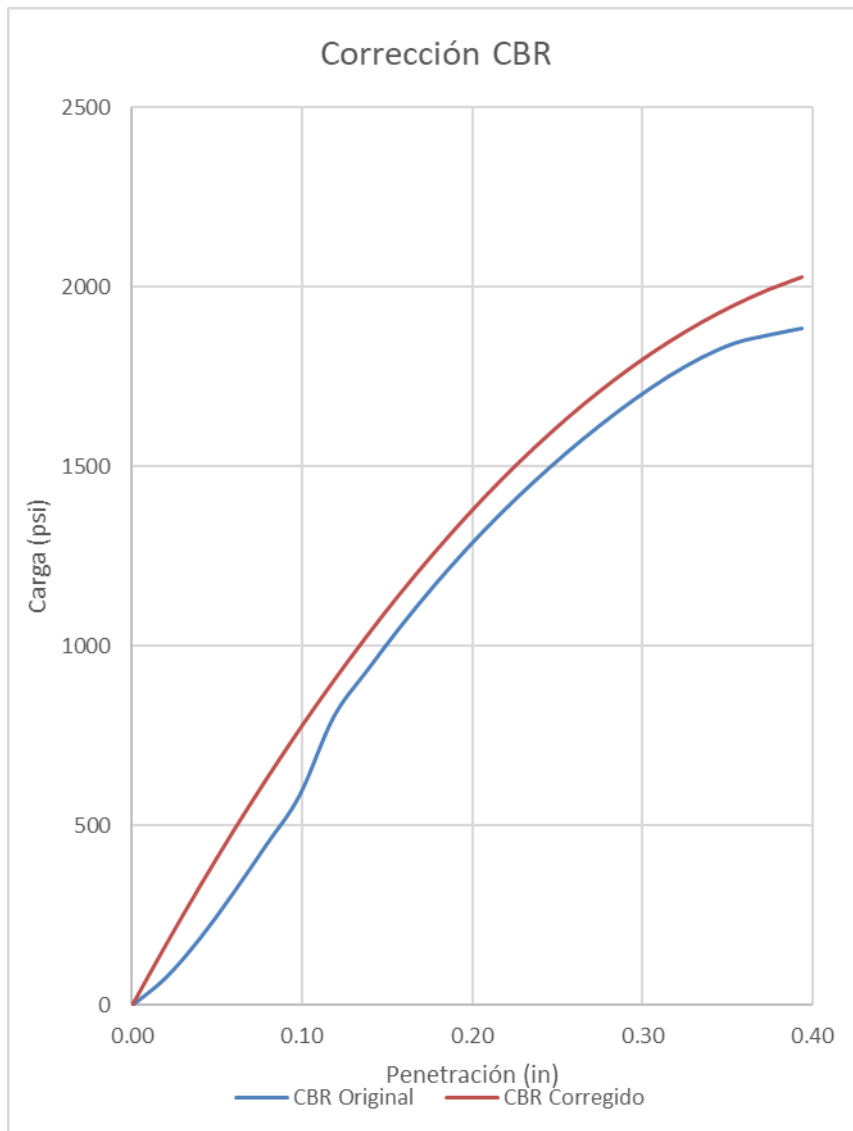
Anexo Q. 5. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Base – Gráfico CBR



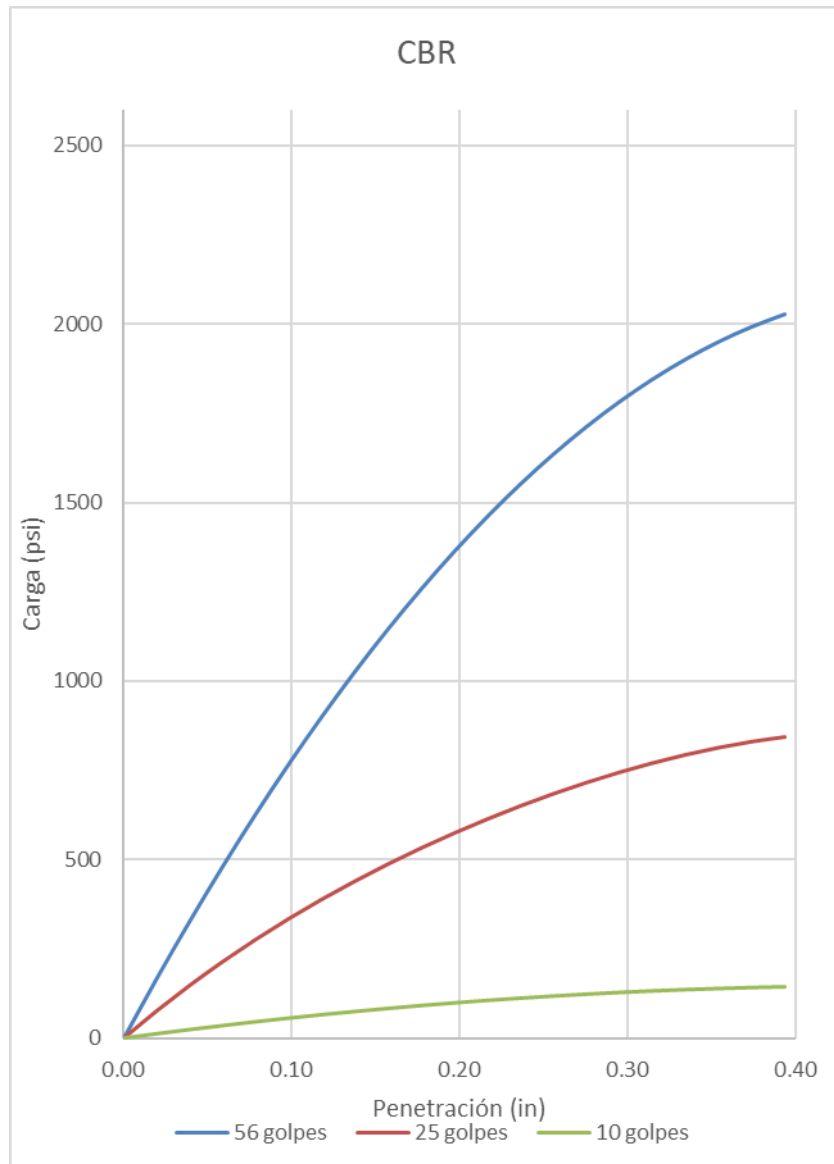
Anexo Q. 6. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Base – CBR

Caracterización del material									
Procedencia: Mina Virginia (BASE)									
Ensayo CBR (ASTM D1883)									
Lecturas CBR (Multispeed)				Parametros estandar	Penetración (in)	Carga unitaria patrón (psi)			
Sobrecarga 4520 kg - Condición: Saturada					0.1	1000			
Penetración (in)	Carga (psi)			Penetración (in)	0.2	1500			
	Molde: 2A 56 golpes	Molde: 3A 25 golpes	Molde: 4A 10 golpes		CBR (%)				
					M1	M2	M3		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.1	76.89	33.53	5.60		
0.02	167.75	76.88	12.28	0.2	90.87	38.34	6.58		
0.04	328.51	148.40	24.03	Molde:	M1	M2	M3		
0.06	482.29	215.02	35.23	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )					
0.08	629.08	277.18	45.91	Antes del remojo	2.280	2.140	1.986		
0.10	768.88	335.28	56.04	Después del remojo	2.251	2.093	1.923		
0.12	901.69	389.64	65.65	Humedad (%)					
0.14	1027.52	440.58	74.71	Antes del remojo	5.7	5.7	5.6		
0.16	1146.37	488.34	83.24	Después del remojo	9.2	9.8	12.5		
0.18	1258.22	533.13	91.23	<p style="text-align: center;">Densidad Seca vs CBR</p>					
0.20	1363.09	575.12	98.69						
0.22	1460.98	614.42	105.61						
0.24	1551.87	651.10	111.99						
0.26	1635.78	685.20	117.84						
0.28	1712.70	716.69	123.16						
0.30	1782.64	745.52	127.93						
0.31	1845.59	771.58	132.17						
0.33	1901.56	794.71	135.88						
0.35	1950.53	814.73	139.05						
0.37	1992.52	831.38	141.68						
0.39	2027.53	844.38	143.78						
<b>Hinchamiento</b>		Horas:	0h	24h	48h	72h	96h		
2A			0.00%	0.19%	0.20%	0.21%	0.23%		
3A			0.00%	0.20%	0.24%	0.25%	0.26%		
4A			0.00%	0.56%	0.56%	0.59%	0.59%		

Anexo Q. 7. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Base – Corrección CBR



Anexo Q. 8. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Base – Gráfico CBR



## Anexo R Resultado de Laboratorio Mina Virginia Mejoramiento

### Anexo R. 1. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Mejoramiento – Granulometría

Caracterización del material							
Procedencia: Mina Virginia (MEJORAMIENTO)							
GRANULOMETRÍA (NTE INEN 696)							
Masa inicial de suelo =		32.486 kg					
Tamiz	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasante (Relativo)	%Pasante
3"	75	1.829	1.829	5.63	5.63	94.37	94.37
2 1/2"	63	2.963	4.792	9.12	14.75	85.25	85.25
2"	50	2.961	7.753	9.11	23.87	76.13	76.13
1 1/2"	37.5	4.915	12.668	15.13	39.00	61.00	61.00
1"	25	2.869	15.537	8.83	47.83	52.17	52.17
3/4"	19	2.088	17.625	6.43	54.25	45.75	45.75
1/2"	12.5	2.196	19.821	6.76	61.01	38.99	38.99
3/8"	9.5	1.485	21.306	4.57	65.59	34.41	34.41
#4	4.75	2.853	24.159	8.78	74.37	25.63	25.63
Fondo	---	8.327	32.486	25.63	100.00	-	-
Masa inicial de suelo =		4.342 kg					
Tamiz	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasante (Relativo)	%Pasante
#4	4.75	0.145	0.145	3.34	3.34	96.66	24.78
#8	2.36	0.651	0.796	14.99	18.33	81.67	20.93
#10	2	0.196	0.992	4.51	22.85	77.15	19.78
#16	1.18	0.492	1.484	11.33	34.18	65.82	16.87
#20	0.85	0.263	1.747	6.06	40.23	59.77	15.32
#30	0.6	0.225	1.972	5.18	45.42	54.58	13.99
#40	0.425	0.227	2.199	5.23	50.64	49.36	12.65
#50	0.3	0.197	2.396	4.54	55.18	44.82	11.49
#100	0.15	0.359	2.755	8.27	63.45	36.55	9.37
#200	0.075	0.250	3.005	5.76	69.21	30.79	7.89
F	---	1.337	4.342	30.79	100.00	-	-
Análisis Errores				Gráfico			
Sección Gruesa	0.02%	Sección Fina	0.04%	Abertura del tamiz (mm)	% Pasante		
				75.00	94.37		
				63.00	85.25		
				50.00	76.13		
				37.50	61.00		
				25.00	52.17		
				19.00	45.75		
				12.50	38.99		
				9.50	34.41		
				4.75	24.78		
				2.36	20.93		
				2.00	19.78		
				1.18	16.87		
				0.85	15.32		
				0.60	13.99		
				0.43	12.65		
				0.30	11.49		
				0.15	9.37		
				0.08	7.89		

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

The graph plots the percentage of material passing through various sieve sizes. The x-axis represents sieve size in millimeters on a logarithmic scale from 100.00 to 0.01. The y-axis represents the percentage of material passing, from 0 to 100. Key data points are marked: D<sub>60</sub> = 36.08 mm, D<sub>30</sub> = 7.32 mm, and D<sub>10</sub> = 0.19 mm. The curve is smooth and shows a typical soil gradation. Additional parameters are noted as Cu = 185.32 and Cc = 7.64.

Abertura del tamiz (mm)	% Pasante
75.00	94.37
63.00	85.25
50.00	76.13
37.50	61.00
25.00	52.17
19.00	45.75
12.50	38.99
9.50	34.41
4.75	24.78
2.36	20.93
2.00	19.78
1.18	16.87
0.85	15.32
0.60	13.99
0.43	12.65
0.30	11.49
0.15	9.37
0.08	7.89

## Anexo R. 2. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Mejoramiento – Límites de Atterberg, Proctor y Desgaste

Caracterización del material					
Procedencia: Mina Virginia (MEJORAMIENTO)					
LÍMITES DE ATTERBERG					
LÍMITE LÍQUIDO (NTE INEN 691)					
Número de Golpes (u)	Humedad	<p><math>y = -0.018 \ln(x) + 0.3061</math> <math>R^2 = 0.9776</math></p>			
33	24.36%				
27	24.64%				
23	25.25%				
16	25.61%				
10	26.51%				
LÍMITE PÁSTICO (NTE INEN 691)					
Número de Intento	Humedad	Humedad promedio	Resultados		
1	16.67%		Límite plástico	17.25%	
2	18.75%		Límite Líquido	24.82%	
3	17.86%				
4	17.80%	Índice de plasticidad	7.57%		
		17.77%			
PROCTOR MODIFICADO (ASTM D1557)					
Datos molde					
Código	Peso (kg)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	
89974	6.525	11.570	15.230	2107.767	
Datos ensayo					
Método	Material Pasante (mm)	Peso Martillo (lb)	Altura caída (in)	Número de capas	Golpes por capa
C	19	10	18	5	56
Humedad	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	<p><math>y = -53.291x^2 + 7.1111x + 1.9533</math> <math>R^2 = 0.9138</math></p>			
2.75%	2.11				
3.64%	2.13				
5.59%	2.19				
8.15%	2.17				
10.07%	2.15				
11.19%	2.07				
Humedad óptima	Densidad Seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )				
6.67%	2.191				
95% Densidad Seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )		2.081			

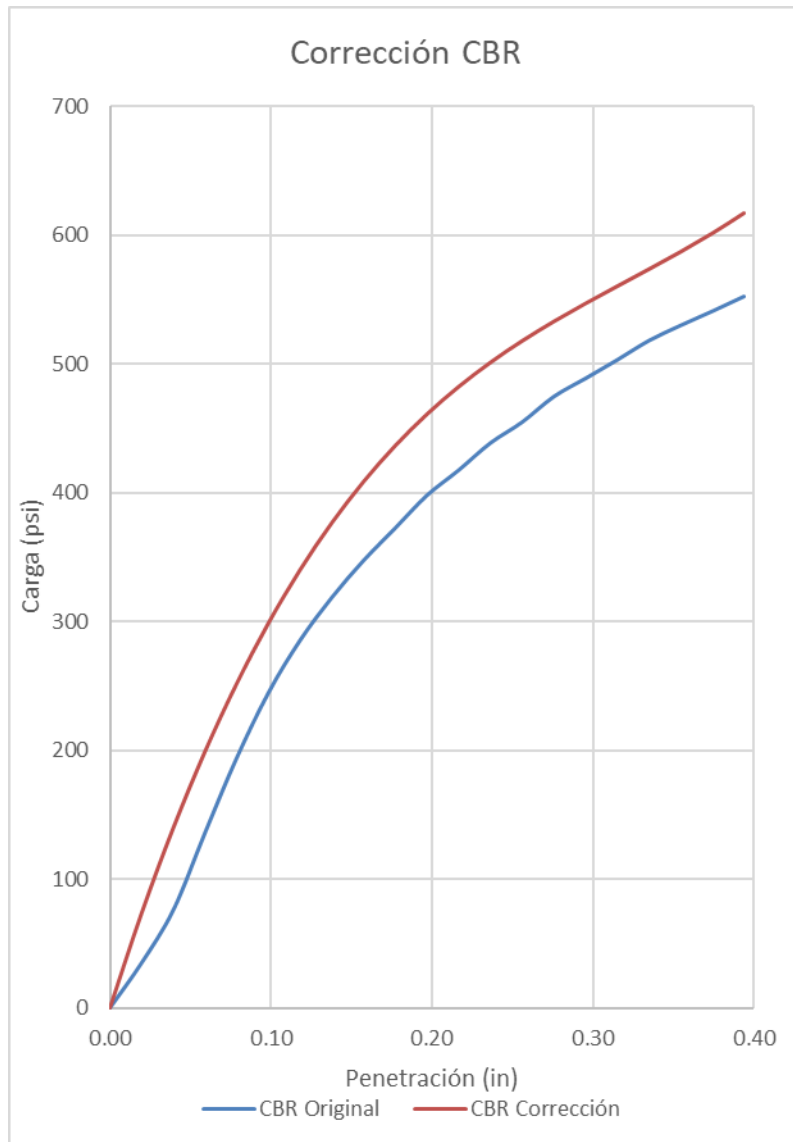
DESGASTE (NTE INEN 860)	
Método A	
Pasa (1 1/2") y Retiene (1") (kg)	1240
Pasa (1") y Retiene (3/4") (kg)	1257
Pasa (3/4") y Retiene (1/2") (kg)	1250
Pasa (1/2") y Retiene (3/8") (kg)	1250
Material Inicial (kg)	4997
Material después del ensayo (kg)	3580
Desgaste	28.36%



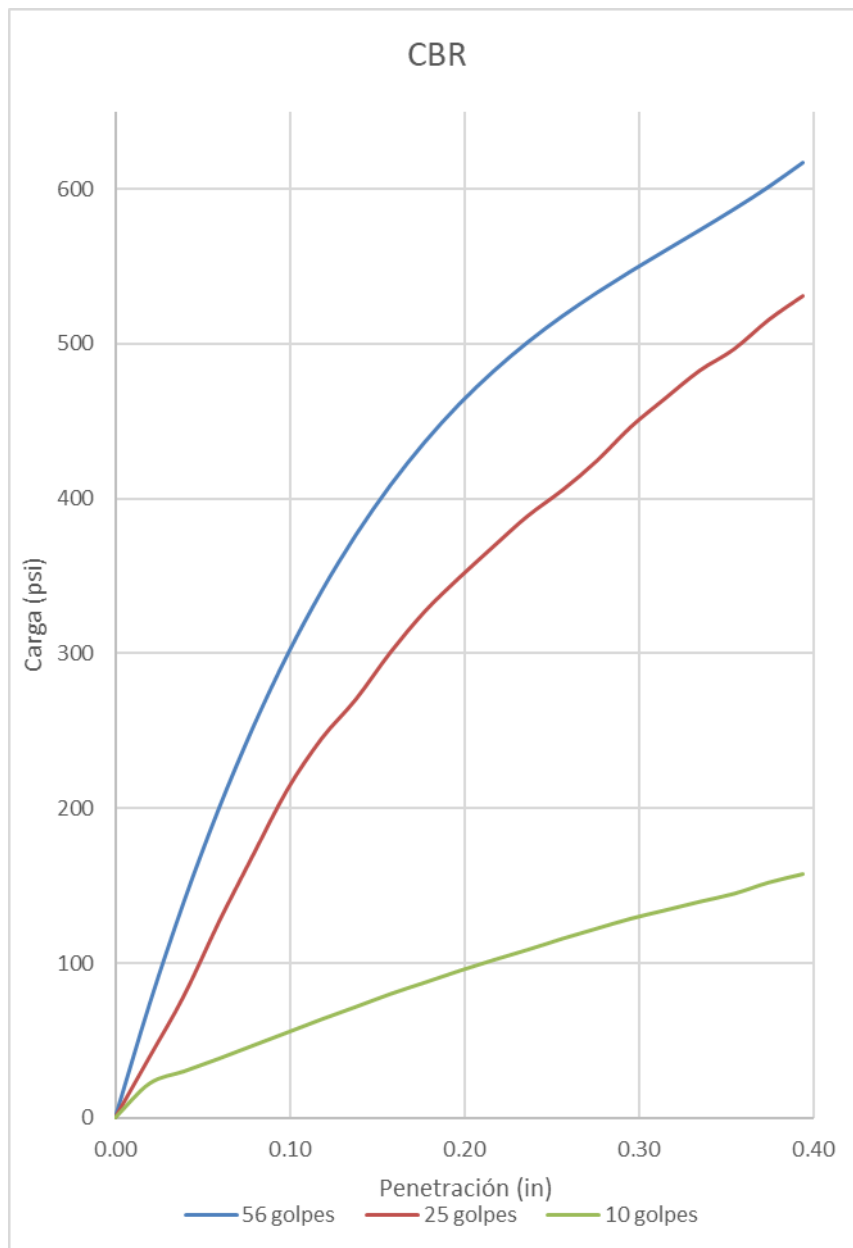
## Anexo R. 3. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Mejoramiento – CBR

Caracterización del material							
Procedencia: Mina Virginia (MEJORAMIENTO)							
Ensayo CBR (ASTM D1883)							
Lecturas CBR (Multispeed)				Parametros estandar	Penetración (in)	Carga unitaria patrón (psi)	
Sobrecarga 4520 kg - Condición: Saturada					0.1	1000	
Penetración (in)	Carga (psi)			Penetración (in)	0.2	1500	
	Molde: M1 56 golpes	Molde: M2 25 golpes	Molde: M3 10 golpes		CBR (%)		
					M1	M2	M3
0.00	0.00	0.00	0.00	0.1	29.88	21.18	5.51
0.02	73.59	39.36	22.19	0.2	30.74	23.26	6.33
0.04	139.78	78.94	29.99	Molde:	M1	M2	M3
0.06	199.07	125.86	38.08	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )			
0.08	251.93	169.42	46.63	Antes del remojo	2.126	2.055	1.926
0.10	298.84	211.85	55.10	Después del remojo	2.097	2.028	1.891
0.12	340.29	244.98	63.64	Humedad (%)			
0.14	376.75	270.47	71.74	Antes del remojo	6.9	6.8	6.8
0.16	408.73	300.75	80.06	Después del remojo	11.6	12.1	14.0
0.18	436.68	327.21	87.48	<div style="text-align: center;"> <p>Densidad Seca vs CBR</p> </div>			
0.20	461.11	348.95	94.98				
0.22	482.48	369.27	102.02				
0.24	501.29	389.06	108.70				
0.26	518.02	405.55	115.82				
0.28	533.14	424.52	122.34				
0.30	547.15	446.63	128.86				
0.31	560.52	465.07	134.26				
0.33	573.73	482.99	139.81				
0.35	587.28	496.86	144.98				
0.37	601.64	515.75	152.18				
0.39	617.29	531.19	157.65				
<b>Hinchamiento</b>	Horas:	0h	24h	48h	72h	96h	
M1		0.00%	0.53%	0.58%	0.59%	0.62%	
M2		0.00%	0.68%	0.70%	0.72%	0.74%	
M3		0.00%	1.16%	1.20%	1.23%	1.24%	

## Anexo R. 4. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Mejoramiento – Corrección CBR



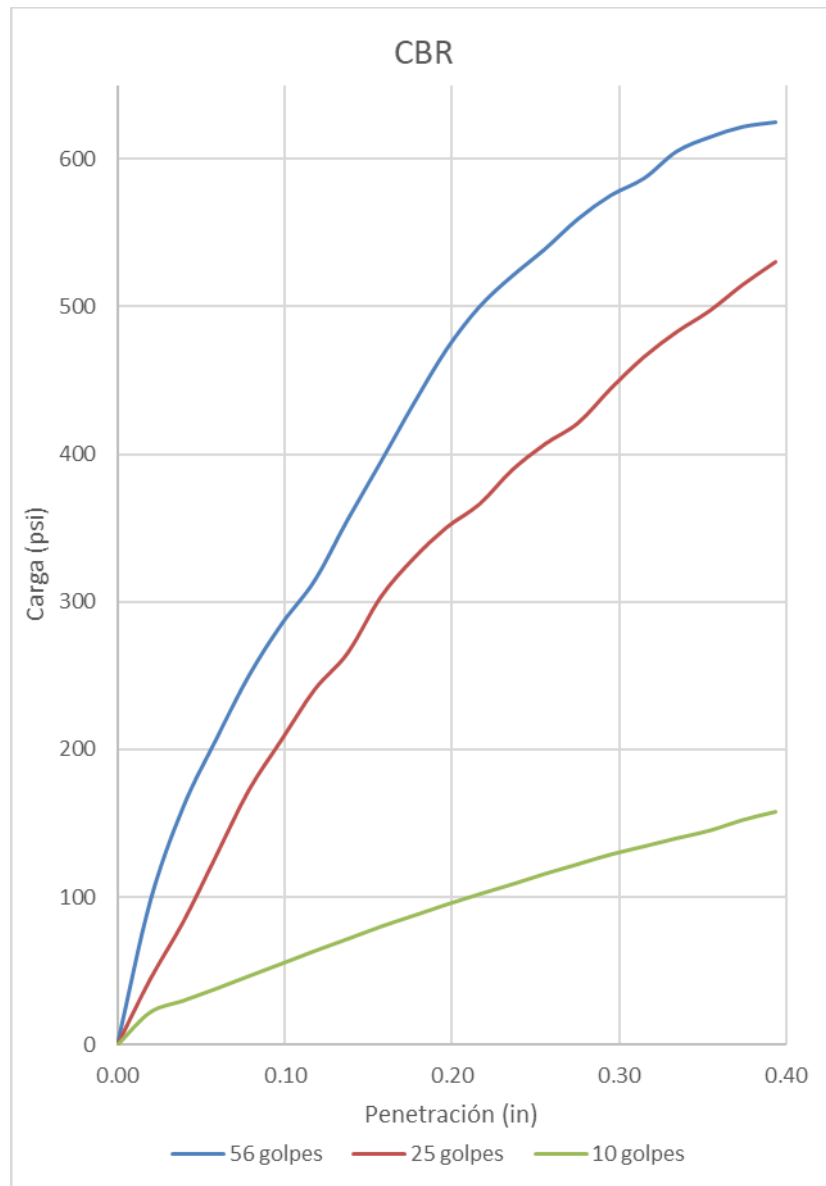
Anexo R. 5. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Mejoramiento – Gráfico CBR



## Anexo R. 6. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Mejoramiento – CBR

Caracterización del material							
Procedencia: Mina Virginia (MEJORAMIENTO)							
Ensayo CBR (ASTM D1883)							
Lecturas CBR (Multispeed)				Parametros estandar	Penetración (in)	Carga unitaria patrón (psi)	
Sobrecarga 4520 kg - Condición: Saturada					0.1	1000	
Penetración (in)	Carga (psi)			Penetración (in)	0.2	1500	
	Molde: 2A 56 golpes	Molde: 3A 25 golpes	Molde: 4A 10 golpes		CBR (%)		
					2A	3A	4A
0.00	0.00	0.00	0.00	0.1	28.52	20.68	5.01
0.02	97.28	44.57	27.40	0.2	31.39	23.35	6.41
0.04	160.88	83.20	34.25	Molde:	2A	3A	4A
0.06	206.83	127.97	40.19	Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )			
0.08	250.10	172.62	49.83	Antes del remojo	2.183	2.110	1.977
0.10	285.20	206.82	50.08	Después del remojo	2.152	2.082	1.941
0.12	314.55	240.72	59.38	Humedad (%)			
0.14	355.67	265.32	66.59	Antes del remojo	6.9	6.8	6.8
0.16	394.53	303.05	82.36	Después del remojo	11.6	12.1	14.0
0.18	433.89	329.23	89.50	<div style="text-align: center;"> <p>Densidad Seca vs CBR</p> </div>			
0.20	470.78	350.19	96.22				
0.22	499.65	366.02	98.77				
0.24	520.57	389.21	108.85				
0.26	538.90	406.80	117.07				
0.28	559.20	421.01	118.83				
0.30	575.17	444.42	126.65				
0.31	586.58	465.62	134.81				
0.33	604.88	482.68	139.49				
0.35	614.49	496.92	145.04				
0.37	621.48	514.52	150.94				
0.39	624.62	529.96	156.42				
<b>Hinchamiento</b>	Horas:	0h	24h	48h	72h	96h	
2A		-	0.622	0.673	0.688	0.716	
3A		-	0.787	0.815	0.833	0.861	
4A		-	1.346	1.400	1.435	1.440	

Anexo R. 7. Resultado de Laboratorio Mina Virginia Mejoramiento – Gráfica CBR



## Anexo S Registro fotográfico Anexo S. 1. Visita Mina La Virginia



## Anexo S. 2. Visita Mina Cerro Tamuga



## Anexo S. 3. Visita Mina Rookaazul





Anexo S. 4. Visita Mina Atenas





Anexo S. 5. Laboratorio – Granulometría





Anexo S. 6. Laboratorio – Límites de Atterberg



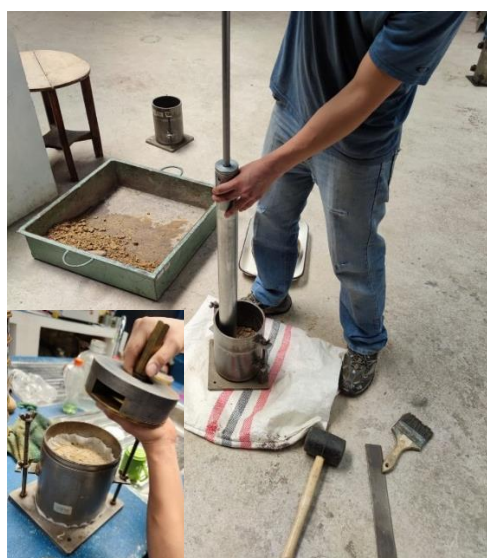
Anexo S. 7. Laboratorio – Desgaste

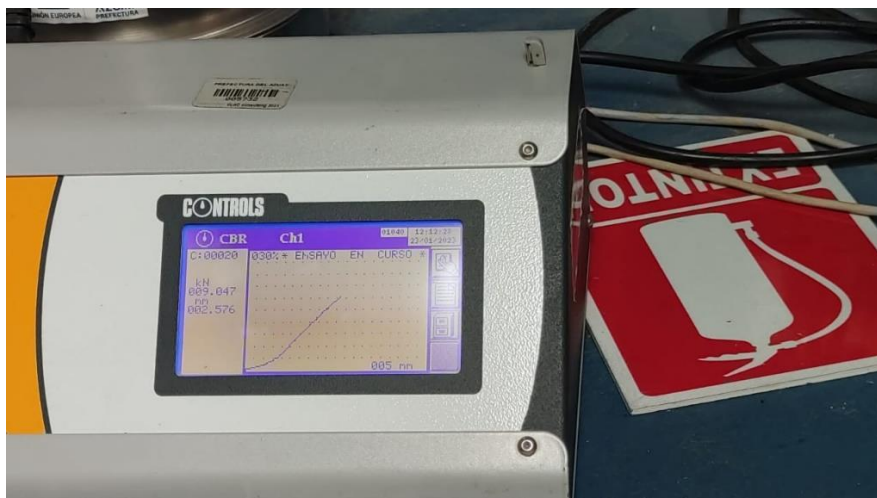


## Anexo S. 8. Laboratorio – Proctor



## Anexo S. 9. Laboratorio – Proctor





## Anexo T Sistemas de Clasificación

### Anexo T. 1. Sistema de Clasificación AASHTO

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO											
Clasif. General	Suelos Granulares ( $\leq 35\%$ pasa 0.08 mm)						Suelos Finos ( $> 35\%$ bajo 0.08 mm)				
Grupo	A - 1		A-3	A-2			A - 4	A - 5	A - 6	A - 7	
Sub-Grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*			A-7-5** A-7.6**	
Nº 10	$\leq 50$										
Nº 40	$\leq 30$	$\leq 50$	$\geq 51$								
Nº 200	$\leq 15$	$\leq 25$	$\leq 10$	$\leq 35$			$\geq 36$				
LI				$\leq 40$	$\geq 41$	$\leq 40$	$\geq 41$	$\leq 40$	$\geq 41$	$\leq 40$	$\geq 41$
IP	$\leq 6$		NP	$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 11$	$\geq 11$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 11$	$\geq 11$
Descripción	Gravas y Arenas		Arena fina	Gravas y Arenas Limosas y Arcillosas			Suelos Limosos		Suelos Arcillosos		
** A - 7 - 5 : $IP \leq (LI - 30)$						A - 7 - 6 : $IP > (LI - 30)$					
$IG = 0,2 * a + 0,005 * a * c + 0,01 * b * d$ ; $IG = (F-35)(0,2+0,005*(LI-40))+0,01(F-15)*(IP - 10)$ * Para A - 2 - 6 y A - 2 - 7: $IG = (F - 15) (IP - 10) * 0,01$ Si el suelo es NP $\rightarrow IG = 0$ ; Si $IG < 0 \rightarrow IG = 0$											

Fuente: Das (2001)

### Anexo T. 2. Sistema de Clasificación SUCS

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS USCS							
GRUESOS < 50% que pasa 0,08 mm							
Tipo de suelo	Símbolo	% Ret. en 5mm	% que pasa* 0,08mm	$C_u$	$C_c$	Índice de Plasticidad * IP	
Gravas	GW	$\geq 50\%$ de lo retenido en 0.08 mm	$< 5$	$> 4$	1 a 3		
	GP			Si no Cumple requisitos de GW es GP			
	GM						$< 0,73 (WL-20)$ o $< 4$
	GC						$> 0,73 (WL-20)$ y $> 7$
Arenas	SW	$< 50\%$ de lo retenido en 0.08 mm	$< 5$	$> 6$	1 a 3		
	SP			Si no Cumple requisitos de SW es SP			
	SM						$< 0,73 (WL-20)$ o $< 4$
	SC						$> 0,73 (WL-20)$ y $> 7$
*Entre 5 y 12 % usar símbolo doble como GW-GC, GP-GM, SW-SM, SP-SC							
**Si $IP = 0,73(WL-20)$ o si $IP$ entre 4 y 7 e $IP > 0,73(WL-20)$ , usar símbolo doble: GM-GC, SM-SC							
En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica Ej.: GW-GM en vez de GW-GC							

Fuente: (INACAP, 2013)