



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MÉCANICA Y PROPUESTAS DE
ESTABILIZACIÓN DEL MATERIAL EXTRAÍDO DE LAS MINAS LA
VIRGINIA Y LLATCÓN, PERTENECIENTES A LA PREFECTURA DEL
AZUAY**

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

AUTOR: VÍCTOR SEBASTIÁN VANEGAS JÁUREGUI

SOFÍA MICAELA WILCHES AGUILAR

DIRECTOR: ING. LUIS MARIO ALMACHE MSC.

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA Y PROPUESTAS DE ESTABILIZACIÓN
DEL MATERIAL EXTRAÍDO DE LAS MINAS LA VIRGINIA Y LLATCÓN,
PERTENECIENTES A LA PREFECTURA DEL AZUAY.

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

AUTOR: VÍCTOR SEBASTIÁN VANEGAS JÁUREGUI

SOFÍA MICAELA WILCHES AGUILAR

DIRECTOR: ING. LUIS MARIO ALMACHE MSC.

CUENCA- ECUADOR

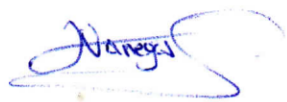
2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad


Víctor Sebastián Vanegas Jáuregui y Sofia Micaela Wilches Aguilar portadores de las cédulas de ciudadanía N° **0105814396** y **0104897426**. Declaramos ser autores de la obra: **“Caracterización físico-mecánica y propuestas de estabilización del material extraído de las minas La Virginia y Llatcón, pertenecientes a la Prefectura del Azuay”**, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 1 de febrero de 2023

F: 

Víctor Sebastián Vanegas Jáuregui

0105814396

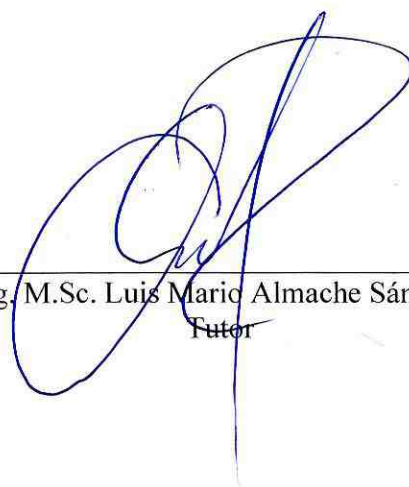
F: 

Sofia Micaela Wilches Aguilar

0104897426

Certificación

Yo, Ing. M.sc Luis Mario Almache Sánchez certifico que la presente investigación: **“Caracterización físico-mecánica y propuestas de estabilización del material extraído de las minas La Virginia y Llatcón, pertenecientes a la Prefectura del Azuay”**, realizado por el señor Víctor Sebastián Vanegas Jáuregui y la señorita Sofía Micaela Wilches Aguilar, egresados de la carrera de Ingeniería Civil perteneciente a la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción, se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría, siendo un trabajo elaborado de manera personas e inédita.



Ing. M.Sc. Luis Mario Almache Sánchez
Tutor

Dedicatoria

Sebastián

Dedicado a mis padres, como mis mayores ejemplos a seguir y pilares fundamentales en mi vida.

Sofía

Dedicado a mis padres y hermanos.

Agradecimiento

Sebastián

En agradecimiento a mi familia, a la Universidad Católica de Cuenca y docentes, especialmente a nuestro tutor Ing. Luis Mario Almache e Ing. Marcos González, laboratorista de la universidad, al Gobierno Provincial del Azuay con nuestros asesores Ing. Cristian Álvarez e Ing. Daniel Vélez.

Un especial agradecimiento a Sofia, compañera y amiga.

Finalmente, un agradecimiento para todas aquellas personas que aportaron un grano de arena en mi carrera y en mi vida.

Sofía

En agradecimiento a mi familia, a la Universidad Católica de Cuenca por brindarme la formación académica, a los profesionales que nos brindaron sus conocimientos para el desarrollo de este proyecto de investigación: Ing. Luis Mario Almache, Ing. Marcos Gonzales, Ing. Cristian Álvarez e Ing. Daniel Vélez y a mi amigo Sebas por formar parte de mi vida académica y personal.

RESUMEN

El Gobierno Provincial del Azuay tiene a cargo la administración y concesión de las minas de Llatcón y la Virginia las cuales son fuentes importantes de materiales pétreos destinados a proyectos de mejoramiento y construcción de vías en la Provincia del Azuay.

El tema de la investigación se centra en caracterizar el material extraído en las minas mencionadas de manera físico-mecánica y de proponer mejorar el material extraído de las minas la Virginia y Llatcón, pertenecientes a la prefectura del Azuay, el propósito de la investigación es de corroborar mediante ensayos de laboratorio como: CBR, granulometría, límites de Atterberg, ensayo de abrasión y corte directo que el material extraído de las minas sean considerados como material de base y se ajuste a los requisitos de la normativa Normativa MOP-001-F 2002 , en caso que no cumplan con algunos requisitos se procederá a realizar un mejoramiento del material añadiendo puzolana y arena, lo cual va a mejorar sus propiedades físico-mecánicas, de esta manera obteniendo un material óptimo para ser puesto en obra.

La investigación propone distintos porcentajes del material para mejoramiento (puzolana y arena) en el material de las minas, con los cuales se van analizar mediante ensayos de laboratorio, para determinar el porcentaje óptimo para cumplir con los requisitos para que sea material de base, una vez analizado los resultados se procede a analizar el costo de estos para realizar propuestas y recomendaciones costo-beneficio a la entidad pública y que la información obtenida en esta investigación sea para su uso.

Palabras clave: granulometría, CBR, límites de Atterberg, Mina La Virginia, Mina

Llatcón

ABSTRACT

Azuay's provincial government is responsible for managing and controlling the Llatcón and La Virginia mines, which are important sources of stone material for improving roads and construction projects in Azuay. The subject of the study is to characterize the material extracted from the mines mentioned above physically-mechanically and to make proposals for improving the material removed from the La Virginia and Llatcón mines, which belong to the Prefecture of Azuay. The purpose of the study is to determine, through laboratory tests such as CBR, granulometry, Atterberg limits, abrasion test, and direct shear, that the material extracted from the mines is considered base material and complies with the requirements of the standard MOP -001-F 2002. If it does not fulfill some criteria, we will improve the material by adding pozzolan and sand, which will help its physical-mechanical properties, thus obtaining an optimal material for use. The research proposes different percentages of the improvement material (pozzolana and sand) in the material of the mines, which will be analyzed through laboratory tests to determine the optimal percentage that meets the requirements of the base material. Once the results are analyzed, the cost will be determined to make proposals and cost-benefit recommendations for the public facility, so that the obtained information could be useful.

Keywords: granulometry, CBR, Atterberg limits, La Virginia mine, Llatcón mine

TABLA DE CONTENIDOS

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad.....	3
Certificación.....	4
Dedicatoria.....	5
Agradecimiento.....	7
RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	10
1. CAPITULO I.....	22
GENERALIDADES.....	22
1.1 Introducción.....	22
1.2 Problema.....	23
1.2.1 Delimitación del Problema.....	24
1.2.2 Definición de la Zona de Estudio.....	25
1.3 Justificación.....	28
1.4 Objetivos.....	29
1.4.1 Objetivo General.....	29
1.4.2 Objetivos Específicos.....	29
2. CAPITULO II.....	30
MARCO TEÓRICO.....	30
2.1 Descripción de la normativa para suelos granulares.....	30
2.2 Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes (MOP-001-F 2002).	30
2.2.1 Especificaciones técnicas para subbase.....	30
2.2.1 Especificaciones técnicas para base.....	31
2.2.1.1 Base Clase 1.....	32
2.2.1.2 Base Clase 2.....	32
2.2.1.3 Base Clase 3.....	33
2.2.1.4 Base Clase 4.....	33
2.3 Especificaciones generales para la construcción de caminitos y puentes volumen N°3 (NEVI-12).	34
2.3.1 Especificaciones técnicas para subbase.....	34
2.3.1.1 Subbase clase 1.....	34
2.3.1.2 Subbase clase 2.....	35
2.3.1.3 Subbase clase 3.....	36
2.3.2 Especificaciones técnicas para la base.....	37

2.3.2.1	Base clase 1.....	38
2.3.2.2	Base clase 2.....	39
2.3.2.3	Base clase 3.....	40
2.3.2.4	Base clase 4.....	42
2.4	Descripción de las minas.....	43
2.4.1	Mina La Virginia.....	43
2.4.1.1	Ubicación.....	43
2.4.1.2	Datos generales de la mina.....	43
2.4.1.3	Diseño del proyecto de explotación.....	44
2.4.2	Mina Llatcón.....	46
2.4.2.1	Ubicación.....	46
2.4.2.2	Datos generales de la mina.....	47
2.4.2.3	Diseño del proyecto de explotación.....	47
2.5	Métodos de estabilización.....	49
2.4.1	Estabilización química.....	50
2.4.1.1	Estabilización con puzolana.....	50
2.4.1.2	Estabilización con arena fina.....	50
2.4.2	Estabilización mecánica.....	51
3.	CAPITULO III.....	52
	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	52
3.1	Granulometría.....	52
3.2	Límites de Atterberg.....	54
3.2.1	Límite Plástico.....	54
3.2.2	Límite Líquido.....	54
3.2.3	Índice Plástico.....	55
3.3	Clasificación de suelos.....	55
3.3.1	Sistema de clasificación AASHTO.....	56
3.3.2	Sistema de clasificación SUCS.....	57
3.3.2.1	Suelos gruesos.....	58
3.3.2.2	Suelos finos.....	59
3.4	Compactación.....	60
3.4.1	Proctor estándar.....	62
3.4.2	Proctor Modificado.....	62
3.4.3	Formulas a aplicar en métodos de Proctor estándar y modificado.....	62
3.4.4	Ensayo CBR.....	63

3.5 Resistencia al esfuerzo cortante.....	65
3.5.1 Parámetros geomecánicas del suelo.....	65
3.5.1.1 Ángulo de fricción interno.	65
3.5.2 Cohesión y cohesión aparente.....	66
3.5.2.1 Cohesión.....	66
3.5.2.1 Cohesión aparente.	67
3.5.3 Ensayo de corte directo.....	67
3.5.4 Ensayo triaxial.	67
3.5.4.1 Ensayo triaxial sin consolidación y sin drenaje (UU).....	67
3.5.4.2 Ensayo triaxial con consolidación y drenaje (CD).	68
3.5.4.3 Ensayo triaxial con consolidación y sin drenaje (CU).....	68
3.6 Ensayo de abrasión.	69
3.6.1 Características de la máquina de Los Ángeles.....	70
3.6.2 Prueba de abrasión Los Ángeles ASTM C 131.	71
3.7 Metodología para la investigación en los ensayos de laboratorio.....	72
4. CAPITULO IV	73
ESTABILIZACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LOS MATERIALES	73
4.1 Ensayos de laboratorio.....	73
4.1.1 Resultados de análisis granulométrico.....	73
4.1.1.1 Granulometría Mina La Virginia.	73
4.1.1.2 Análisis de curvas granulométricas para base material de la mina La Virginia (norma MOP-001-F-2002, 2002).....	74
a) Curva granulométrica base clase 1 tipo A mina La Virginia.	74
b) Curva granulométrica base clase 1 tipo B mina la Virginia.	75
c) Curva granulométrica base clase 2 mina La Virginia.	75
d) Curva granulométrica para base clase 3 mina La Virginia.....	76
e) Curva granulométrica para base clase 4 mina La Virginia.....	77
4.2.2.1 Granulometría mina Llatcón.	77
4.2.2.2 Análisis de curvas granulométricas para base material de la mina Llatcón (norma MOP-001-F-2002).....	78
a) Curva granulométrica para base clase 1 tipo A mina de Llatcón.	79
b) Curva granulométrica para base clase 1 tipo B mina de Llatcón.	79
c) Curva granulométrica para base clase 2 mina de Llatcón.	80
d) Curva granulométrica para base clase 3 mina de Llatcón.	81
e) Curva granulométrica base clase 4 mina de Llatcón.	82

4.3	Límites de Atterberg.....	82
4.4	Clasificación de suelo.....	83
4.5	Ensayo Proctor estándar y modificado.....	84
4.6	Ensayo CBR.....	85
4.6.1	Ensayo CBR mina La Virginia.....	85
4.6.2	Mina Llatcón.....	86
4.7	Corte Directo.....	87
4.7.1	Ensayo triaxial sin consolidación y sin drenaje UU.....	88
4.8	Ensayo de abrasión.....	89
4.9	Interpretación de resultados.....	89
4.10	Descripción de los procesos de mejoramiento del material.....	90
4.11	Análisis de los resultados del mejoramiento del material.....	92
4.11.1	Mina la Virginia.....	92
4.11.1.1	Límites de Atterberg para mina La Virginia.....	92
4.11.1.2	Ensayos granulométricos.....	94
4.11.1.2.1	Material de la mina La Virginia+10% Puzolana.....	94
a)	Curva para base clase 1 tipo A La Virginia+10% Puzolana.....	95
b)	Curva granulométrica base clase 1 tipo B la Virginia+10% Puzolana.....	96
c)	Curva granulométrica para base clase 2 la Virginia+10% Puzolana.....	96
d)	Curva granulométrica base clase 3 la Virginia+10% Puzolana.....	97
e)	Curva granulométrica base clase 4 la Virginia+10% Puzolana.....	98
4.11.2	Clasificación de los suelos mina La Virginia.....	99
4.11.3	Proctor modificado mina La Virginia.....	99
4.11.4	Corte Directo mina La Virginia.....	101
4.11.4	Material de la mina La Virginia+12% Arena.....	102
a)	Curva para base clase 1 tipo A mina La Virginia+12% Arena.....	103
b)	Curva granulométrica base clase 1 tipo B mina La Virginia+12% Arena.....	103
c)	Curva granulométrica para base clase 2 mina La Virginia+12% Arena.....	104
d)	Curva granulométrica base clase 3 mina La Virginia+12% Arena.....	105
4.11.5	Mina Llatcón.....	106
4.11.5.1	Límites de Atterberg para mina de Llatcón.....	107
4.11.5.2	Ensayos granulométricos para mina de Llatcón.....	108
4.11.5.2.1	Material de la mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2" +20% de material pasante del tamiz N°40 de arena fina.....	108

a) Curva para base clase 1 tipo A mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2” +20% de material pasante del tamiz N°40 de arena fina.	109
b) Curva granulométrica base clase 1 tipo B mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2” +20% de material pasante del tamiz N°40 de arena fina.....	110
c) Curva granulométrica para base clase 2 mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2” +20% de material pasante del tamiz N°40 de arena fina.....	111
d) Curva granulométrica base clase 3 mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2” +20% de material pasante del tamiz N°40 de arena fino	112
e) Curva granulométrica base clase 4 mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2” +20% de material pasante del tamiz N°40 de arena fina.	113
4.11.5.2.2 Material mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2” +20% de material pasante del tamiz N°40 de puzolana.	114
a) Curva para base clase 1 tipo A mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2” +20% de material pasante del tamiz N°40 de puzolana.	115
c) Curva granulométrica para base clase 2 mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2” +20% de material pasante del tamiz N°40 de puzolana.	117
d) Curva granulométrica base clase 3 mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2” +20% de material pasante del tamiz N°40 de puzolana.	118
e) Curva granulométrica base clase 4 mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2” +20% de material pasante del tamiz N°40 de puzolana.	119
4.11.5.3 Proctor Modificado para mina de Llatcón.	120
4.11.5.4 Clasificación de suelos para mina de Llatcón.	122
4.11.5.5 Corte directo para mina de Llatcón.....	122
4.11.5.6 Ensayo de CBR mina Llatcón.....	124
4.12 Análisis de costos del mejoramiento del material.	125
4.12.1 Costo de producción Mina la Virginia.....	125
4.12.2 Costo de producción Mina Llatcón.....	126
4.12.3 Costo de producción Mina La Virginia+ 12% Puzolana.	126
4.12.4 Costo de producción Mina La Virginia+12% Arena.	127
4.12.5 Costo de producción Mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2” +20% de material pasante del tamiz N°40 de puzolana.	127

4.12.6 – Costo de producción Mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de ½” +20% de material pasante del tamiz N°40 de arena fina.....	129
5. Capítulo V.....	130
RESULTADOS.....	130
5.1 Análisis y discusión de resultados.....	130
5.2 Conclusiones.....	132
5.3 Recomendaciones	135
BIBLIOGRAFÍA.....	136
ANEXOS.....	139

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Coordenadas de las minas a estudiar.....	26
Tabla 2	Clases de subbases y sus tamices correspondientes.....	31
Tabla 3	Límites granulométricos para base clase 1.	32
Tabla 4	Límites granulométricos para base clase 2.	33
Tabla 5	Límites granulométricos para base clase 3.	33
Tabla 6	Límites granulométricos para base clase 4.	34
Tabla 7	Límites granulométricos para subbase 2.....	37
Tabla 8	Recomendaciones para uso de material de base.	38
Tabla 9	Límites granulométricos para base clase 1.	38
Tabla 10	Límites granulométricos para base clase 2.	39
Tabla 11	Límites granulométricos para base clase 3.	41
Tabla 12	Límites granulométricos para base clase 4	42
Tabla 13	Coordenadas geográficas de la mina La Virginia.	43
Tabla 14	Coordenadas Geográficas de la mina Llatcón.....	46
Tabla 15	Tamaño de partículas finas.	52
Tabla 16	Tamaño de material grueso.	53
Tabla 17	Tamaño estándar de tamices.	53
Tabla 18	Clasificación de suelos según sistema AASHTO.	57
Tabla 19	Ángulo de fricción interno para diferentes tipos de suelo.	66
Tabla 20	Análisis granulométrico material de la Mina La Virginia.	73
Tabla 21	Análisis granulométrico material de la Mina Llatcón.....	78
Tabla 22	Límites de Atterberg de minas Llatcón y la Virginia.....	83
Tabla 23	Clasificación de suelos.....	83

Tabla 24 Ensayo Proctor estándar y modificado.....	84
Tabla 25 Carga de penetración.....	86
Tabla 26 Carga de penetración.....	87
Tabla 27 Resultados de corte directo.	87
Tabla 28 Ensayo triaxial no consolidado no drenando UU.....	88
Tabla 29 Ensayo de abrasión.....	89
Tabla 30 Análisis de los ensayos realizados.	90
Tabla 31 Límites de Atterberg para mina la Virginia.	92
Tabla 32 Granulometría la Virginia+10% Puzolana.....	94
Tabla 33 Clasificación de suelo para material de la Mina La Virginia.....	99
Tabla 34 Resultados de ensayo de Proctor Modificado.	100
Tabla 35 Resultados de ensayo de corte directo.	101
Tabla 36 Granulometría la Virginia+12% Arena fina.....	102
Tabla 37 Resultados de ensayos de Límites de Atterberg para mina de Llatcón.....	107
Tabla 38 Material de la mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2” +20% de material pasante del tamiz N°40 de arena fina.	109
Tabla 39 Material de la mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2” +20% de material pasante del tamiz N°40 de puzolana.....	115
Tabla 40 Resultados de Proctor modificado.	121
Tabla 41 Clasificación de suelos para mina de Llatcón.....	122
Tabla 42 Resultado de ensayo de corte directo.....	123

Tabla 43 Resultado de CBR.....	124
Tabla 44 Presupuesto para mina La Virginia.....	125
Tabla 45 Presupuesto para mina Llatcón.	126
Tabla 46 Presupuesto para material de la Virginia+ Puzolana.	126
Tabla 47 Presupuesto para Mina La Virginia+ 12% Arena.	127
Tabla 48 Presupuesto para Mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de ½” +20% de material pasante del tamiz N°40 de Puzolana.....	128
Tabla 49 Presupuesto para Mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de ½” +20% de material pasante del tamiz N°40 de arena fina.....	129
Tabla 50 Resumen de resultados de los ensayos.....	130
Tabla 51 Requerimientos de la normativa	131

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Minas de estudio en la Provincia del Azuay.....	26
Figura 2 Curva granulométrica para subbase clase 1.....	35
Figura 3 Curva granulométrica para subbase clase 2.....	35
Figura 4 Curva granulométrica para subbase clase 3.....	36
Figura 5 Curva granulométrica para base clase 1 (Tipo A y B).....	39
Figura 6 Curva granulométrica para base clase 2.	40
Figura 7 Curva granulométrica para base clase 3.	41
Figura 8 Curva granulométrica para base clase 4.	42
Figura 9 Ubicación de la Mina La Virginia	44
Figura 10 Diseño de explotación de la mina.....	45
Figura 11 Ubicación de mina de Llatcón.	47
Figura 12 Diseño de los bancos para explotación de la mina de Llatcón.	49
Figura 13 Carta de plasticidad método SUCS.....	60
Figura 14 Equipo para realizar el ensayo Proctor en laboratorio.....	61
Figura 15 Equipo para ensayo de compactación CBR.....	64
Figura 16 Circulo de Mohr y envolvente de falla de un ensayo triaxial.	69
Figura 17 Máquina de Los Ángeles.	71
Figura 18 Diagrama de flujo para metodología de ensayos.....	72
Figura 19 Curva granulométrica para base clase 1 Tipo A.	74
Figura 20 Curva granulométrica para base clase 1 tipo B.	75
Figura 21 Curva granulométrica base clase 2.	76
Figura 22 Curva granulométrica para base clase 3.	76
Figura 23 Curva granulométrica para base clase 4.	77
Figura 24 Curva granulométrica para base clase 1 tipo A.	79
Figura 25 Curva granulométrica base clase 1 tipo B.	80
Figura 26 Curva granulométrica para base clase 2.	80
Figura 27 Curva granulométrica base clase 3.	81
Figura 28 Curva granulométrica base clase 4.	82
Figura 29 Relación Soporte-CBR.	85
Figura 30 Relación soporte-CBR.	86
Figura 31 Resultados de los límites de Atterberg.	93
Figura 32 Curva granulométrica base clase 1 tipo A.	95
Figura 33 Curva granulométrica base clase 1 tipo B.	96
Figura 34 Curva Granulométrica base clase 2.	96
Figura 35 Curva granulométrica base clase 3.	97
Figura 36 Curva granulométrica base clase 4.	98
Figura 37 Resultado de ensayos de Proctor modificado.	100
Figura 38 Resultados de cohesión.....	101
Figura 39 Curva granulométrica base clase 1 tipo A.	103
Figura 40 Curva granulométrica base clase 1 tipo B.	104
Figura 41 Curva Granulométrica base clase 2.	104
Figura 42 Curva granulométrica base clase 3.	105
Figura 43 Curva granulométrica base clase 4.	106
Figura 44 Resultados de Límites de Atterberg.....	107
Figura 45 Curva granulométrica base clase 1 tipo A.	110

Figura 46 Curva granulométrica para base clase 1 tipo B.....	111
Figura 47 Curva Granulométrica base clase 2.	112
Figura 48 Curva granulométrica base clase 3.	112
Figura 49 Curva granulométrica base clase 4.	113
Figura 50 Curva granulométrica base clase 1 tipo A.	116
Figura 51 Curva granulométrica base clase 1 tipo B.	117
Figura 52 Curva Granulométrica base clase 2.	118
Figura 53 Curva granulométrica base clase 3.	119
Figura 54 Curva granulométrica base clase 4.	120
Figura 55 Resultado de Proctor modificado.....	121
Figura 56 Cohesión de corte directo material de Llatcón.	123
Figura 57 Resultados de CBR de la mina Llatcón.	124
Figura 58 Distancia entre minas.....	128
Figura 59 Costo de cada material.....	131
Figura 60 Extracción de material de la mina La Virginia.....	139
Figura 61 Extracción de material de la mina Llatcón.....	139
Figura 62 Tendido de material extraído.....	140
Figura 63 Ensayo de granulometría por cribado.....	141
Figura 64 Lavado de material fino para granulometría.....	142
Figura 65 Material para ensayo de límites de Atterberg.....	143
Figura 66 Ensayo para límite líquido- Ensayo de Casa Grande.....	144
Figura 67 Muestras de ensayo para límite plástico.....	144
Figura 68 Material para ensayo Proctor y CBR.....	145
Figura 69 Ensayo Proctor modificado.....	146
Figura 70 Ensayo de CBR.....	147
Figura 71 Maquina para ensayo de CBR.....	147
Figura 72 Resultado de ensayo de compactación CBR.....	148
Figura 73 Preparación de material para ensayo de corte directo.....	148
Figura 74 Ensayo de corte directo.....	149
Figura 75 Preparación de muestra para ensayo triaxial UU.....	150
Figura 76 Ensayo triaxial UU.....	151
Figura 77 Muestra de ensayo triaxial UU.....	152
Figura 78 Ensayo CBR- moldes sumergidos.....	153
Figura 79 Ensayo de abrasión- Máquina de Los Ángeles.....	154

1. CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 Introducción

Los seres humanos a través de la historia han ido utilizando diferentes materiales para la construcción, derivados de la naturaleza que se han desarrollado con el tiempo. Actualmente se han ido creando canteras donde se realiza el tratamiento de materiales pétreos como: arena, grava, base, subbase, etc., para solventar las necesidades puestas en obras civiles en el tema de suelos. (Das, 2001a)

Dentro de la provincia, el Gobierno Provincial del Azuay posee minas con las cuales abastece de material pétreo para sus diferentes obras viales. Este material debe cumplir con estándares de calidad nacional rigiéndose por las especificaciones técnicas existentes, para garantizar trabajos viales de calidad.

Es por esta razón que los materiales pétreos que se comercializan y se utilizan en el Azuay debe regirse bajo las siguientes especificaciones de la Normativa MOP-001-F 202, establecida en 2002. Especificaciones para la construcción de caminos y puentes, con la comparación a su vez con la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12, normativas en las cuales se exponen las especificaciones y los métodos a ser empleados en estudios, construcción y control, en los diseños y construcción de caminos y puentes dentro del país.

El presente proyecto busca analizar muestras del material pétreo producido en dos minas que están bajo la concesión del Gobierno Provincial del Azuay, verificar que cumplan con la normativa mencionada, en caso de que no lo haga buscar métodos de mejoramiento de este con el objetivo que calcen dentro de los estándares de calidad solicitados. Para poder llegar a los resultados se van a realizar en laboratorio ensayos físico-mecánicos como son: granulométricas, límites de plasticidad, Proctor, CBR y

abrasión; estos ensayos determinarán las características de los materiales extraídos de las minas.

El árido cuyo material se lo encasilla dentro de las gravas puede ser utilizado en diferentes tipos de obras civiles por lo cual es importante obtener parámetros geomecánicos y no únicamente con datos proporcionados por bibliografía que pueden estar lejanos a la realidad de material pétreo. Los parámetros geomecánicos se los aplica dentro de cualquier construcción civil, los cuales en el Gobierno Provincial del Azuay serán utilizados para brindar un control de calidad del material pétreo que es extraído en las minas como: la Virginia y Llatcón, que es empleado en las vías dentro de la provincia del Azuay.

1.2 Problema

La infraestructura vial de la provincia es un pilar fundamental para la movilización dentro de la misma, donde a lo largo de la historia siempre se ha tratado de lidiar con colapsos, derrumbes, producidos o saturación por clima adverso en épocas de invierno.

En la construcción de obras civiles es necesario contar con información fiel a la realidad para poder tener un punto de partida, donde la ingeniería se plantea minimizar variables y problemas para ejecutar diseños e idealizar el comportamiento tanto de los materiales como de la estructura. Con la información de primera mano se toma en cuenta diseños ajustados a la disponibilidad que se posee de forma económica y técnica, reduciendo costos sin obtener diseños conservadores, donde suelen usarse valores predeterminados que pueden ser erróneos para un caso específico.

Bajo el contexto señalado se plantea investigar y de ser el caso mejorar las características de los áridos de las minas con las que cuenta la prefectura del Azuay: La Virginia y Llatcón, los cuales actualmente ya se emplean en obras civiles tanto para

relleno vial como para cimentaciones, estructura de pavimento, rehabilitaciones, refuerzo de estructuras.

Para poder analizar los diferentes tipos de áridos que se encuentren en la mina es necesario utilizar conocimientos dentro de la rama de la geotécnica y geomecánica, los cuales son los encargados de brindar los parámetros necesarios para que estos materiales cumplan con las normativas solicitadas que son requeridas para utilizar el material árido mencionado.

El Ministerio de Transporte y Obras públicas mediante el reglamento MTOP VOL 3, detalla las especificaciones técnicas para que el material pétreo a utilizar en obra presente condiciones óptimas; de igual manera se va regular que cumplan con requisitos internacionales y nacionales como es el caso de la normativa NEVI, NEC, INEN AASHTO Y ASTM.

1.2.1 Delimitación del Problema

El material que va a ser utilizado por parte de la prefectura del Azuay de la mina la Virginia y la mina Llatcón debe estar dentro de los parámetros de la Normativa MOP-001-F 202. A su vez estos materiales podrían ser aplicados a otras obras civiles y no únicamente a pavimentos. Obteniendo información fiel a la realidad y aplicable para los estudios necesarios. Se plantea reconocer las propiedades del material pétreo que se maneja dentro de la prefectura.

A continuación, se menciona el proceso a seguir:

- Obtención del material de banco de las minas de la prefectura del Azuay
- Obtención de granulometría de las muestras
- Obtención de límites de Atterberg de las muestras

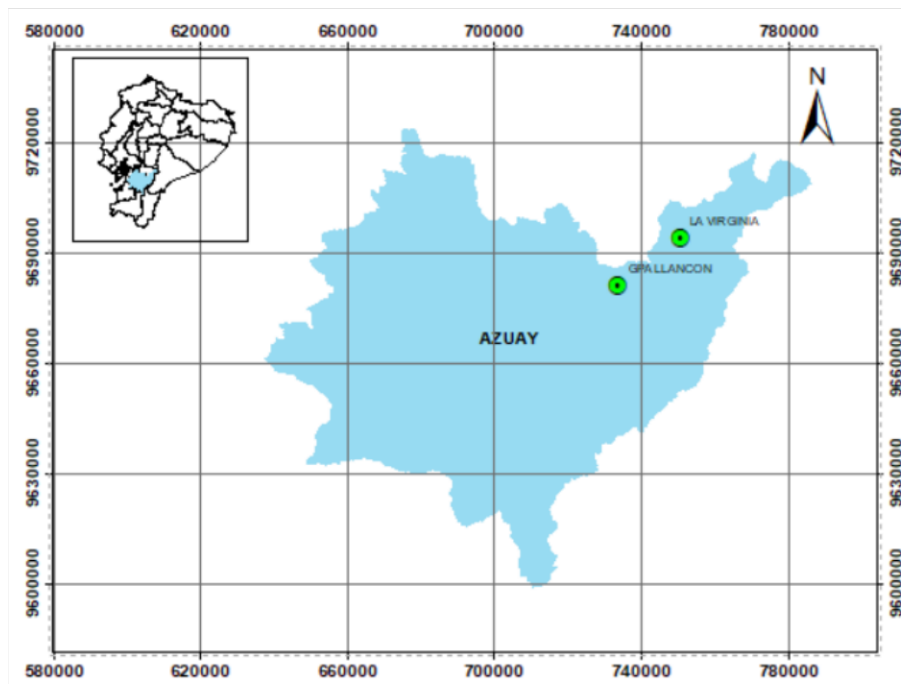
- Obtención de la resistencia a la abrasión de las muestras
- Aplicación de ensayo de compactación estándar y modificado a las muestras
- Aplicación de ensayo de soporte California Bearing Ratio CBR.
- Aplicación ensayo de corte directo en las muestras
- Aplicación de ensayo de triaxial en las muestras
- Comprobación de parámetros del material dentro de la normativa respectiva
- Evaluación de los resultados; propiedades físicas y geomecánicas del material de las dos minas a ser analizadas
- Analizar métodos de estabilización de los materiales pétreos extraídos en las minas, para que cumplan las características de la normativa respectiva.

1.2.2 Definición de la Zona de Estudio

El material para estudiar será correspondiente a las Minas de libre aprovechamiento del Gobierno Provincial del Azuay: GPA LLATCON CODIGO 10000328 ubicada en el Noreste de la ciudad de Cuenca y LA VIRGINIA CODIGO 10000385 ubicada en la parroquia Dug Dug del cantón Paute.

Como se puede observar en la siguiente figura, se detalla la ubicación de las minas mencionadas dentro de la provincia del Azuay.

Figura 1 Minas de estudio en la Provincia del Azuay



Fuente: Autoría propia

Tabla 1 Coordenadas de las minas a estudiar

Mina	Coordenada Este	Coordenada Norte
La Virginia	751050	9694603
Llatcón	734228	9681516

Fuente: Autoría Propia

A continuación, se va a observar imágenes de donde va a ser extraído el material a analizar:

La figura número 2 representa la zona de explotación de áridos en la mina la Virginia.

Figura 2 Mina La Virginia



Fuente: Autoría Propia

La Figura 3 presenta la zona de explotación de áridos de la mina de Llatcón

Figura 3 Mina Llatcón



Fuente: Autoría propia

1.3 Justificación

La prefectura del Azuay sostiene que el trabajo mancomunado, en diferentes ámbitos como: vialidad, sistemas de riego, etc. Es importante para el desarrollo y cuidado de la provincia.

Los convenios y la colaboración que tiene la entidad azuaya son importantes tanto con GAD's parroquiales o municipales como con las instituciones, en este caso con la Universidad Católica de Cuenca para ayudar a la investigación. Donde se podrá estudiar el material árido necesario para las construcciones dentro de la provincia, estudios realizables en laboratorios de la Universidad Católica de Cuenca del Centro de investigación, innovación y transferencia de tecnología, ubicado en el campus Miracielos y en los laboratorios del Gobierno Provincial del Azuay.

El Gobierno Provincial del Azuay tiene la necesidad de obtener parámetros geomecánicos de las minas La Virginia y Llatcón ya que en los proyectos viales se utiliza estos materiales pétreos, con el fin de demostrar que cumplen los estándares de la normativa ecuatoriana para su uso dentro de la construcción vial. Este proyecto se va a realizar con el fin de brindar a los azuayos un material óptimo para su uso en vías de primer, segundo y tercer orden.

El proyecto resuelve la problemática que cuando el material extraído en las minas no cumpla con las especificaciones técnicas del MOP-001-F-2002, se proceda a realizar un mejoramiento con material fimo (arena y puzolana) aplicado con diferentes porcentajes, para que se pueda obtener recomendaciones tanto técnicas como en la parte económica, una vez que el material sea estabilizado.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Caracterizar de manera físico-mecánico y establecer propuestas de estabilización del material extraído de las minas La Virginia y Llatcón, pertenecientes al Gobierno Provincial del Azuay.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades de los materiales como límites granulométricos, límites de Atterberg, humedad optima que se explotan y abastecen las obras viales de del Gobierno Provincial del Azuay.
- Determinar los parámetros geomecánicos del suelo; cohesión y ángulo de fricción interna por medio de ensayos de laboratorio de corte directo y triaxial.
- Analizar y comparar que los resultados de los parámetros del material estén acorde a la normativa.
- Interpretar resultados de ensayos de laboratorio del material y compararlos entre las dos minas.
- Aplicar métodos de estabilización para los materiales extraídos en las minas para que se ajusten en la normativa respectiva en caso de que no cumplieren.
- Aplicar métodos de mejoramiento del material extraído en mina para que cumplan las características de una base.

2. CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Descripción de la normativa para suelos granulares.

A continuación, se detallará las exigencias que debe cumplir el material pétreo extraído en las minas de Llatcón y La Virginia según la normativa MOP-002-F-2002 y NEVI 12 volumen 3.

2.2 Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes (MOP-001-F 2002).

2.2.1 Especificaciones técnicas para subbase.

La subbase es un tipo de agregado que debe pasar por un proceso de cribado o trituración y tiene que cumplir los requerimientos especificados en la norma MOP-001-F 2002, esta capa se colocará en la subrasante previamente analizada y aprobada para colocarse según los planos de diseño. (Especificaciones Técnicas MOP-001-F-2002, 2002)

Este material deberá cumplir con las siguientes especificaciones como: su coeficiente de desgaste máximo deber ser el 50% este ensayo de abrasión que es realizado por la máquina de Los Ángeles, el índice de plasticidad deberá ser menor a 6 de lo que pase el tamiz N°40 y el límite liquido deberá tener un valor máximo de 25 y una capacidad de soporte o CBR mayor al 30%.(Especificaciones Técnicas MOP-001-F-2002, 2002)

Existen 3 clases diferentes de subbase y para clasificarnos se deberá pasar por un proceso de granulometrías y según su porcentaje pasante se clasifica, los requisitos comunes para poder clasificar este material como subbase es que se deberá graduarse de manera uniforme los agregados de grueso a fino, una vez realizado el ensayo se procede a clasificarlos para poder identificar mediante fajas granulométricas a que tipo de subbase pertenece.(Especificaciones Técnicas MOP-001-F-2002, 2002)

En la siguiente tabla se describe los límites granulométricos según el tipo de subbase.

Tabla 2 Clases de subbases y sus tamices correspondientes.

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
	Clase 1	Clase 2	Clase 3
3"	-	-	100
2"	-	100	-
1 1/2"	100	70-100	-
N°4	30-70	30-70	30-70
N°40	10-35	15-40	-

Fuente: (Especificaciones Técnicas MOP-001-F-2002, 2002)

2.2.1 Especificaciones técnicas para base.

Este tipo de material este compuesto por agregados que pasaron por un proceso parcial o totalmente triturados, son estabilizados con agregado fino que también procede de la trituración o suelo fino seleccionado, o ambos tipos de agregado fino.(Especificaciones Técnicas MOP-001-F-2002, 2002)

Para que al material granular se lo considere como base deberá cumplir exigencias establecidas. El índice de plasticidad deberá ser menor a 6 y el límite líquido menor a 25, del pasante del tamiz N°40; el ensayo de abrasión realizado por la máquina de los Ángeles deberá ser menor al 40% y deberá tener un porcentaje de CBR mayor al 80%. (Especificaciones Técnicas MOP-001-F-2002, 2002)

Este tipo de material deberá ser sólido, limpio y resistente, exento de polvo, suciedad, arcillas u otro material extraño. Este material tiene 4 tipos de clases diferentes.(Especificaciones Técnicas MOP-001-F-2002, 2002)

2.2.1.1 Base Clase 1.

Deberá ser un agregado fino y grueso que tenga un 100% de triturado y graduado de forma uniforme y dentro de los límites A y B indicados en la siguiente tabla.(Especificaciones Técnicas MOP-001-F-2002, 2002)

Tabla 3 Límites granulométricos para base clase 1.

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	TIPO A	TIPO B
2"	100	-
1 1/2"	70-100	100
1"	55-85	70-100
3/4"	50-80	60-90
3/8"	35-60	45-75
N°4	25-50	30-60
N°10	20-40	20-50
N°40	10-25	10-25
N°200	2-12	2-12

Fuente:(Especificaciones Técnicas MOP-001-F-2002, 2002)

2.2.1.2 Base Clase 2.

Este tipo de base son fragmentos de grave triturada cuya fracción en peso pasaste deberá ser al menos el 50% y los límites granulométricos deberán ser ajustarse a lo establecido en la siguiente tabla.(Especificaciones Técnicas MOP-001-F-2002, 2002)

Tabla 4 Límites granulométricos para base clase 2.

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
1"	100
3/4"	70-100
3/8"	50-80
N°4	35-65
N°10	25-50
N°40	15-30
N°200	3-15

Fuente:(Especificaciones Técnicas MOP-001-F-2002, 2002)

2.2.1.3 Base Clase 3.

Este tipo de base está constituida por grave triturada que su peso del agregado grueso deberá tener como mínimo el 25% del pasante en peso.(Especificaciones Técnicas MOP-001-F-2002, 2002)

Tabla 5 Límites granulométricos para base clase 3.

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
3/4"	100
N°40	45-80
N°10	30-60
N°40	20-35
N°200	3-15

Fuente:(Especificaciones Técnicas MOP-001-F-2002, 2002)

2.1.2.4 Base Clase 4.

Este tipo de base deberá tener sus límites de granulometría, establecidos en la siguiente tabla. (Especificaciones Técnicas MOP-001-F-2002, 2002)

Tabla 6 Límites granulométricos para base clase 4.

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
2"	100
1"	60-90
N°40	20-50
N°200	0-15

Fuente: (Especificaciones Técnicas MOP-001-F-2002, 2002)

2.3 Especificaciones generales para la construcción de caminitos y puentes volumen N°3 (NEVI-12).

2.3.1 Especificaciones técnicas para subbase.

La subbase deberá cumplir con los requisitos del coeficiente de desgaste máximo de 50% esto se determina con el ensayo de abrasión utilizando la máquina de Los Ángeles, y que la porción del peso pase el tamiz N°40 tiene que tener un límite líquido máximo de 25 e índice plástico menor a 6, el CBR es decir la capacidad de soporte deberá ser igual o mayor a 30%.(Especificaciones generales para la construcción de caminitos y puentes Volumen N°3 (NEVI-12), 2013)

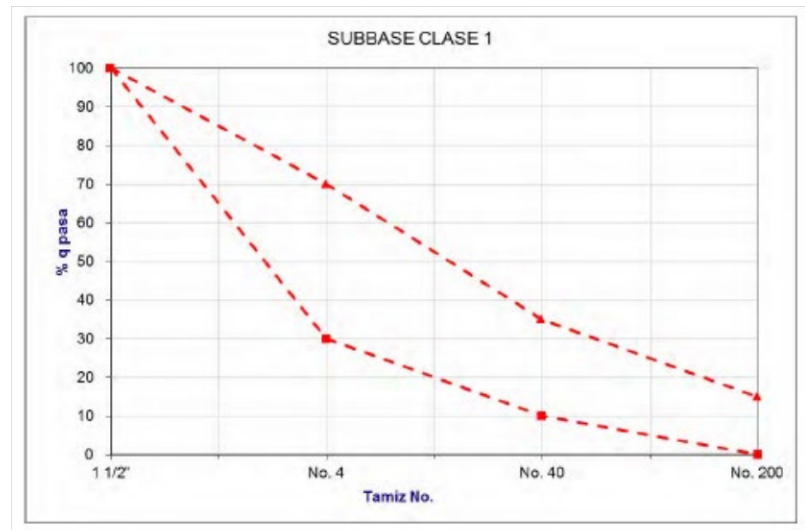
Este tipo de agregado se divide en tres clases de subbase:

2.3.1.1 Subbase clase 1.

Este tipo de subbase es obtenida a través de un proceso de trituración de gravas y graduados de manera correcta para la granulometría de subbase clase 1, indicada en la tabla número 6. Al menos 30% del peso total deberá obtenerse

de un proceso de trituración.(Especificaciones generales para la construcción de ca minitos y puentes Volumen N°3 (NEVI-12), 2013)

Figura 2 Curva granulométrica para subbase clase 1.

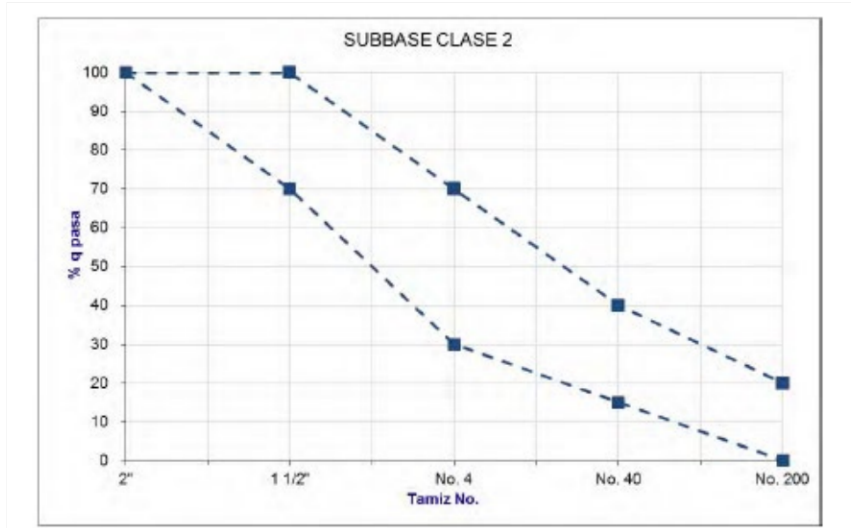


Fuente:(Especificaciones generales para la construcción de caminitos y puentes Volumen N°3 (NEVI-12), 2013)

2.3.1.2 Subbase clase 2.

Este tipo de agregado deberá pasar por un proceso de trituración en yacimientos de piedra fragmentada o de gravas, y deberá ajustarse a la granulometría establecida en la tabla número 6.(Especificaciones generales para la construcción de caminitos y puentes Volumen N°3 (NEVI-12), 2013)

Figura 3 Curva granulométrica para subbase clase 2.

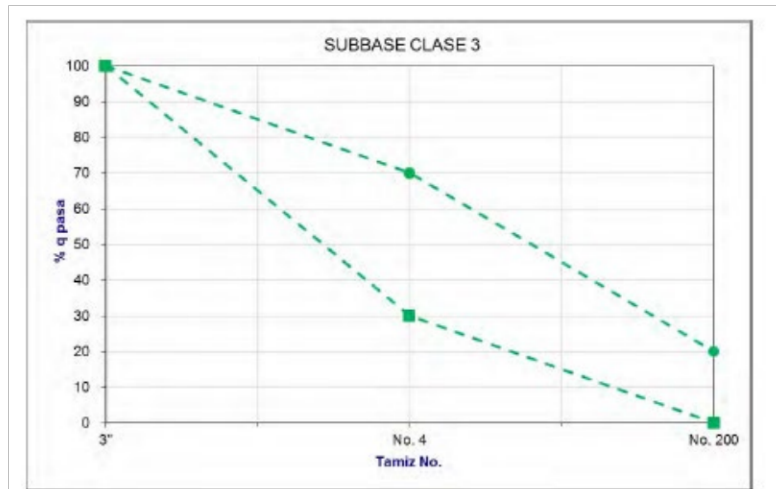


Fuente: (Especificaciones generales para la construcción de caminitos y puentes Volumen N°3 (NEVI-12), 2013)

2.3.1.3 Subbase clase 3.

Este tipo de base son construidas con agregados naturales y procesados que se ajusten a los requerimientos establecidos anteriormente y deberán ajustarse a la granulometría establecida en la tabla número 7.(Especificaciones generales para la construcción de caminitos y puentes Volumen N°3 (NEVI-12), 2013)

Figura 4 Curva granulométrica para subbase clase 3.



Fuente: (Especificaciones generales para la construcción de caminitos y puentes Volumen N°3 (NEVI-12), 2013)

Tabla 7 Límites granulométricos para subbase 2.

Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada						
Tamiz	Subbase clase 1		Subbase clase 2		Subbase clase 3	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
3"						100
2"	-	-		100		-
1 1/2"		100	70	100		-
N°4	30	70	30	70	30	70
N°40	10	35	15	40		-

Fuente: (Especificaciones generales para la construcción de caminitos y puentes Volumen N°3 (NEVI-12), 2013)

2.3.2 Especificaciones técnicas para la base.

Este tipo de material debe tener un agregado resistente, solido, exento de polvo, suciedad, arcilla u otros materiales extraños y resistentes. Para que cumpla el material como base deberá tener los siguientes requisitos: La fracción del pasante del tamiz N°40 deberá tener un liquito liquido menor a 25 e índice plástico menor a 6, con el ensayo de abrasión de determinará el porcentaje de desgaste que deberá ser menor al 40% y un valor de soporte (CBR) el cual deberá ser mayor o igual al 80%.(Especificaciones generales para la construcción de caminitos y puentes Volumen N°3 (NEVI-12), 2013)

Existen cuatro clases de base el cual tiene recomendaciones para su uso, especificado en la siguiente tabla:

Tabla 8 Recomendaciones para uso de material de base.

Material especificado	Tipo de carretera	No. Carriles	TPDA
Base clase 1	Uso principalmente de aeropuertos y carreteras con intenso nivel de tráfico	8 a 12	>50.000
Base clase 2	Carreteras de 2 hasta 6 carriles con un ancho mínimo por carril de 3.65m. Se incluye franja central de 2 a 4m	2 a 6	8.000-50.000
Base clase 3	Vías internas de urbanizaciones con bajo nivel de tráfico	2 a 4	1.000-8.000

Fuente:(Especificaciones generales para la construcción de caminitos y puentes Volumen N°3 (NEVI-12), 2013)

2.3.2.1 Base clase 1.

Este tipo de base deberá ser constituida por agregados finos y gruesos, que tengan un 100% de triturados y graduados de manera uniforme para tipos A y B indicados en la siguiente tabla.(Especificaciones generales para la construcción de caminitos y puentes Volumen N°3 (NEVI-12), 2013)

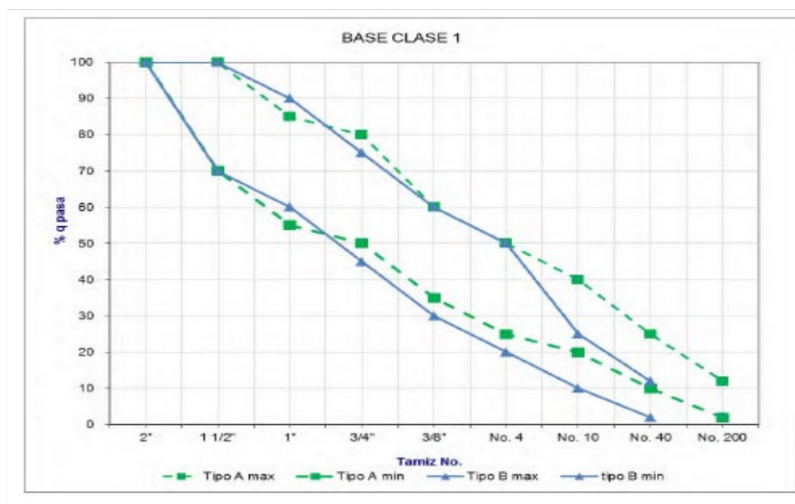
Tabla 9 Límites granulométricos para base clase 1.

Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para Base clase 1				
Tamiz	Base clase 1 tipo A		Base clase 1 tipo B	
	Mín	Máx	Mín	Máx
2"		100		100
1 1/2"	70	100	70	100
1"	55	85	60	90
3/4"	50	80	45	75
3/8"	35	60	30	60
N°4	25	50	20	50
N°10	20	40	10	25
N°40	10	25	2	12

Fuente:(Especificaciones generales para la construcción de caminitos y puentes

Volumen N°3 (NEVI-12), 2013)

Figura 5 Curva granulométrica para base clase 1 (Tipo A y B).



Fuente:(Especificaciones generales para la construcción de caminitos y puentes Volumen

N°3 (NEVI-12), 2013)

2.3.2.2 Base clase 2.

Este tipo de base está constituida por fragmentos de grava triturada, la cual su fracción gruesa deberá cumplir al menos el 50% de peso y ajustarse a los límites granulométricos de la siguiente tabla. (Especificaciones generales para la construcción de caminitos y puentes Volumen N°3 (NEVI-12), 2013)

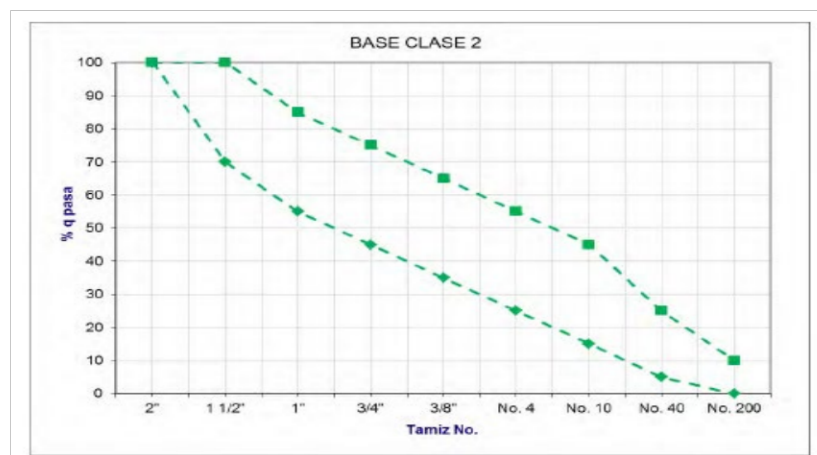
Tabla 10 Límites granulométricos para base clase 2.

Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para base clase 2		
Tamiz	Base clase 2	
	Mín	Máx
2"		100
1 1/2"	70	100
1"	55	85
3/4"	47	75
3/8"	35	65
N°4	25	55
N°10	15	45
N°40	5	25
N°200	0	10

Fuente: (Especificaciones generales para la construcción de caminitos y puentes

Volumen N°3 (NEVI-12), 2013)

Figura 6 Curva granulométrica para base clase 2.



Fuente:(Especificaciones generales para la construcción de caminitos y puentes Volumen

N°3 (NEVI-12), 2013)

2.3.2.3 Base clase 3.

Este tipo de base son el resultado de gravas trituradas, cuya fracción en peso del agregado grueso deberá ser al menos el 25%, si hace falta agregado para que se ajuste a los límites granulométricos se podrá hacer con material externo como arena

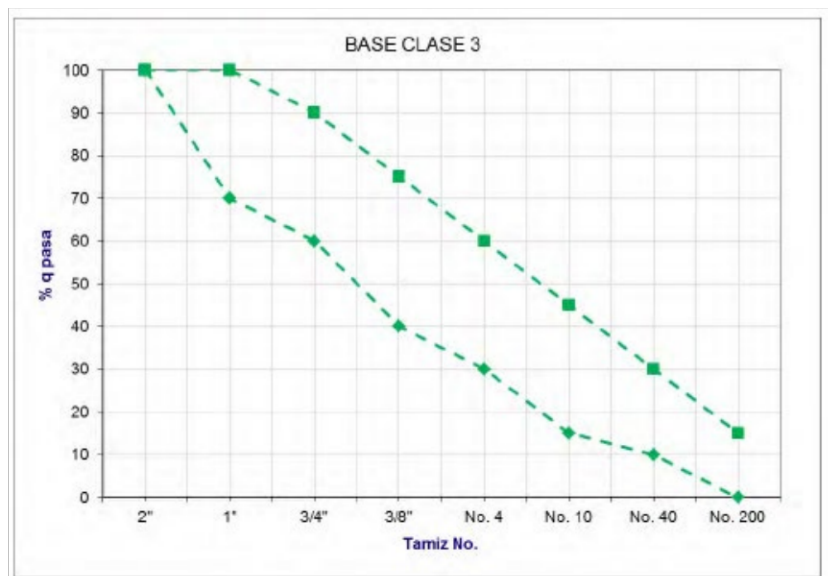
fin.(Especificaciones generales para la construcción de caminitos y puentes Volumen N°3 (NEVI-12), 2013)

Tabla 11 Límites granulométricos para base clase 3.

Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para base clase 3		
Tamiz	Base clase 3	
	Mín	Máx
2"		100
1"	70	100
3/4"	60	90
3/8"	40	75
N°4	30	60
N°10	15	45
N°40	10	30
N°200	0	15

Fuente: (Especificaciones generales para la construcción de caminitos y puentes Volumen N°3 (NEVI-12), 2013)

Figura 7 Curva granulométrica para base clase 3.



Fuente:(Especificaciones generales para la construcción de caminitos y puentes Volumen N°3 (NEVI-12), 2013)

2.3.2.4 Base clase 4.

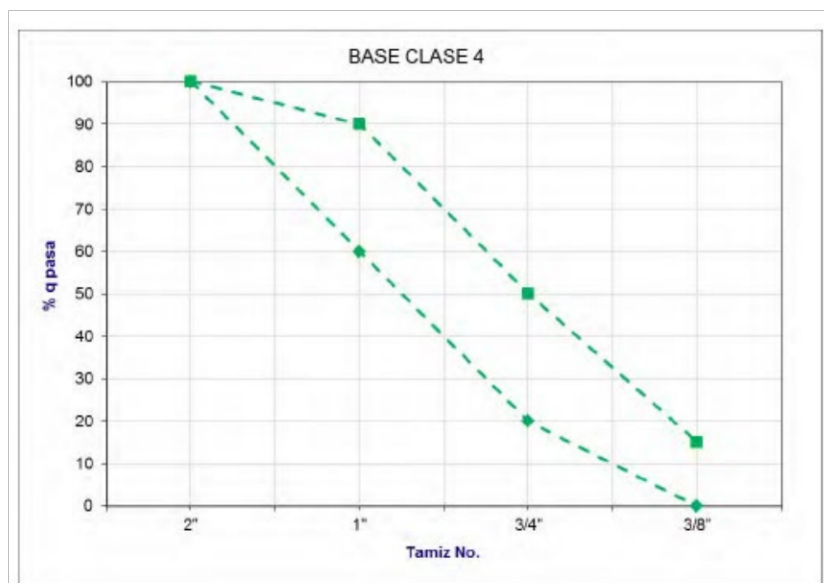
Estas bases están constituidas por agregados obtenidos por cribado o trituración de piedras fragmentadas y se deberán ajustar a los límites granulométricos indicados en la siguiente tabla.(Especificaciones generales para la construcción de caminitos y puentes Volumen N°3 (NEVI-12), 2013)

Tabla 12 Límites granulométricos para base clase 4

Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para base clase 4		
Tamiz	Base clase 4	
	Mín	Máx
2"		100
1"	60	90
N°4	20	50
N°200	0	15

Fuente:(Especificaciones generales para la construcción de caminitos y puentes Volumen N°3 (NEVI-12), 2013)

Figura 8 Curva granulométrica para base clase 4.



Fuente:(Especificaciones generales para la construcción de caminitos y puentes

Volumen N°3 (NEVI-12), 2013)

2.4 Descripción de las minas.

2.4.1 Mina La Virginia.

2.4.1.1 Ubicación.

La mina el virginia está ubicado en la provincia del Azuay en el cantón Paute, con las siguientes coordenadas geográficas 751050E, 9694603N. El Gobierno Provincial del Azuay requiere material que esté en condiciones aptas para la ejecución de obras como tendido de base y doble tratamiento superficial bituminoso. La mina cumple con las características de geología, topografía, transporte, sustentos ambientales para su extracción de material y vías de acceso. (Gobierno Provincial del Azuay, 2016b)

Tabla 13 Coordenadas geográficas de la mina La Virginia.

Mina	Coordenada Este	Coordenada Norte
La Virginia	751050	9694603

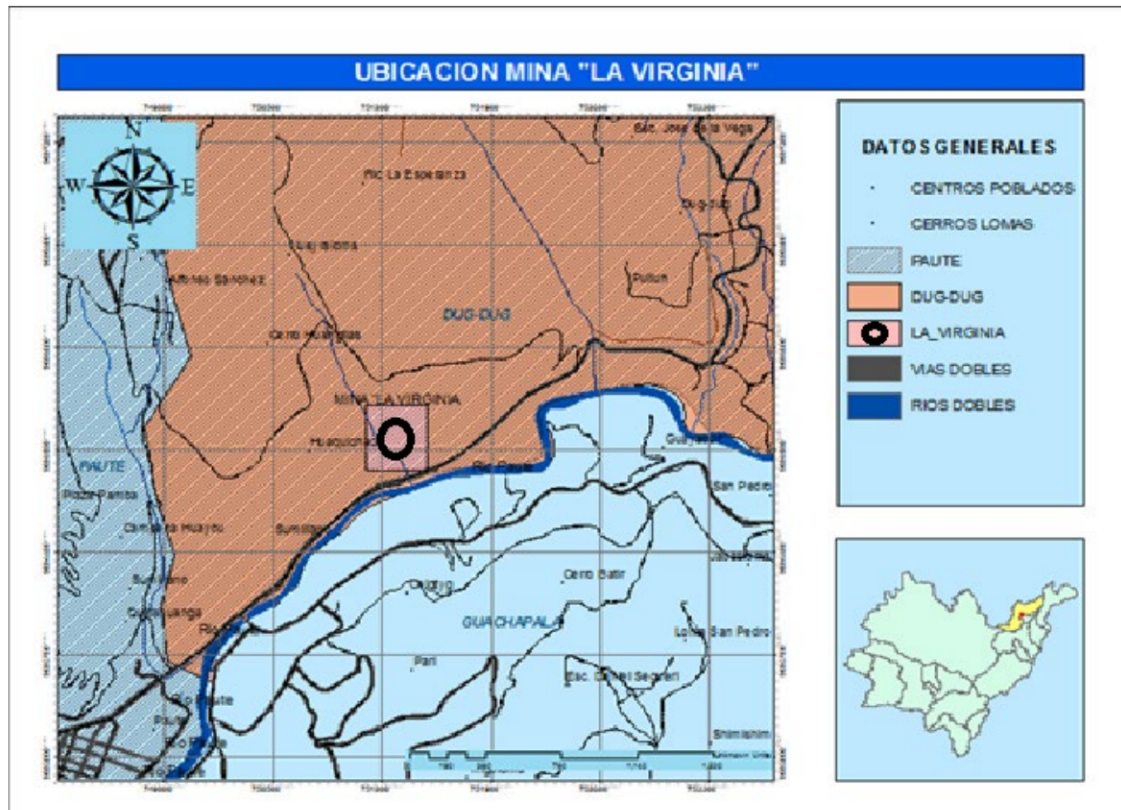
Fuente: (Gobierno Provincial del Azuay, 2016b)

2.4.1.2 Datos generales de la mina.

Según datos obtenidos del Gobierno Provincial del Azuay conforme a investigaciones, exploraciones y diseño de explotación a cielo abierto, el material que está constituido esta mina en su mayoría es de lavas andesitas masivas, duras y resistentes, piroclásticos susceptibles de ser afectados por la erosión fluvial, con una altura promedio de 105m, ancho promedio de 250 m y de largo una longitud de 150m, se estima una

reserva aprovechable de material a explotar de 1,200.000 m³ de mineral.(Gobierno Provincial del Azuay, 2016b)

Figura 9 Ubicación de la Mina La Virginia



Fuente: (Gobierno Provincial del Azuay, 2016b)

2.4.1.3 Diseño del proyecto de explotación.

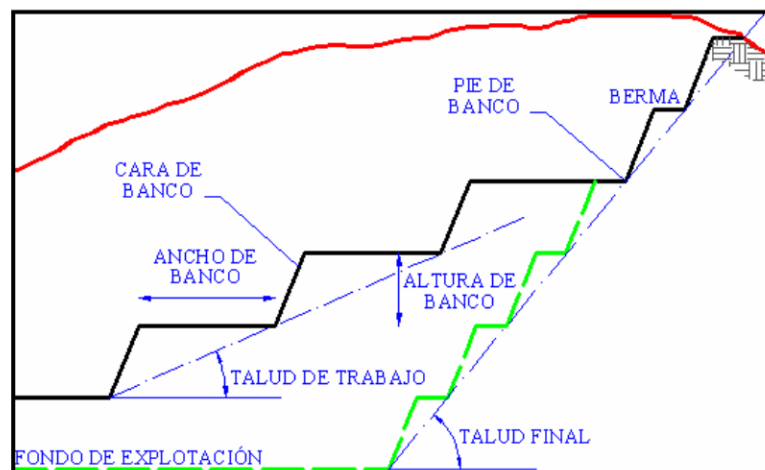
2.4.1.3.1 Selección del método de explotación.

Según el levantamiento de información proporcionado por el Gobierno Provincial del Azuay, para realizar el diseño de exploración del yacimiento se realizó estudios geométricos, geomecánicas, operativas y medioambientales, lo cual resulto más óptimo para el GPA utilizar bancos ascendentes.(Gobierno Provincial del Azuay, 2016b)

2.4.1.3.2 Diseño técnico de la cantera.

Según la información proporcionada por el Gobierno Provincial del Azuay se utiliza el método de bancos ascendentes para la explotación del material, que se define como un módulo o escalón comprendido entre dos niveles que constituye la rebanada que se explota y que es objeto de excavación desde un punto hasta una posición final establecida; La altura del banco diseñado es la distancia vertical entre dos niveles, y el talud del banco es el ángulo delimitado entre la horizontal y la línea de máxima pendiente de la cara del banco; El talud del trabajo es el ángulo definido entre los bancos los cuales se encuentran en la plataforma de trabajo, es una pendiente provisional de la excavación; las pistas son las estructuras de vías dentro de una explotación, a través de las cuales se extrae el mineral, se caracterizan por su anchura y pendiente dentro de una disposición espacial determinada.(Gobierno Provincial del Azuay, 2016b)

Figura 10 Diseño de explotación de la mina.



Fuente:(Gobierno Provincial del Azuay, 2016b)

2.4.1.3.3 Rampa de acceso.

Son caminos que se utilizarán para el acceso de equipos, son generalmente de anchura pequeñas, vías de un solo carril y las pendientes son superiores a las pistas.(Gobierno Provincial del Azuay, 2016b)

2.4.1.3.4 Límites finales de la mina.

Según la información proporcionada por el Gobierno Provincial del Azuay, son situaciones espaciales hasta las que llegan las excavaciones, el límite horizontal determina el fondo de la explotación y los límites laterales son los taludes finales de la misma. Los límites en profundidad de una mina a cielo abierto están condicionados fundamentalmente por la geología del yacimiento y los aspectos económicos derivados de un tipo de excavación estéril para un determinado valor del mineral explotado.(Gobierno Provincial del Azuay, 2016b)

2.4.2 Mina Llatcón.

2.4.2.1 Ubicación.

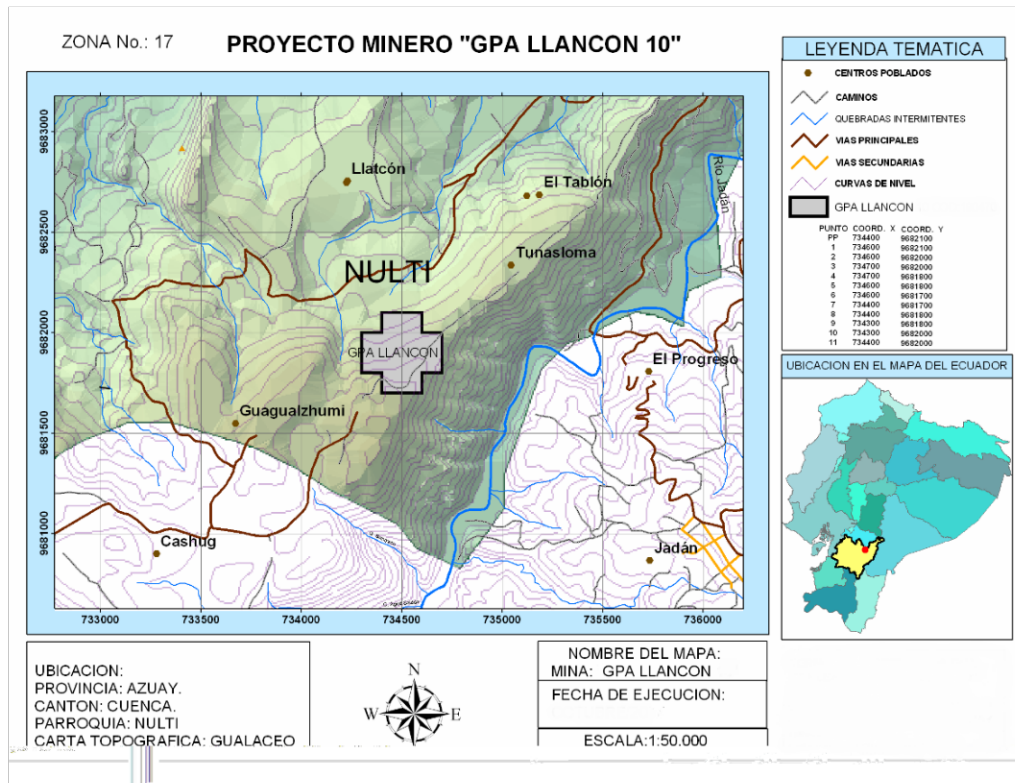
Para poder realizar la explotación en la mina se realizaron estudios geológicos, calidad del material, cantidad del macizo rocoso útil, accesibilidad al lugar de explotación. La mina está ubicada en el cantón Cuenca dentro de la Provincia del Azuay, con las siguientes coordenadas geográficas 734228E, 9681516N .(Gobierno Provincial del Azuay, 2016a)

Tabla 14 Coordenadas Geográficas de la mina Llatcón

Mina	Coordenada Este	Coordenada Norte
Llatcón	734228	9681516

Fuente: (Gobierno Provincial del Azuay, 2016a)

Figura 11 Ubicación de mina de Llatcón.



Fuente: (Gobierno Provincial del Azuay, 2016a)

2.4.2.2 Datos generales de la mina.

Luego de realizar trabajos de investigación, prospección y exploración por parte del Gobierno Provincial del Azuay, la mina tiene una reservar aprovechable de aproximadamente de 2.100.000 m³ de material.(Gobierno Provincial del Azuay, 2016a)

2.4.2.3 Diseño del proyecto de explotación.

2.4.2.3.1 Estabilidad de taludes.

Según la información proporcionada por el Gobierno Provincial del Azuay, en la mina de explotación del libre aprovechamiento GPA Llatcón la estabilidad de taludes es un aspecto fundamental ya que es una clave para la viabilidad, seguridad y rentabilidad.(Gobierno Provincial del Azuay, 2016a)

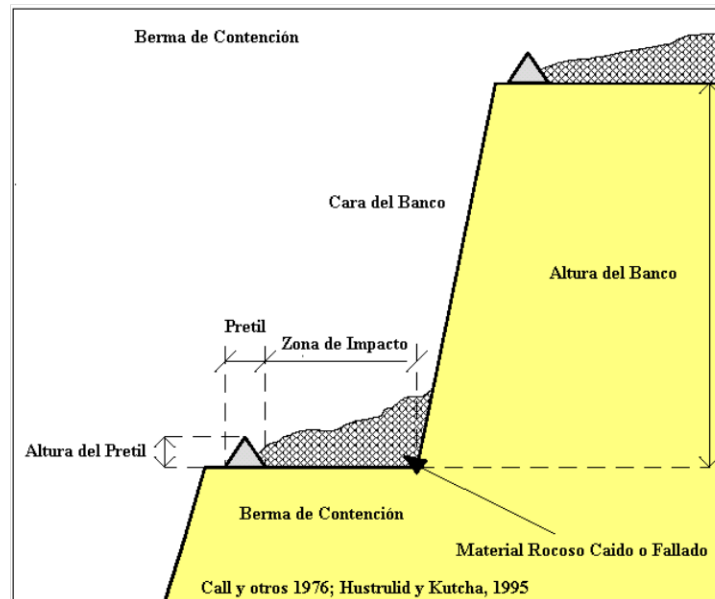
Los factores que afectan las operaciones son: caída o deslizamiento de material suelto, colapso parcial de un banco, colapso general de un talud de excavación.(Gobierno Provincial del Azuay, 2016a)

El riesgo de colapso de un talud se mide en un término llamado coeficiente de seguridad F, que es la relación entre el conjunto de fuerzas resistentes y desestabilizadores que provocarían la rotura de un talud, el coeficiente de seguridad en la mina de Llatcón es de 1.05.

2.4.2.3.1 Diseño técnico de la cantera.

Según los estudios realizados por el Gobierno Provincial del Azuay, esta mina utiliza la técnica de bancos que tiene una altura se de 7 metros cada banco en total 6 bancos para explotarse debido a que la altura máxima de alcance de la maquinaria (retroexcavadores) es de 7,11m y por norma la altura de los bancos no debe ser mayor al alcance de excavación de la maquinaria, la anchura mínima de los bancos de trabajo es la suma necesaria para el movimiento de la maquinaria de tal manera que sea suficientemente amplia para permitir que los volquetes y palas maniobren con facilidad sin aproximarse al frente de arranque y mantengas una distancia mínima de seguridad de 5 metros al borde del banco en el desarrollo normal del trabajo, para las operaciones de carga con material con maquinaria como retroexcavadora se necesita un ancho de 12.47 metros. (Gobierno Provincial del Azuay, 2016a)

Figura 12 Diseño de los bancos para explotación de la mina de Llatcón.



Fuente:(Gobierno Provincial del Azuay, 2016a)

2.4.2.4 Bermas.

Según los estudios realizados por el Gobierno Provincial del Azuay, las bermas se utilizan como plataformas de acceso en el talud de la excavación y también como áreas de protección al detener los materiales que pueden desprenderse de los frentes en los bancos superiores.(Gobierno Provincial del Azuay, 2016a)

2.5 Métodos de estabilización.

La estabilización de suelos es un proceso en el cual se altera las propiedades naturales de un tipo de suelo, existen dos técnicas de mejoramiento de un suelo: estabilización química y mecánica.(Das, 2001a)

El tipo de estabilización que se va a realizar en esta investigación es de tipo mecánica que se expondrá a continuación.

2.4.1 Estabilización química.

Este tipo de estabilización trata de mejorar el comportamiento de un suelo con aditivos químicos, con el fin de que sea más fácil de usar como material de construcción, reducir plasticidad, etc.(Das, 2001a)

2.4.1.1 Estabilización con puzolana.

La puzolana está conformada por compuestos aluminio-silíceos y silíceos, este tipo de material se le utiliza como aditivo en el cemento Portland, variando el contenido de este material entre un 35% y 55%, en el medio se utiliza como ornamento y de manera empírica en la estabilización de suelos. (Castro León & Delgado Garzón, 2017)

En la zona de la Sierra ecuatoriana hay una cantidad considerable de este material y no es explotado ya que generalmente se utiliza como aditivo en el cemento Portland en la construcción, en la zona del austro ecuatoriano se encuentra en las zonas de Llacao, Solano y Deleg.(Castro León & Delgado Garzón, 2017)

La puzolana natural reacciona con CaOH_2 con agua, para formar compuestos conglomerantes, también reaccionan con agua por sí mismas, teniendo características de fraguado de cemento Portland.(Castro León & Delgado Garzón, 2017)

2.4.1.2 Estabilización con arena fina.

Se denomina arena fina a el agregado con diámetro entre 0.25-0.1 mm, la cual como es un mineral tiene varios compuestos químicos, estas son fracciones de roca y sobre todo cuarzo; cuando estas no están compuestas de arcilla o limo carecen de plasticidad y poseen un buen drenaje de agua y aireación, esto al modificarlo con un tipo de suelo aumenta sus características de resistencia y disminuye su límite líquido.(Villalta Vergara & Chang Bernal, 2020)

2.4.2 Estabilización mecánica.

Este tipo de estabilización es la que se logre el mejoramiento de un suelo sin ninguna reacción química importante.(Das, 2001a)

2.4.2.1 Compactación.

Se realizan ensayos de compactación como Proctor estándar o modificado y ensayos de CBR.

3. CAPITULO III

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

3.1 Granulometría.

Es importante determinar la textura de la muestra de suelo para que se pueda realizar una aproximación de las propiedades, como su capacidad de distribución de poros, impermeabilidad, consistencia, infiltración y estructura esto para un mejor manejo dependiendo su uso que se vaya a dar dentro del campo de la ingeniería civil.

Para poder clasificar los suelos dentro de la categoría “material fino” y “fragmento de roca”, se han determinado varios métodos según el tamaño de las partículas. Para el material fino se considera partículas minerales menor a 2 mm, como se observa en la siguiente tabla (Gabriels & L, 2006):

Tabla 15 Tamaño de partículas finas.

Material Fino		Tamaño (micrómetros)
Arena	Muy gruesa	2000-1000
	Gruesa	1000-500
	Media	500-250
	Fina	250-100
	Muy fina	100-50
Limo		50-2
Arcilla		<2

Fuente: (Gabriels & L, 2006)

El término de fragmento de roca o fracción gruesa contempla partículas superiores a 2mm de diámetro lo cual en una porción de suelo representará el 40% del volumen total, para poder clasificar los fragmentos de roca se realiza la siguiente clasificación según la siguiente tabla(Gabriels & L, 2006):

Tabla 16 Tamaño de material grueso.

Material Grueso	Tamaño (milímetros)
Grava fina	2-5
Grava media	5-20
Grava gruesa	20-75
Guijarro	75-250
Piedra	250-600

Fuente:(Gabriels & L, 2006)

Para realizar el análisis granulométrico es necesario conocer la distribución de agregados finos y gruesos que pasan a través de los tamices, según el Ministerio de transporte y Obras Públicas como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 17 Tamaño estándar de tamices.

Tamaño estándar de tamices	
Tamiz número	Abertura (mm)
1"	25,4
3/4"	19
1/2"	12,7
3/8"	9,5
Nº4	4,75
Nº8	2,36
Nº16	1,18
Nº30	0,6
Nº50	0,3
Nº100	0,15
Nº200	0,075

Fuente:(Especificaciones Técnicas MOP-001-F-2002, 2002)

El procedimiento para el ensayo granulométrico se realiza bajo las normas AASHTO T88-70 y ASTM D2487-17, con esto se obtiene la distribución de las partículas que componen la muestra, se evalúa el porcentaje retenido en cada tamiz ordenado de mayor a menor abertura mediante un equipo mecánico que agita las muestras.

3.2 Límites de Atterberg.

Cuando se incrementa el contenido de agua también aumenta la humedad de la muestra de suelo esto permite que se moldee sin que se desmorone el suelo, esto se produce por la cohesión ya que el agua contenida en la muestra presenta características absorbentes, la consistencia de diferentes tipos de suelo puede cambiar por el incremento de humedad, como sería el caso de un suelo plástico puede cambiar su consistencia desde un suelo quebradizo cuando hay poca cantidad de agua y hasta presentar características de un fluido cuando se expone a altas cantidades de agua, para determinar la consistencia del suelo se utiliza en ensayo de los límites de Atterberg.(Idrovo Angumba, 2019)

Los suelos arcillosos presentan una característica que se llama expansividad que se puede analizar a través de los límites de Atterberg, cuando es un suelo fino, esta característica se trata que la muestra de suelo presente cambios de volumen al cambiar el contenido de agua de la muestra.(Idrovo Angumba, 2019)

3.2.1 Límite Plástico.

Según la mecánica de suelos la plasticidad se define como la capacidad de un material de soportar deformaciones sin agrietarse, para esto se necesita que el material sea pasante del tamiz N°40 y tenga la propiedad de enrollarse el suelo en hilos sin agrietarse hasta tener un diámetro de 3mm esto va a depender de su contenido de humedad, el ensayo se realiza bajo la norma ASTM D4318.(Das, 2001b)

3.2.2 Límite Líquido.

El límite líquido se define como la humedad que se expresa en porcentaje en relación al peso seco de la muestra cuando este cambia su estadio de líquido a plástico, esto se obtiene a través del método de la cuchara de Casagrande cuando el

material pasante el tamiz N°40 con el fin de obtener la humedad a los 25 golpes.(Das, 2001b)

3.2.3 Índice Plástico.

El índice de plasticidad es la diferencia entre el límite líquido y límite plástico de un suelo.(Das, 2001b)

El índice de plasticidad va a indicar cual es el intervalo en la variación de la humedad cuando la muestra de suelo se mantiene en estado plástico, un alto índice de plástico va a demostrar que va a existir un porcentaje alto de arcillas, también indica la capacidad de compresibilidad del suelo, lo cual se crea una proporción directa mientras mayor sea el índice plástico mayor será la compresibilidad de la muestra de suelo.

3.3 Clasificación de suelos.

Los suelos que tienen propiedades similares se clasifican en grupos y subgrupos por sus características mecánicas, existen varios sistemas para clasificar los suelos, pero en la actualidad se manejan dos tipos de sistemas que utilizan la granulometría y el índice de plasticidad del material, estos son el método de clasificación AASHTO (American Association of State Highway) y SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).

El sistema AASHTO se aplica generalmente en Estados Unidos el cual es el departamento para carreteras de primer orden y los ingenieros geotécnicos prefieren utilizar el método SUCS.(Das, 2001b)

3.3.1 Sistema de clasificación AASHTO

El método de clasificación de suelos AASHTO se desarrolló en 1929 el cual ha sido desarrollado y revisado a lo largo de los años dando su última actualización en 1945. Este sistema se divide en siete principales grupos: A1-A7.

Los primeros tres grupos (A1-A2-A3) pertenecen a suelos de tipo granular donde el 35% o menos de las partículas del peso total de la muestra pasa el tamiz N°200. Los siguientes grupos el 35% o menos del peso de la muestra pasan el tamiz N°200.(Das, 2001b)

Tabla 18 Clasificación de suelos según sistema AASHTO.

Clasificación general	Material granulares (35% o menos del total de la muestra pasa tamiz N°200)						
Grupo de clasificación	A-1			A-2			
Análisis de tamiz (porcentaje pasante)	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
N°10	50 máx	-	-	-	-	-	-
N°40	30 máx	50 máx	51 mín	-	-	-	-
N°40	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx
Características de la fracción de paso tamiz N°40							
Límite Líquido	-	-	-	40 máx	41 máx	40 máx	41 máx
Índice de plasticidad	6 máx	-	NP	10 máx	10 máx	10mín	11 mín
Tipos comunes de materiales significativos	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Limo o grava arcillosa y arena			
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						
Clasificación general	Material granulares (35% o menos del total de la muestra pasa tamiz N°200)						
Grupo de clasificación	A-4	A-5	A-6	A-7, A-7-5, A-7-6			
Análisis de tamiz (porcentaje pasante)							
N°10	-	-	-	-			
N°40	-	-	-	-			
N°200	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín			
Características de la fracción de paso tamiz N°40							
Límite Líquido	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín			
Índice de plasticidad	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín			
Tipos comunes de materiales significativos	Suelos limosos		Suelos arcillosos				
Clasificación general de la subrasante	Regular a malo						

Fuente:(Das, 2001b)

3.3.2 Sistema de clasificación SUCS.

Este sistema cubre los tipos de suelos de material granular tanto finos como gruesos, distinguiendo la granulometría de estos entre la malla N°200, se diferencia el tipo de suelo

como grueso los que son mayores a esta malla y finos a los que son menores. (Badillo, 1974).

3.3.2.1 Suelos gruesos.

Se diferencia cada grupo de suelo por la letra mayúscula G (gravel) en caso de gravas y S (sand) en caso de suelos arenosos, las gravas y arenas que se retienen en la malla N°4 se los caracteriza como suelos gruesos. El suelo pertenece al grupo G si el 50% de la muestra de la fracción gruesa no pasa la malla N°4 y es retenida en la malla N°200, en caso contrario es del grupo S. (Badillo, 1974)

Las gravas y arenas también se subdividen en cuatro tipos.

- El símbolo W (well graded) quiere decir material limpio de finos y bien graduado, se realiza la combinación de GW o SW.
- El símbolo P (poorly graded) es un material limpio de finos, pero mal graduado, esto genera las siguientes combinaciones GP o SP.
- El símbolo M (limoso) quiere decir una cantidad apreciable de finos no plásticos, que da lugar a las siguientes combinaciones GM o SM.
- El símbolo C (clay) quiere decir que, sin una cantidad de finos plásticos, que da lugar a las siguientes combinaciones GC o SC.

Los grupos GW y SW son un tipo de suelo bien graduado con poca presencia de finos, estos finos no deben influir en cambios significativos en las características mecánicas ni en su capacidad de resistencia de drenaje de la fracción gruesa presentada. Para que la grava sea bien graduada debe cumplir con el coeficiente de uniformidad mayor a 4 y el coeficiente de uniformidad debe estar en un rango entre 1 y 3. En caso de arenas bien graduadas debe cumplir con las mismas características del coeficiente de curvatura, pero el coeficiente de uniformidad tiene que ser mayor a 6.(Badillo, 1974)

Los grupos GP y SP son suelos mal graduados esto quiere decir que tienen una apariencia uniforme o de un tamaño de partícula predominante faltando partículas de tamaño intermedio entre las mallas retenidas en el N°4, en los ensayos de laboratorio deben cumplir los mismos requisitos señalados anteriormente.(Badillo, 1974)

Los grupos GM y SM tiene una presencia de finos lo cual afecta su capacidad de drenaje de la fracción libre y resistencia. En los ensayos de laboratorio se ve que ocurre esto cuando el porcentaje de finos es mayor al 12% de su peso total de la muestra, estos finos presentan características de nula a media plasticidad, su índice de plasticidad debe ser menor a 4.(Badillo, 1974)

Grupos GC y SC de igual manera que el grupo anterior el porcentaje de finos debe ser mayor al 12% en su peso total y su índice de plasticidad tiene que ser mayor a 7.(Badillo, 1974)

3.3.2.2 Suelos finos.

Para los suelos finos el sistema SUCS también los agrupa en grupos con una mayúscula para diferenciarlos.

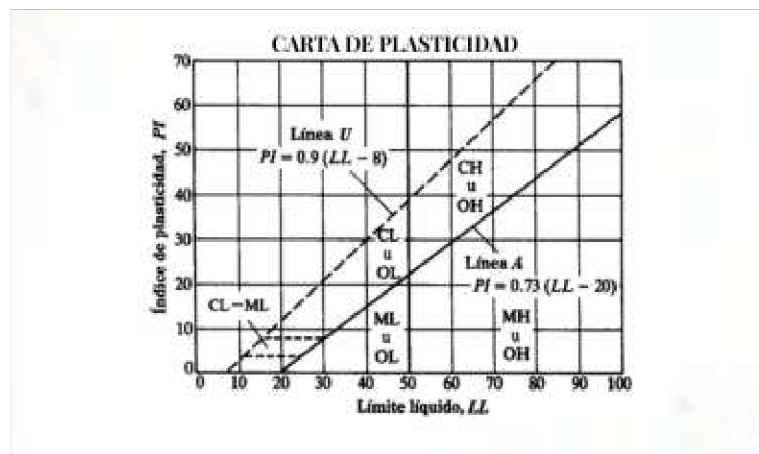
- El símbolo M es para limos inorgánicos.
- El símbolo C (clay) es para arcillas inorgánicas.
- El símbolo O (organic) es para limos y arcillas inorgánicas.

Cada uno de estos tres grupos se dividen en dos subgrupos van a depender del límite líquido, si este es menor al 50% son suelos de baja compresibilidad y se añade la letra L (baja plasticidad) obteniendo las siguientes combinaciones ML, CL y OL, caso contrario si el límite líquido es mayor al 50% se coloca la letra mayúscula H (alta plasticidad) que quiere decir que el material tiene una compresibilidad alta, obteniendo las siguientes combinaciones: MH, CH y OH.(Badillo, 1974)

El grupo CL debe tener un límite líquido menor al 50% e índice de plasticidad mayor al 7% sobre la línea A que se puede observar en la carta de plasticidad de igual manera el grupo CH se le encasilla como arcillas inorgánicas el cual debe estar sobre la línea A de la carta de plasticidad y un límite líquido mayor al 50%.(Badillo, 1974)

El grupo ML queda por debajo de la línea A de la carta de plasticidad con características de un límite líquido menor al 50% e índice plástico menor al 4%. El grupo MH debería estar por debajo de la línea A pero con un límite líquido mayor al 50%.(Badillo, 1974)

Figura 13 Carta de plasticidad método SUCS.



Fuente: (Badillo, 1974)

3.4 Compactación.

En las obras civiles cuando se produce la compactación de un suelo cuando existe un incremento en la densidad de este lo cual trae beneficios sobre el mismo cuando no se excede de la energía aplicada para la compactación. (López Maldonado, 2020)

Cuando se realiza la compactación de un suelo de manera óptima se incrementa la resistencia al corte porque se produce entre las partículas una mayor unión, obteniendo como resultado una resistencia mayor en conjunto; también se produce una disminución de la permeabilidad ya que se dificulta el traspaso de agua al material, en caso de que esto ocurriera el material va a presentar un deterioro por el arrastre de partículas, se disminuye la compresibilidad e impide el hundimiento del suelo que se produce por una mala compactación. (López Maldonado, 2020)

Los ensayos que son comúnmente usados para compactación son Proctor Estándar y Proctor Modificado, estos ensayos son utilizados para conocer la relación existente entre la densidad seca y la humedad para una energía de compactación del material.(López Maldonado, 2020)

Figura 14 Equipo para realizar el ensayo Proctor en laboratorio.



Fuente: (López Maldonado, 2020)

3.4.1 Proctor estándar.

Como se mencionó anteriormente el objetivo del ensayo es conocer la relación entre la densidad seca y la humedad de la muestra, para realizar el ensayo es necesario el molde cilíndrico de una capacidad aproximada de 943.3cm³ el cual se rellenará con 3 capas del material compactado con la maza o martillo el cual se deja caer libremente 25 veces a la misma altura todos los golpes, una vez que se terminó el proceso de compactación, se procede a retirar el collarín, enrasar la muestra, pesar para obtener el volumen de la muestra compactada, se desmonta la muestra y se toma muestra de humedad, se requiere un mínimo de cuatro muestras con diferentes contenidos de agua.(López Maldonado, 2020)

3.4.2 Proctor Modificado.

El objetivo del ensayo es el mismo del anterior sino con la variación que se realiza en un molde con un volumen 943.3cm³ y una capacidad mayor con 5 capas del material dejando caer 56 veces el martillo o maza a la misma altura todos los golpes, esto implica que se va a necesitar mayor energía para la compactación del material, de igual manera se requiere mínimo 4 muestras del material con diferente contenido de agua que se va a aplicar, esto siguiente la norma ASTM D-1557 y la normativa americana AASHTO T180.(López Maldonado, 2020)

3.4.3 Formulas a aplicar en métodos de Proctor estándar y modificado.

- Humedad:

$$\%W = \frac{\text{Peso seco} - \text{Peso Humedo}}{\text{Peso seco}} * 100$$

Fuente: (Das, 2001b)

- Densidad seca:

$$\gamma_{seca} = \frac{\gamma_{natural}}{1 + W}$$

Fuente: (Das, 2001b)

- Densidad natural: $\gamma_{natural} = \frac{Peso\ total}{Volumen\ total}$

Fuente: (Das, 2001b)

3.4.4 Ensayo CBR.

Este ensayo CBR nace de las siglas California Bearing Ratio de suelos compactados, este tipo de ensayo generalmente se usa en diseño de pavimentos, el ensayo CBR se formó en California naciendo de la necesidad de evaluar y clasificar suelos que van a ser utilizados en carreteras como material de base o subbase. (Palomino Terán, 2016)

El objetivo de este ensayo es conocer cuál es la capacidad de soporte del suelo a analizar que son compactados en laboratorio, a partir de la humedad óptima que se obtiene en ensayos de Proctor y niveles de compactación variable. El porcentaje de CBR se define como la fuerza que se aplica en el pistón para que penetre a una determinada profundidad la muestra anteriormente compactada y sumergida en agua. (Palomino Terán, 2016)

El ensayo consta de tres fases:

a) Ensayo de compactación

- Para poder realizar esta parte del ensayo es necesario preparar el material con la humedad óptima que se obtuvo anteriormente de ensayos anteriores
- Se compacta el material en 5 capas dentro de un molde, esto se repite 3 veces en diferentes moldes con diferente energía de compactación. La

primera muestra con 56 golpes del pistón, la segunda con 25 y la tercera con 12.(Palomino Terán, 2016)

- Se pesa las muestras y se obtiene humedades del material antes del remojo.(Palomino Terán, 2016)

Figura 15 Equipo para ensayo de compactación CBR



Fuente:(LCweb - *Ensayo California Bearing Ratio*, s. f.)

b) Ensayo de hinchamiento

Esta parte procede después del ensayo de compactación donde se procede a colocar la muestra en agua con las respectivas sobrecargas para que se produzca el hinchamiento de la muestra, esto es controlado mediante el dial de expansión, el tiempo que debe estar sumergida en agua la muestra es de 4 días y realizar lecturas con el dial cada 24 horas.(Palomino Terán, 2016)

c) Ensayo de carga

Este ensayo se comienza una vez se haya retirado la muestra del agua, se les quita las sobrecargas y se los deja drenar un tiempo aproximado de 15 min hasta programar el

equipo que va a realizar las lecturas de carga. Se obtiene nuevamente muestras de humedad después del remojo.(Palomino Terán, 2016)

3.5 Resistencia al esfuerzo cortante.

Los suelos dentro de cierto limite se comportan bajo las acciones de cargas aplicadas, en algunos casos de materiales ensayados se producen deformaciones que son superiores que las normales cuando ocurre esto se procede a realizar cálculos que se tomen en cuenta la plasticidad del suelo. La muestra del suelo cuando es sometida a un esfuerzo cortante produce un desplazamiento entre las partículas o de una parte de la masa del suelo ensayado con respecto al resto del mismo, estos movimientos dentro de una masa de suelos tienden a ser contrarrestados por la resistencia cortante del suelo.(Villalaz, 2005)

La resistencia al esfuerzo cortante se presenta mediante la ecuación Coulomb:

$$\tau = c + \sigma * \tan\theta$$

Donde,

$\tau =$ Resistencia al corte de suelo

$c =$ Cohesión del suelo

$\sigma =$ Esfuerzo normal

$\tan\theta =$ ángulo de fricción interno

3.5.1 Parámetros geomecánicas del suelo.

3.5.1.1 Ángulo de fricción interno.

Este valor depende de la uniformidad del tamaño, uniformidad, forma y presión normal de las partículas del suelo, este ángulo varía en arenas entre 26° y 45° conforme de va aumentado la compacidad de la compactación. A continuación, se presentan valores

típicos de ángulos internos de diferentes tipos de suelos(López Beteta & López Sevilla, 2016):

Tabla 19 Ángulo de fricción interno para diferentes tipos de suelo.

Ángulo de fricción interno para diferentes tipos de suelos		
Tipos de suelo	Consistencia	Ángulo de fricción interna en grados
Arena gruesa o arena con grava	Compacta	40
	Suelta	35
Arena media	Compacta	40
	Suelta	30
Arena limosa fina o limo arenoso	Compacta	30
	Suelta	25
Limo uniforme	Compacta	30
	Suelta	25
Arcilla-Limo	Suave a mediana	20
Arcilla limosa	Suave a mediana	15
Arcilla	Suave a mediana	0,1
Roca sólida limpia	-	35
Grava, Grava-arena	-	29-31
Arena fina limpia	-	24-19
Limo arenoso	-	17-19
Arcilla consolidada muy rígida	-	22-26
Arcilla medio rígida	-	17-19

Fuente:(López Beteta & López Sevilla, 2016)

3.5.2 Cohesión y cohesión aparente.

3.5.2.1 Cohesión.

La cohesión se define como una medida de cementación entre partículas de suelo, dentro de la mecánica de suelos se utiliza este término como la capacidad de presentar la resistencia cortante producida por la tensión. En suelos granulares no existe ningún tipo de material que pueda producir cementación o adherencia, lo cual se supone es 0 y se les denomina como suelos no cohesivos.(Suárez Díaz, 1998)

3.5.2.1 Cohesión aparente.

En suelos donde no existe saturación, el agua en los poros tiene como resultado una adherencia por fuerzas capilares, este tipo de adherencia desaparece con la saturación.(Suárez Díaz, 1998)

3.5.3 Ensayo de corte directo.

Este tipo de ensayo consiste en determinar la resistencia cortante de un suelo, se realiza el procedimiento bajo la normativa ASTM D3080-11, el cual se necesita una muestra remodelada o inalterada, consiste en colocar dos marcos uno inferior y uno superior que permanecen estático en el ensayo.

Con este ensayo se determina un plano de falla localizado a través de la aplicación de dos fuerzas, la primera se obtiene con la fuerza normal dividido para su área obtiene un esfuerzo vertical, y la otra fuerza se produce se denomina fuerza lateral obteniéndose de la falla de la masa de suelo dividida para el área obteniendo esfuerzo cortante u horizontal. (Villalaz, 2005)

3.5.4 Ensayo triaxial.

El ensayo triaxial es un método confiable para determinar los parámetros de resistencia a corte que tiene la muestra, existen tres tipos de ensayo triaxiales: prueba con consolidación y con drenaje (CD), prueba sin consolidación y sin drenaje (UU) y prueba con consolidación y sin drenaje (CU).(Salas, 2011)

3.5.4.1 Ensayo triaxial sin consolidación y sin drenaje (UU).

En este tipo de ensayo no se permite el drenaje durante la aplicación de la presión por confinamiento y el esfuerzo desviador. Se utiliza el círculo de Mohr.(Suárez Díaz, 1998)

Este ensayo generalmente es llevado sobre especímenes arcillosos, en el cual se resalta la determinación de resistencia para la muestra en suelos saturados cohesivos, donde su resultado se ve reflejado en esfuerzos totales. La envolvente de falla según Mohr se convierte en una línea horizontal y teniendo una condición inicial de un ángulo de fricción igual a 0° , y dando como resultado la resistencia a la corte no drenada (Cu).(Salas, 2011)

3.5.4.2 Ensayo triaxial con consolidación y drenaje (CD).

La principal característica de este ensayo es que los esfuerzos que se van a aplicar sobre la muestra son efectivos, ya que al suelo se le aplica una presión hidrostática porque se mantiene la válvula de la maquina abierta y que transcurra el tiempo necesario para que se produzca una consolidación completa bajo condiciones de presión, cuando se reestablece el equilibrio estático las fuerzas exteriores actúan sobre la fase solida de la muestra, lo que causará que se produzcas esfuerzos efectivos. (Salas, 2011)

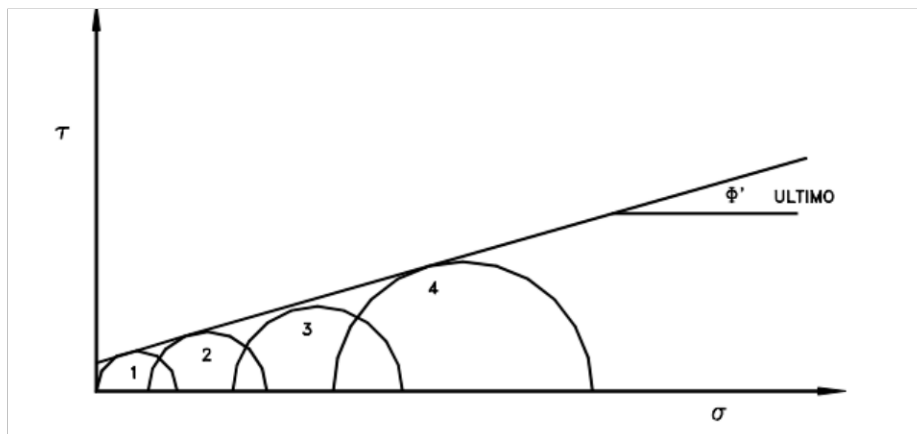
Este tipo de ensayo se realiza generalmente en suelos granulares, pero también se aplica en suelos finos y requieren tiempos prolongados para realizar el ensayo.(Salas, 2011)

3.5.4.3 Ensayo triaxial con consolidación y sin drenaje (CU).

En este tipo de ensayo triaxial la muestra se consolida bajo la presión hidrostática como primer paso, por lo tanto, el esfuerzo pasa a ser efectivo en el cual actúa sobre la fase solida de la muestra, y esta se lleva por un incremento de carga axial lo que produce la falla, de manera que no cambie el volumen de la muestra. Es importante durante este ensayo no permitir ningún tipo de consolidación extra durante el periodo de falla.(Salas, 2011)

Este ensayo se tiene que considerar la medición de poros para que se mantenga el parámetro de cohesión y ángulo de fricción en términos de esfuerzo total y efectivo.(Salas, 2011)

Figura 16 Circulo de Mohr y envolvente de falla de un ensayo triaxial.



Fuente:(Suárez Díaz, 1998)

En la presente tesis se va a realizar en ensayo triaxial UU para las muestras originales extraídas de la Mina La Virginia y Llatcón, por el hecho de que se requiere menos tiempo para realizarlas a diferencia del ensayo triaxial CD y CU que requieren que la muestra se consolide.

3.6 Ensayo de abrasión.

La abrasión se considera una acción mecánica que afecta los elementos de un pavimento, especialmente en superficies de tránsito y conducción de líquidos ya que están expuestos al roce continuo, como es el pavimento, mediante el proceso de desgaste por fricción (RÓMEL G. SOLÍS-CARCAÑO, 2020).

Existen varios factores que influyen en la resistencia al desgaste del material, al presenciar un desgaste en la superficie por las características, se puede concluir que la resistencia de los agregados es directamente proporcional a su calidad de materiales y la

exposición de estos, por lo cual es fundamental que estos sean de buena resistencia. (E., 2017)

Aquí es donde consideramos fundamental evaluar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los agregados ya que afecta directamente al producto en el que se utilizan como constituyente.

Según las Normas ASTM C-131 AASHTO T-96 donde se requiere medir tamaños de agregados grueso-menores de $1^{1/2}$ pulgadas (37,5 mm) para determinar la resistencia a la degradación es indispensable utilizar la máquina de prueba Los Ángeles.

En el caso de necesitar determinar el desgaste de agregados mayor a $3/4$ se utiliza las normas ASTM C-535, ya que el porcentaje de desgaste entre estas difiere. (JAIME & JONATHAN, 2020)

3.6.1 Características de la máquina de Los Ángeles.

Se constituye por un tambor de acero con las medidas establecidas por la normativa correspondientes a 710 ± 6 mm como diámetro interior del tambor y 510 ± 6 mm de longitud se encuentra suspendido en dos vástagos axiales con una inclinación de $1/100$, lateralmente se encuentra acoplado el dispositivo de polea para la adaptación del motor. (ASTM INTERNATIONAL)

La muestra se introduce por una abertura que existe en su manto cilíndrico, la misma cuenta con una tapa contiene un mecanismo para fijarla firmemente en su lugar y que asegure la impermeabilidad al polvo, está estructurado internamente con una plancha de acero desmontable, de manera que tenga una proyección radial en el interior de 90 ± 3 mm. (ALVARO, 2015)

Para estimar su rotación conlleva 30 y 33 revoluciones por minuto y debe estar equilibrada e impulsada para mantener una velocidad periférica uniforme.

Figura 17 Máquina de Los Ángeles.



Fuente:(Equipment, s. f.)

3.6.2 Prueba de abrasión Los Ángeles ASTM C 131.

Esta prueba consiste en realizar un ciclo de revoluciones que incluye la abrasión, el desgaste, y la trituración de los elementos a utilizar en la obra, con esto se consigue medir la degradación y calidad de los materiales, esta prueba se realiza en la máquina de los ángeles, la cual fue previamente descrita para entender este procedimiento.

Dentro del tambor giratorio existe un número específico de esferas de acero, que pesan entre 390 y 445 gramos mientras este tambor gira, un anaquel recoge la muestra y las esferas de acero, en cada revolución y la deja caer en el punto más alto de la revolución con esto se crea un efecto triturador y aplastante de impacto, posteriormente el contenido rueda dentro del tambor giratorio con una acción de abrasión y esmerilado hasta

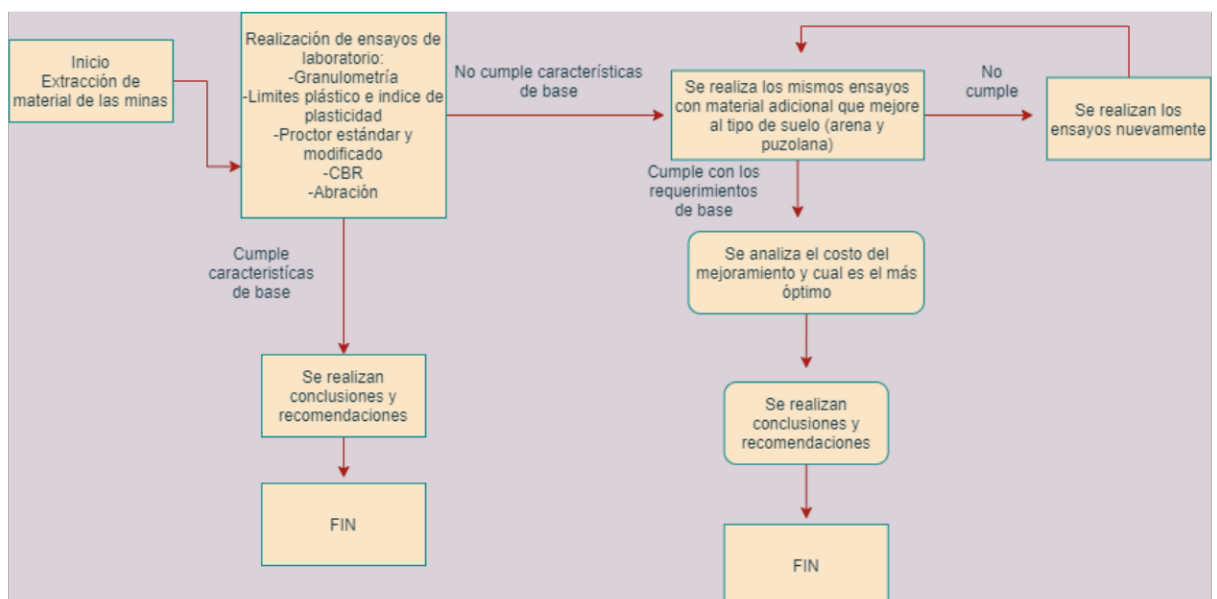
que nuevamente se recoge la muestra y las esferas de acero repitiendo esta revolución. (ALVARO, 2015)

Existe un numero estandarizado de revoluciones mediante la norma, al finalizar se retira el contenido para tamizar el resultado de este procedimiento, obteniendo así la medida de degradación y el porcentaje de perdida de la muestra, es importante que la relación entre la perdida por desgaste no exceda de 40% para materiales de consistencia uniformes al cabo de 500 revoluciones.

3.7 Metodología para la investigación en los ensayos de laboratorio

En la siguiente imagen se describirá mediante un diagrama de flujo la metodología llevada a cabo para la realización y análisis de ensayos realizados en laboratorio.

Figura 18 Diagrama de flujo para metodología de ensayos.



Fuente: Autoría propia

4. CAPITULO IV

ESTABILIZACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LOS MATERIALES

4.1 Ensayos de laboratorio.

4.1.1 Resultados de análisis granulométrico.

Este ensayo se realizó tanto al material de la mina de Llatcón como al de la Virginia, el cual esta normado por la Norma técnica Ecuatoriana INEN 696:11 y por normas internacionales ASTM C 136-01.

4.1.1.1 Granulometría Mina La Virginia.

En la siguiente tabla se observa el análisis granulométrico del material de la mina La Virginia:

Tabla 20 Análisis granulométrico material de la Mina La Virginia.

Material Mina La Virginia		
ABERTURA		%
TAMIZ Nº	MM.	PASA
3"	76,2	100,00
2 1/2"	63,5	100,00
2"	50,8	100,00
1 1/2"	38,1	100,00
1"	25,4	98,08
3/4"	19,1	85,98
1/2"	12,7	71,80
3/8"	9,52	63,99
Nº4	4,76	43,71
PASA No4		
8	2,36	36,42
10	2	34,81
16	1,18	30,15
20	0,85	27,22
30	0,6	24,34
40	0,42	21,49
50	0,30	19,16
100	0,15	14,73
200	0,074	11,54
FONDO		10,860

Fuente: Autoría propia

Según la tabla 20 se puede observar que el material de la Virginia tiene un tipo de agregado uniforme, el cual tiene un pasante de material fino de 11.54%, de material grueso de 56.29% y de material fino de 32.17%.

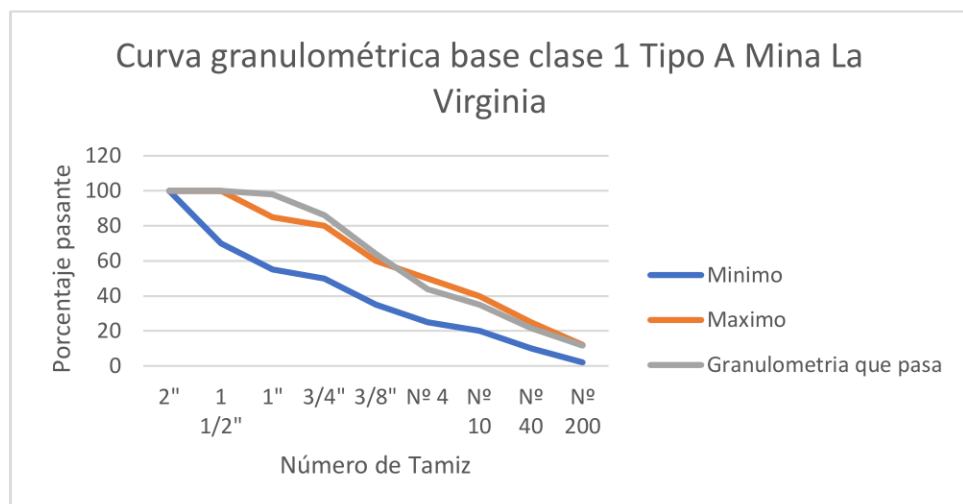
4.1.1.2 Análisis de curvas granulométricas para base material de la mina La Virginia (norma MOP-001-F-2002, 2002).

Para analizar las curvas granulométricas anteriormente se expusieron los límites máximos y mínimos para poder clasificar el tipo de suelo según corresponda, en los ensayos se va a comparar el análisis granulométrico con las curvas granulométricas para material de base.

a) Curva granulométrica base clase 1 tipo A mina La Virginia.

A continuación, se va a comprar los límites granulométricos según las curvas granulométricas según la normativa, en la siguiente figura se puede observar los resultados obtenidos.

Figura 19 Curva granulométrica para base clase 1 Tipo A.



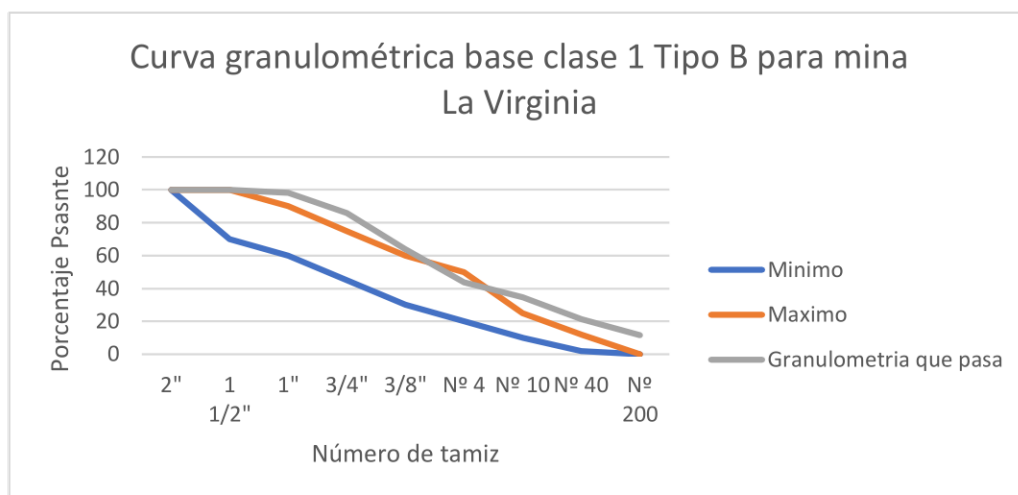
Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la curva granulométrica que el porcentaje pasante del material de la mina no calza como clase 1 tipo A de base, especialmente en la parte del agregado grueso.

b) Curva granulométrica base clase 1 tipo B mina la Virginia.

A continuación, con el análisis granulométrico, se va a comparar para que se ajuste como una base clase 1 tipo B establecida en la normativa, en la siguiente figura se puede observar los resultados obtenidos.

Figura 20 Curva granulométrica para base clase 1 tipo B.



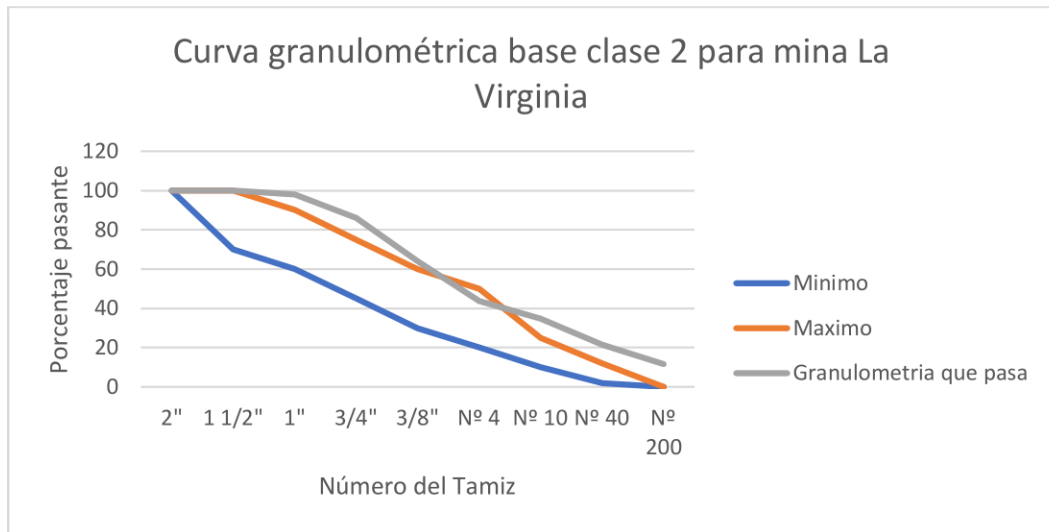
Fuente: Autoría propia

Como se puede observar en la imagen, la granulometría del material de la mina La Virginia no calza dentro de los límites para base clase 1 tipo B.

c) Curva granulométrica base clase 2 mina La Virginia.

Se va a analizar en la siguiente figura si se ajusta la granulometría del material como base clase 2, establecido los límites máximos y mínimos en la normativa.

Figura 21 Curva granulométrica base clase 2.



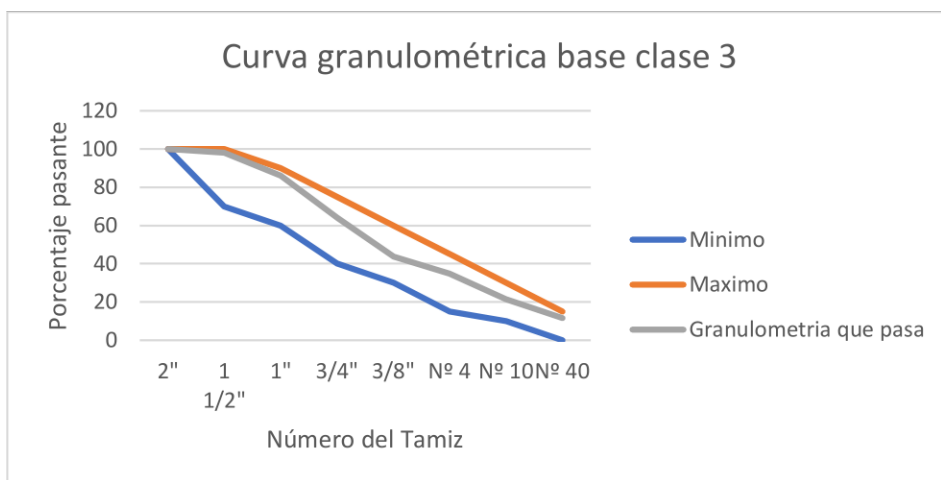
Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la figura 21, que el porcentaje pasante de la granulometría no calza como base clase 2, en los límites para agregados finos ni para agregado grueso.

d) Curva granulométrica para base clase 3 mina La Virginia.

En la siguiente figura se a analizar si el análisis granulométrico del material se ajusta como una base clase 3 establecido los límites máximos y mínimos en la normativa.

Figura 22 Curva granulométrica para base clase 3.



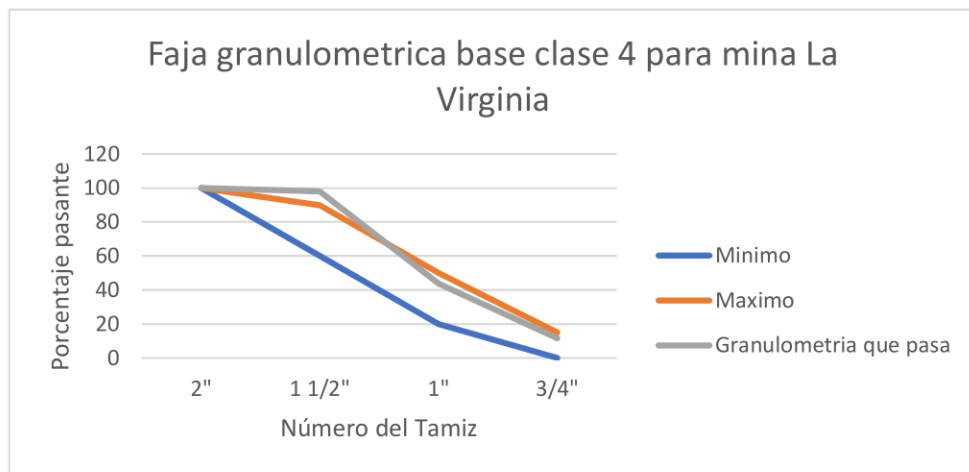
Fuente: Autoría propia

Se puede observar que en este tipo de base clase 3 la granulometría para el material se ajusta; no obstante, en la parte de agregado fino calza de buena manera, pero en la parte de agregado grueso esta casi al límite del máximo lo cual se podría poner menor porcentaje de material grueso para que se ajuste de mejor manera.

e) Curva granulométrica para base clase 4 mina La Virginia.

En la siguiente figura se a analizar si el análisis granulométrico del material se ajusta como una base clase 4 establecido los límites máximos y mínimos en la normativa.

Figura 23 Curva granulométrica para base clase 4.



Fuente: Autoría propia

Se puede observar que el material extraído de la mina La Virginia no se adapta como material de base clase 4, en la parte del agregado grueso y para el agregado fino está rozando al límite máximo.

4.2.2.1 Granulometría mina Llatcón.

En la siguiente tabla se observa el análisis granulométrico de la mina Llatcón:

Tabla 21 Análisis granulométrico material de la Mina Llatcón.

Material Mina La Llatcón		
ABERTURA		%
TAMIZ Nº	MM.	PASA
3"	76,2	100,00
2 1/2"	63,5	100,00
2"	50,8	100,00
1 1/2"	38,1	100,00
1"	25,4	97,01
3/4"	19,1	90,58
1/2"	12,7	75,67
3/8"	9,52	62,87
Nº4	4,76	37,27
PASA No4		
8	2,36	28,46
10	2	26,38
16	1,18	21,48
20	0,85	19,01
30	0,6	17,03
40	0,42	15,38
50	0,30	14,10
100	0,15	11,73
200	0,074	9,86
FONDO		9,169

Fuente: Autoría Propia

Según la tabla 21 se puede observar que el material de la mina de Llatcón tiene un tipo de agregado uniforme, el cual tiene un pasante de material fino de 9.86% y material grueso 62.73% y un porcentaje de arena del 27.4%. Ver anexo 2

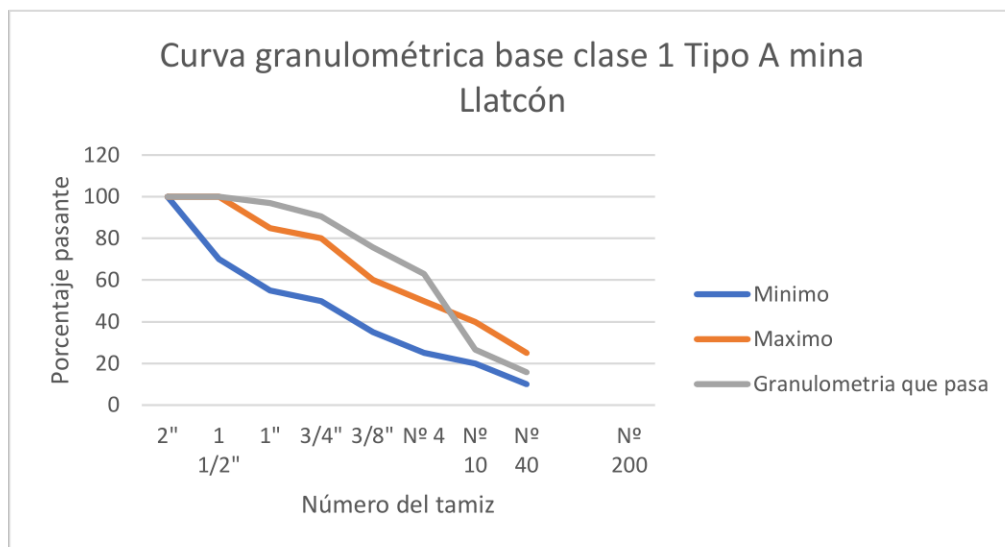
4.2.2.2 Análisis de curvas granulométricas para base material de la mina Llatcón (norma MOP-001-F-2002).

A continuación, se va a analizar si el material extraído de la mina de Llatcón calza como material base, se va a analizar mediante las curvas granulométricas que son establecidas por las especificaciones técnicas anteriormente mencionadas.

a) Curva granulométrica para base clase 1 tipo A mina de Llatcón.

En la siguiente figura se va a analizar si el análisis granulométrico del material se ajusta como una base clase 1 tipo A establecido los límites máximos y mínimos en la normativa.

Figura 24 Curva granulométrica para base clase 1 tipo A.



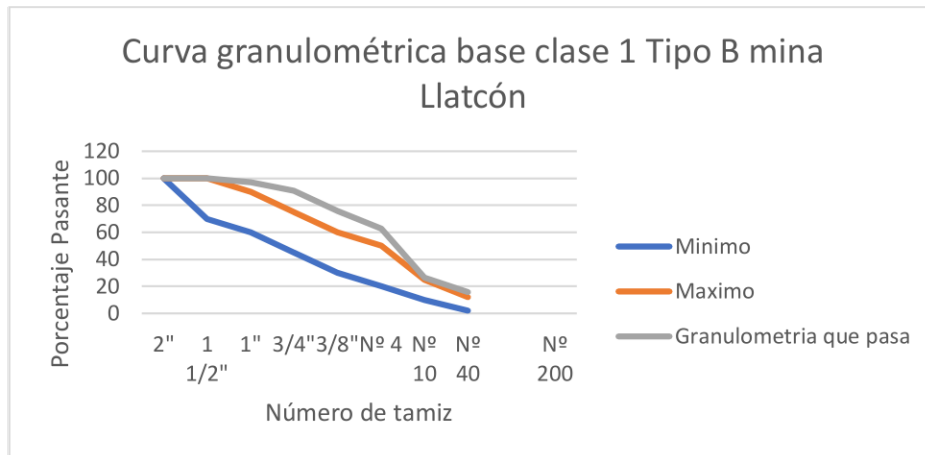
Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la imagen que el material de la mina Llatcón no se ajusta como base clase 1 tipo A, especialmente en la parte del agregado grueso.

b) Curva granulométrica para base clase 1 tipo B mina de Llatcón.

En la siguiente figura se va a analizar si el análisis granulométrico del material calza como una base clase 1 tipo B establecido los límites máximos y mínimos en las especificaciones técnicas.

Figura 25 Curva granulométrica base clase 1 tipo B.



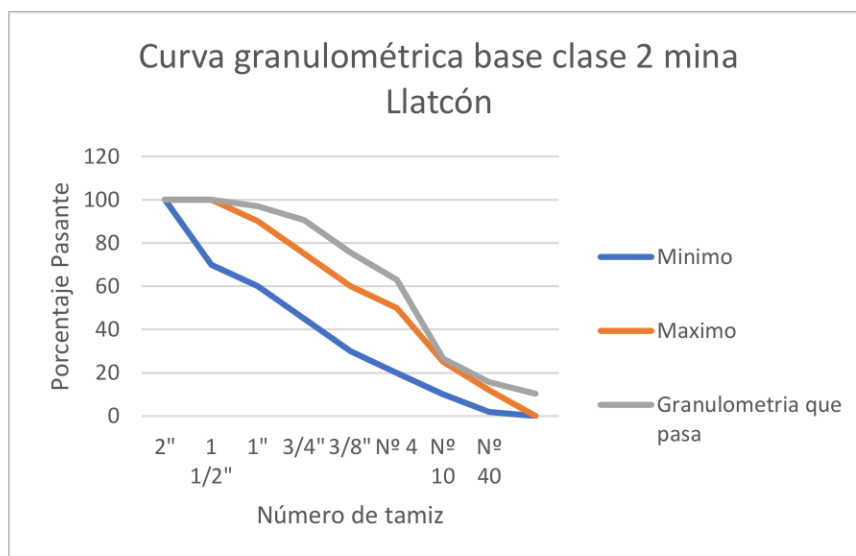
Fuente: Autoría propia

Se puede observar que la granulometría pasante del material de Llatcón no se ajusta como base clase 1 tipo B, sobrepasando los límites máximos del agregado fino y grueso.

c) Curva granulométrica para base clase 2 mina de Llatcón.

En la siguiente figura se va a analizar si el análisis granulométrico del material calza como una base clase 2 establecido los límites máximos y mínimos en las especificaciones técnicas.

Figura 26 Curva granulométrica para base clase 2.



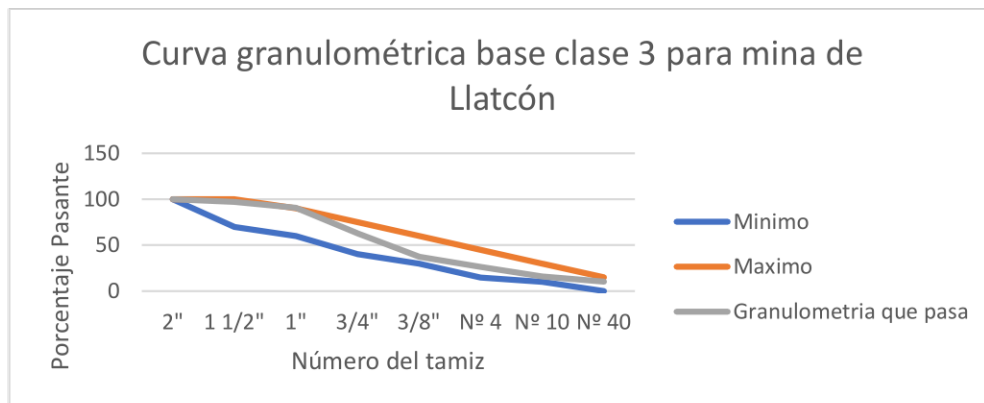
Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la imagen que la granulometría de la mina Llatcón no se ajusta como base clase 2, tanto en los límites máximos y mínimos de la curva.

d) Curva granulométrica para base clase 3 mina de Llatcón.

En la siguiente figura se a analizar si el análisis granulométrico del material se ajusta como una base clase 3 establecido los límites máximos y mínimos en la normativa.

Figura 27 Curva granulométrica base clase 3.



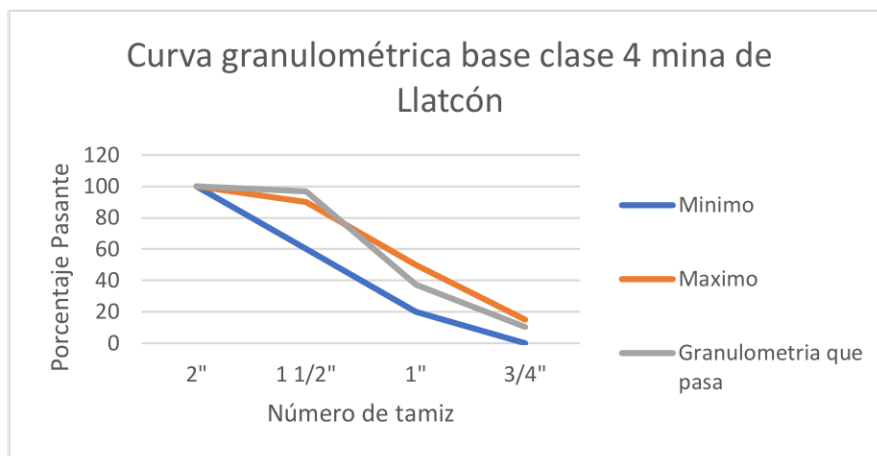
Fuente: Autoría Propia.

Se puede observar en la imagen que el material extraído de la mina de Llatcón, se observa que está rozando los límites máximos de la parte del agregado grueso, pero cuando va disminuyendo el tamiz se ajusta de mejor manera para una base clase 3, lo cual se podría recomendar aumentar agregado grueso de 1" para disminuya la parte de la curva y se ajuste de forma óptima.

e) Curva granulométrica base clase 4 mina de Llatcón.

En la siguiente figura se va a analizar la granulometría del material de la mina de Llatcón para comprobar si calza como base clase 4, estos límites son establecidos en las especificaciones técnicas de la MTOP.

Figura 28 Curva granulométrica base clase 4.



Fuente: Autoría propia

Se puede observar que el material extraído de la mina de Llatcón no se ajusta como base clase 4 especialmente en el material grueso.

4.3 Límites de Atterberg.

Los límites de Atterberg son un tipo de ensayos que están normalizados en base a la norma ASTM D4318. En la siguiente tabla se puede observar los límites de Atterberg obtenidos de la mina de Llatcón y La Virginia.

Tabla 22 Límites de Atterberg de minas Llatcón y la Virginia.

Límites de Atterberg	Mina Llatcón	Mina La Virginia	Normativa MOP-001-F-2002
Límite Líquido	29,90%	19,60%	Menor a 25
Límite Plástico	20,13%	11,69%	No Especifica
Índice plástico	9,07	7,91	Menor a 6

Fuente: Autoría propia

En la tabla 22 se puede observar que los límites líquidos tienen una gran diferencia entre sí y de igual manera el límite plástico, con esta información se procede a clasificar el suelo según AASHTO y SUCS, además de eso por el índice de plasticidad también se puede saber que tiene baja plasticidad ya que en la carta de plasticidad del método SUCS está por debajo del 10%, en ambos casos. Ver anexo 3 y 4.

4.4 Clasificación de suelo.

Una vez realizado el ensayo granulométrico se procede a clasificar a el tipo de suelo que pertenece según los métodos: AASHTO y SUCS.

Tabla 23 Clasificación de suelos.

Muestra	Clasificación		
	AASHTO	Índice de grupo	SUCS
Llatcón	A-2-4	0	GC
La Virginia	A-2-4	0	GC

Fuente: Autoría propia

Se puede observar que las muestras de las dos minas tienen una igual clasificación, en SUCS quiere decir que es una muestra grava arcillosa, esto significa como se especificó anteriormente que tiene un índice plástico mayor a 7 y su porcentaje de finos es mayor al 12%. En la clasificación AASHTO ambas muestras pertenecen a un grupo A-2-4 que

quiere decir que es una limo o grava arcillosa y arena y un material de excelente a bueno, con índice de grupo 0.

4.5 Ensayo Proctor estándar y modificado.

Los ensayos de compactación como Proctor estándar y modificado están regidos por la norma americana ASTM D698 y 1557, para realizar este ensayo se necesitó 5 muestras de cada mina cada muestra con un peso de 5550 gramos y se aumentó diferentes centímetros cúbicos de agua a diferente muestra, para alcanzar su humedad optima.

Tabla 24 Ensayo Proctor estándar y modificado.

Material	Proctor estandar		Proctor Modificado	
	Humedad optima	Densidad seca máx (kg/m3)	Humedad Optima	Densidad seca máx (kg/m3)
Mina Llatcón	12,90%	1955	8,40%	2065
Mina La Virginia	10,60%	2200	8,80%	2175,5

Fuente: Autoría propia

De acuerdo a los resultados se simula la energía de compactación la que el material debería ser compactado, el ensayo de Proctor modificado simula una compactación de equipos pesados y el estándar livianos, también se puede observar que ambos casos de material la humedad optima disminuye en el Proctor modificado a diferencia del Proctor estándar, de igual manera la densidad máxima hay cambios en los ensayos en la mina de Llatcón aumenta la energía con el Proctor modificado y en la mina la virginia disminuye la energía de compactación con el Proctor modificado a diferencia del estándar. Ver anexo 5,6,7 y 8.

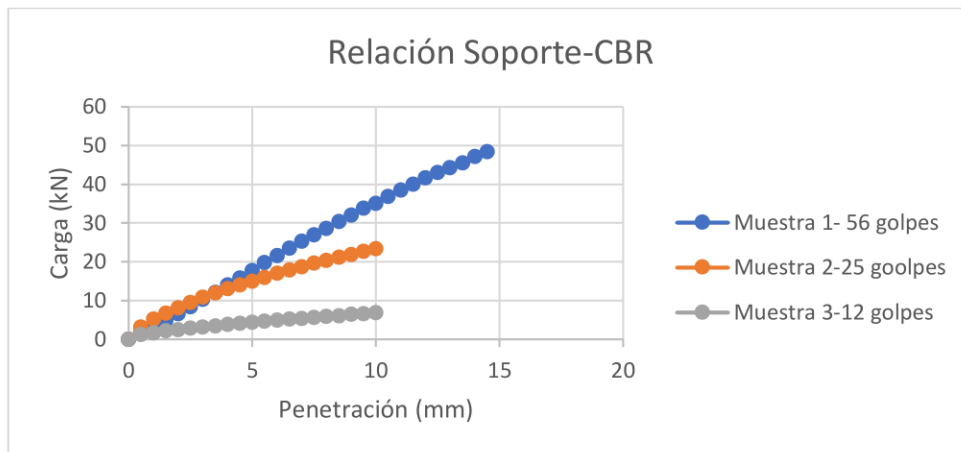
4.6 Ensayo CBR.

Este ensayo es tiene de objetivo cuantificar la capacidad de resistencia del suelo para colocarlo como parte de una capa de rodadura, se realiza bajo condiciones de humedad optima, obtenida en el ensayo Proctor y densidad.

4.6.1 Ensayo CBR mina La Virginia.

Se realiza el ensayo de CBR en la mina el virginia, con 3 muestras compactadas, a diferente energía de compactación a 12,25 y 56 golpes cada muestra y se analiza cual es la penetración a 2.5mm y 5mm en las 3 muestras, se escoge la mayor entre las muestras y es el porcentaje de CBR que se va a obtener.

Figura 29 Relación Soporte-CBR.



Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la tabla que las curvas con cóncavas, en caso de tener una curva convexa se procede a realizar la debida corrección para obtener la carga de penetración con su debida profundidad. Ver anexo 9.

Tabla 25 Carga de penetración.

PENETRACION	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
2,5 mm	63,41	71,36	21,21
5,0 mm	88,45	75	21,8

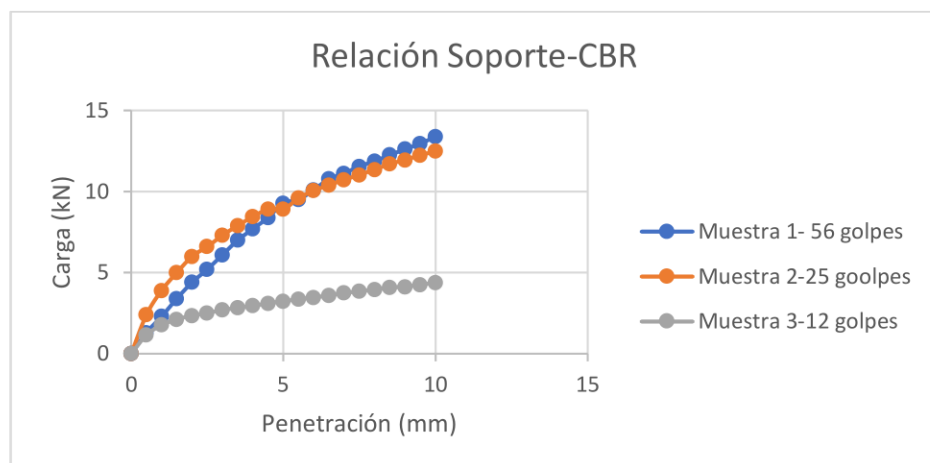
Fuente: Autoría propia

Aquí se procede a escoger en relación con la penetración cada muestra, como se observa en la tabla todas las cargas son mayores a los 5mm, se escoge un porcentaje de CBR de 88.45% para la mina La Virginia.

4.6.2 Mina Llatcón.

Se repite el procedimiento de la mina anterior para este material, de igual manera de tiene 3 muestras que se va a compactar a diferente energía, golpes de 12,25 y 56 golpes y analizar su relación soporte para poder obtener la carga a en diferentes puntos de penetración.

Figura 30 Relación soporte-CBR.



Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la tabla que se necesita una carga similar para la muestra de 25 golpes a la de 56 golpes, en la realización del ensayo de pudo observar como el material se disgregaba cuando se aplicaba mayor energía de compactación, se debe verificar que las curvas en la gráfica sean cóncavas ya que si existiera una curva convexa se realizará una corrección para verificar la carga de penetración. Ver anexo 10.

Tabla 26 Carga de penetración.

PENETRACION	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
2,5 mm	39,39	50,00	19,02
5,0 mm	46,4	44,5	16,15

Fuente: Autoría propia

Para elegir la relación de soporte se analiza el mayor entre la profundidad de penetración, en este caso es mayor en dos muestras a 2.5mm, se procede a elegir un CBR de 50% para la mina de Llatcón.

4.7 Corte Directo.

Este ensayo se realiza bajo la norma americana ASTM D380-11, se realizaron 3 muestras de cada material extraído en las minas.

Tabla 27 Resultados de corte directo.

Material	Cohesión (Kg/cm ²)	Angulo de fricción interno
Mina Llatcón	0,6	47,32°
Mina Virginia	1	47,87°

Fuente: Autoría propia

En este ensayo de corte directo se puede observar que los ángulos de fricción interna son parecidos entre minas, en los cuales se les puede categorizar como grava con arena, y la cohesión la cual se obtiene es 1 kg/cm² en caso del material de la Virginia y en el caso de Llatcón es de 0.6 kg/cm², pero se toma en cuenta que es una cohesión aparente ya que es un material granular. Ver anexo 20,21,22,23,24,25,26 y 27.

4.7.1 Ensayo triaxial sin consolidación y sin drenaje UU.

Este ensayo sigue la norma americana ASTM D-2850, en la siguiente tabla se observan los resultados obtenidos del ensayo de cada mina.

Tabla 28 Ensayo triaxial no consolidado no drenando UU.

Muestra	Cohesión Aparente (kg/cm ²)	Angulo de fricción
Mina Llatcón	0,1	54,77°
Mina La Virginia	2,3	35,81°

Fuente: Autoría propia

Se puede observar que los resultados obtenidos del ensayo triaxial tienen una cohesión aparente debido a que son suelos granulares, en el caso de Llatcón la cohesión es de 0,1 kg/cm² y en el caso de la Virginia tiene una cohesión aparente de 2.3 kg/cm² y ángulos de fricción próximos entre los materiales obtenidos de diferentes minas esto obteniendo resultados favorables de acuerdo a la energía aplicada para la compactación. Ver anexo 12,13,14,15,16,17,18 y 19.

4.8 Ensayo de abrasión.

También llamado ensayo de los ángeles este ensayo esta normado por la norma americana ASTM C131.

Tabla 29 Ensayo de abrasión.

Material	% de desgaste	Normativa MOP-001-F-2002
Mina Llatcón	30%	Menor o igual a 40%
Mina La Virginia	27%	

Fuente: Autoría propia

Como se puede observar en la tabla 29, el porcentaje de desgaste de la mina de Llatcón es del 30% y de la mina de La Virginia es del 27% esto quiere decir que tiene una capacidad buena de resistencia a la trituración, para ser un material catalogado como base que va a ser utilizado en vías. Ver anexo fotográfico 79. Ver anexo 11.

4.9 Interpretación de resultados.

Una vez concluidos todos los ensayos preliminares se procede analizar los resultados y compararlos con la normativa MOP-001-F-2002 para poder verificar si cumplen con los requisitos establecidos para utilizar el material como base, en caso que no cumplan se estabilizará el material con otro tipo de material y mejorar sus características.

Tabla 30 Análisis de los ensayos realizados.

Ensayo	Mina La Virginia	Mina Llatcón	Norma MOP-001-F-2002
Límite Líquido	19,6	29,2	Menor a 25
Índice Plástico	7,9	9,07	Menor a 6
CBR	88,45%	50%	Mayor o igual a 80%
Ensayo de abrasión	27%	30%	Menor a 40%

Fuente: Autoría propia

Con estos resultados se puede observar que para el caso de la Mina La Virginia cumple con los requisitos de CBR, límite líquido y abrasión, para poder mejorar el índice plástico ya que no cumple, pero no tiene una diferencia significativa se procede a mezclar el material de la mina con puzolana y arena fina.

Para la mina de Llatcón se observa que cumple solamente con el ensayo de abrasión, para poder mejorar las condiciones del material y se ajuste a una base, se va a estabilizar con material grueso de la mina del Gobierno Provincial del Azuay “La Virginia”, puzolana y arena, para obtener mejores resultados.

4.10 Descripción de los procesos de mejoramiento del material.

Se elige estabilizar con materiales no plásticos (arena y puzolana) para reducir el índice plástico ya que con las características de estos materiales se reduce la compresibilidad del suelo y se evita cambios volumétricos significativos de los materiales de las minas La Virginia y Llatcón los cuales deben cumplir con las especificaciones técnicas del MOP-001-F-2002 que deberán ser menor a 6, también en el caso de la mina de Llatcón aplicando estos materiales se espera reducir el límite líquido.

Para aumentar el CBR en la mina de Llatcón se coloca material grueso de la mina de la Virginia, ya que el material de Llatcón tiene mayor porcentaje de agregado fino lo que causa que se obtenga un menor porcentaje de CBR, al añadir grava se aumenta la

resistencia y por lo tanto también va a mejorar las características de compactación del material.

Los porcentajes que se van a utilizar para mejorar el material fueron obtenidos a través de ensayos de prueba y error; previamente se realizó una revisión bibliográfica de estudios experimentales con el mismo material que va a ser empleado en este estudio, según la tesis de Villalta y Chang en Estudio experimental de las propiedades físicas, mecánicas y resistencias de suelos arcillosos mediante el uso de puzolana natural, polvo de ladrillo y goma de guar en San Cristóbal- Huancavelica, ellos comenzaron con un análisis de un porcentaje del 5% dependiendo de las propiedades de su material estudiando, cuando aumentan este porcentaje del material con puzolana no se logra que disminuya de manera significativa el índice plástico que es lo que se busca en este estudio, comparando con los resultados obtenidos de esta tesis de los ensayos realizados anteriormente se inicia los ensayos con un porcentaje del 10% en caso de la puzolana. (Villalta Vergara & Chang Bernal, 2020)

Con los resultados obtenidos de los ensayos realizados, en la mina La Virginia se va a realizar una estabilización mecánica-química la cual trata en mezclar puzolana en porcentajes del 10% y de arena fina con un porcentaje del 12%, estos dos materiales se va a pasar el tamiz N°40 para obtener un índice de plasticidad menor al 6 para que cumpla con los requisitos según la normativa MOP-001-F-2002 para que cumpla los requisitos como una base, se va a realizar ensayos de granulometría, Proctor modificado, límites de Atterberg y corte directo.

De igual manera para el material de la mina de Llatcón se va a necesitar estabilizar el material con materia grueso de la mina la Virginia pasante 1/2” con un porcentaje del

15%, con arena fina y puzolana con un porcentaje del 20%, se va a buscar reducir el límite plástico e índice de plasticidad, aumentar el CBR con el material grueso y conocer la humedad optima mediante el ensayo de Proctor modificado, se inició con un porcentaje de puzolana del 12% pero no se obtuvo resultados favorables, entonces se aumentó el porcentaje hasta obtener un resultado que se ajuste a los objetivos de la tesis, se propuso el mismo porcentaje de la arena. Ver anexo 45.

4.11 Análisis de los resultados del mejoramiento del material.

4.11.1 Mina la Virginia.

4.11.1.1 Límites de Atterberg para mina La Virginia.

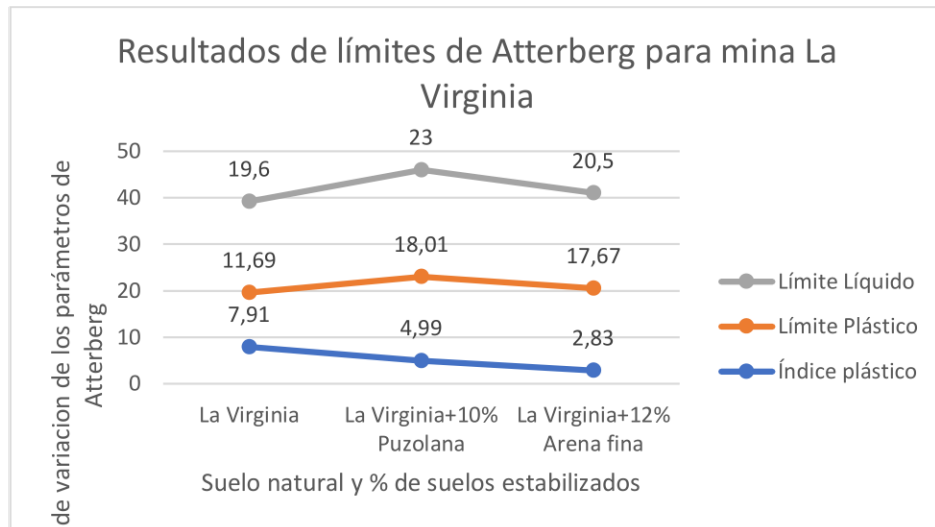
Para estos ensayos se realizó con dos tipos de material, que es puzolana pasante del tamiz N°40 a un porcentaje del 10% del peso total del material y de arena fina de igual manera pasante del tamiz N°40 con un porcentaje del 12% del material para verificar con cual se obtiene mejor resultado y próximamente hacer una relación costo-beneficio de cada agregado que se utilice para estabilizar.

Tabla 31 Límites de Atterberg para mina la Virginia.

Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice plástico
La Virginia	19,6	11,69	7,91
La Virginia+10% Puzolana	23	18,01	4,99
La Virginia+12% Arena fina	20,5	17,67	2,83

Fuente: Autoría Propia

Figura 31 Resultados de los límites de Atterberg.



Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la tabla e imagen que con los porcentajes de la mina La Virginia+ puzolana al 10% el índice de plasticidad disminuyó de un valor inicial de 7.91 a 4.99 lo cual representa alrededor de un 35% de disminución del índice de plasticidad, esto se considera un resultado positivo ya que cumple con lo establecido en las especificaciones técnicas del MTOP, además de reducir la compresibilidad del material y disminuir las posibles variaciones volumétricas que se producen al contacto con el agua. El ligero incremento en el límite líquido de 19.6 a 23 es considerado positivo ya que la capacidad de cambiar del material de estado sin pasar a un estado líquido, sino más bien plástico, y de acuerdo con normativa se exige que el límite líquido sea menor a 25 lo cual cumpliría los requisitos para que se le pueda clasificar como base.

Con la mina La Virginia+12% de arena fina se puede observar una disminución del índice plástico de un valor inicial de 7.91 a 2.83, lo cual representa un 65% de disminución del índice plástico, esto indicaría una ligera y casi nula plasticidad, este parámetro en las especificaciones técnicas del MTOP se establece que debe ser menor a 6 cumpliendo este requisito. Se puede indicar que estos valores significan que existe una

baja capacidad de compresibilidad del material, así como no existirá variaciones en el volumen cuando el material este en contacto con el agua. Ver anexo 30 y 31.

4.11.1.2 Ensayos granulométricos.

A continuación, se realizaron nuevos ensayos granulométricos con el material estabilizador que es el caso de la puzolana al 10% y la arena al 12% para obtener nuevas curvas granulométricas esto basándose en la normativa MOP-001-F-2002.

4.11.1.2.1 Material de la mina La Virginia+10% Puzolana.

En la siguiente tabla se observa el análisis granulométrico para el material de la mina La Virginia con puzolana, en donde se procederá a analizar el cambio de su granulometría en las curvas correspondientes con respecto a el material sin mejoramiento.

Tabla 32 Granulometría la Virginia+10% Puzolana.

Material Mina La Virginia+10% Puzolana		
ABERTURA		%
TAMIZ Nº	MM.	PASA
3"	76,2	100,00
2 1/2"	63,5	100,00
2"	50,8	100,00
1 1/2"	38,1	100,00
1"	25,4	98,52
3/4"	19,1	89,43
1/2"	12,7	75,83
3/8"	9,52	68,97
Nº4	4,76	52,99
PASA No4		
8	2,36	48,80
10	2	47,54
16	1,18	43,30
20	0,85	40,48
30	0,6	37,84
40	0,42	35,34
50	0,30	31,32
100	0,15	21,18
200	0,074	15,80
FONDO		15,159

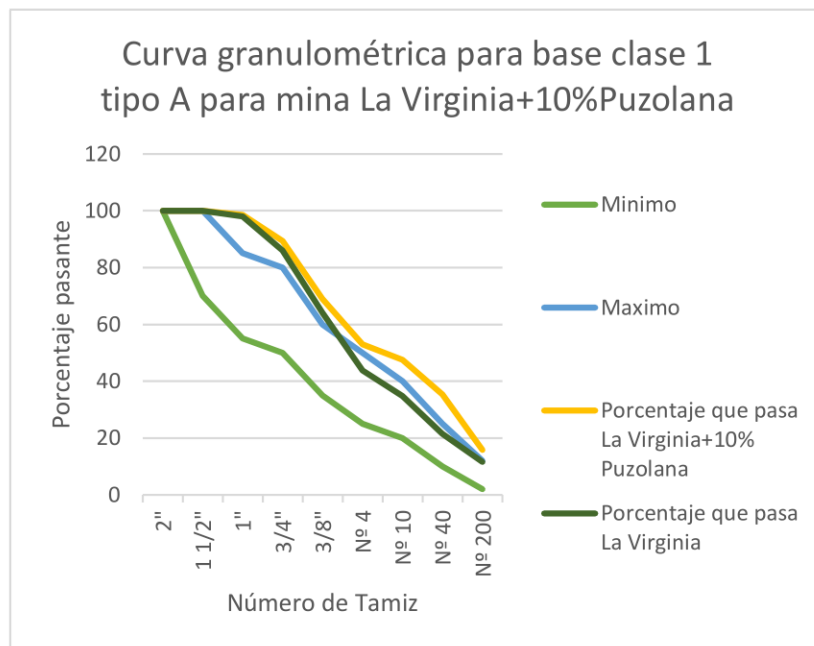
Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la tabla, que el porcentaje retenido en gravas es un total de 47.01%, el porcentaje de arena es de 37.18% y de porcentaje de finos de 15.80% de Ver anexo 29.

a) Curva para base clase 1 tipo A La Virginia+10% Puzolana.

Una vez obtenida la nueva granulometría se procede a clasificar a que tipo de base pertenece, dependiendo de la normativa establecida, para que el material se ajuste como una base clase 1 tipo A.

Figura 32 Curva granulométrica base clase 1 tipo A.



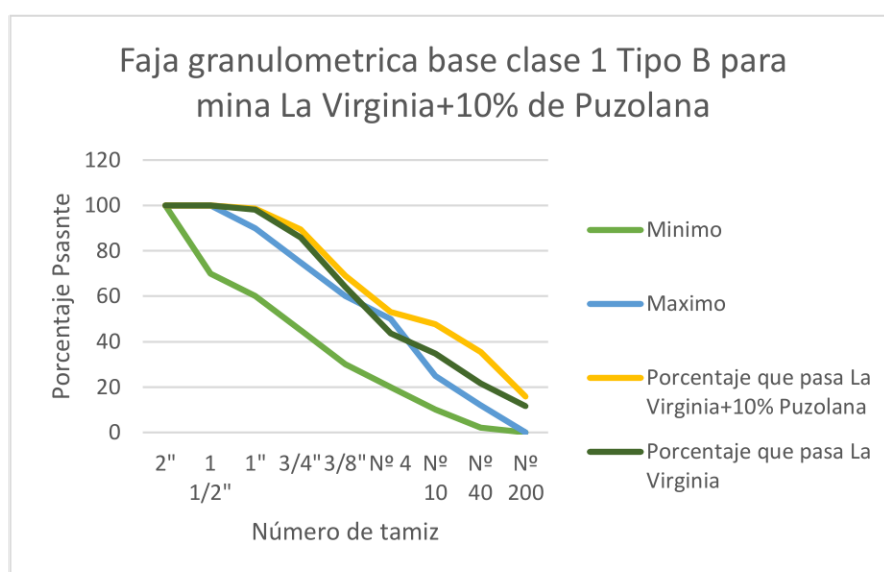
Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la imagen la línea amarilla representa el porcentaje que pasante del material de la Virginia+10% de puzolana, en la cual no se ajusta a los límites máximos ni mínimos para una base clase 1 tipo A en comparación del material de la Virginia sin añadir ningún material tampoco de ajusta.

b) Curva granulométrica base clase 1 tipo B la Virginia+10% Puzolana.

En la siguiente figura se va a determinar si el análisis granulométrico del material se ajusta como una base clase 1 tipo B establecido los límites máximos y mínimos en la normativa.

Figura 33 Curva granulométrica base clase 1 tipo B.



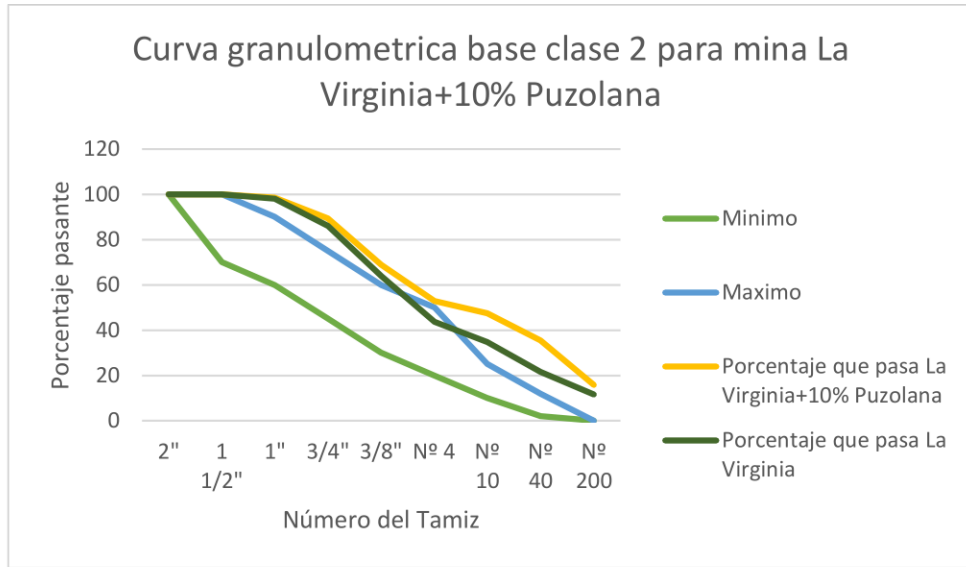
Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la figura que de igual manera que el caso anterior la curva granulométrica no se ajusta para este tipo de base, ya que sobrepasa los límites máximos.

c) Curva granulométrica para base clase 2 la Virginia+10% Puzolana.

En la siguiente figura se va a establecer si la granulometría del material se ajusta como una base clase 2 establecido los límites máximos y mínimos en la normativa.

Figura 34 Curva Granulométrica base clase 2.



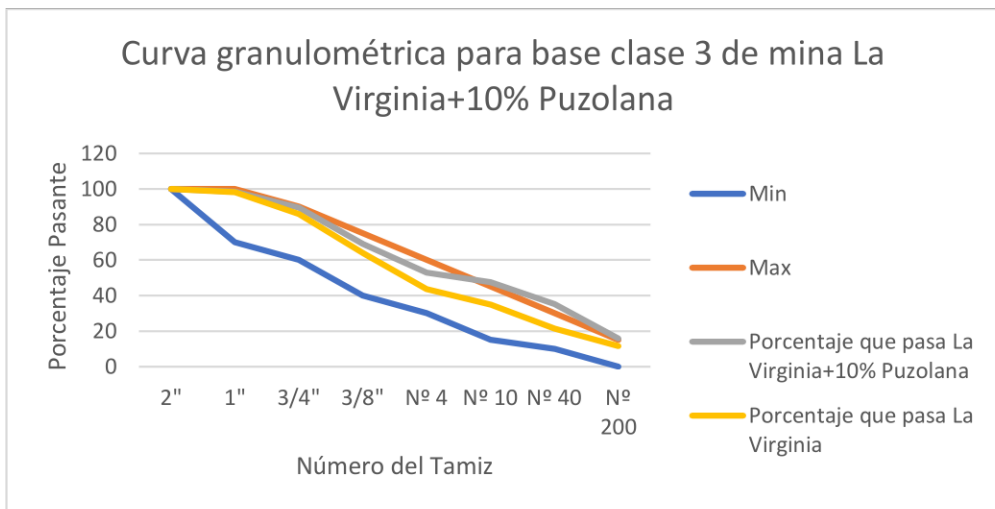
Fuente: Autoría propia

Se puede observar que, en la imagen, no se ajusta la granulometría para clasificarse como base clase 2.

d) Curva granulométrica base clase 3 la Virginia+10% Puzolana.

En la siguiente figura se establecerá si la granulometría del material se ajusta como una base clase 3 establecido los límites máximos y mínimos en la normativa.

Figura 35 Curva granulométrica base clase 3.



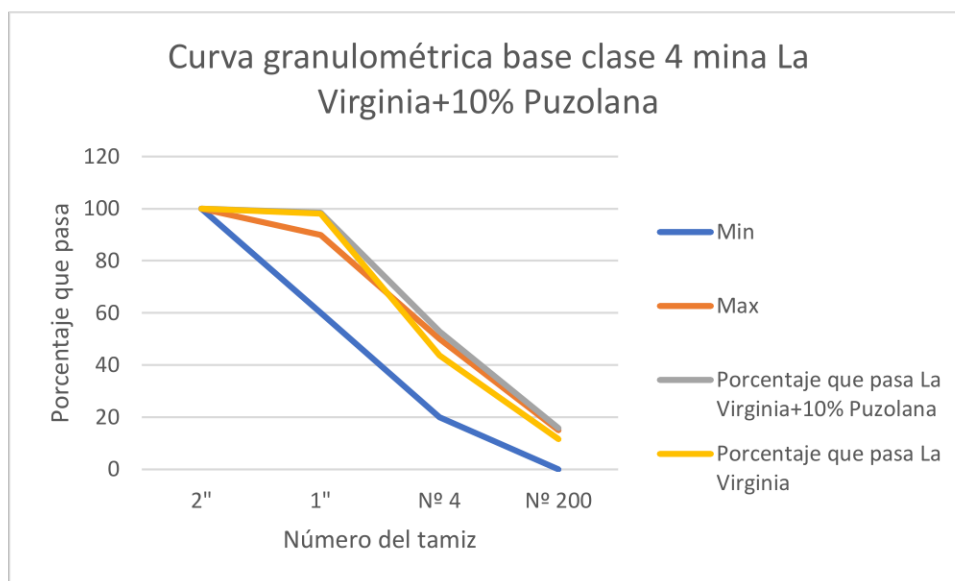
Fuente: Autoría propia.

Se puede observar en la imagen que no se ajusta para base clase 3 para el pasante de la Virginia+10% Puzolana, en la parte de agregado fino no se ajusta entre los tamices N°4 y N°40 ya que sobrepasa los límites máximos; no obstante, la curva granulométrica del material de La Virginia sin añadir otro material si se ajusta para una base clase 3, pero como se mencionó anteriormente igualando los límites para la fracción gruesa.

e) Curva granulométrica base clase 4 la Virginia+10% Puzolana.

En la siguiente figura se va a analizar si la granulometría del material se ajusta como una base clase 4 establecido los límites máximos y mínimos en la normativa.

Figura 36 Curva granulométrica base clase 4.



Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la imagen que no se ajusta como base clase 4 la línea de color plomo es que el pasante de la Virginia+10% de puzolana, pero de igual manera no se ajusta el material de la Virginia sin añadir ningún otro material, en la parte del agregado grueso.

4.11.2 Clasificación de los suelos mina La Virginia.

Para poder clasificar los suelos se utilizó la metodología antes mencionada AASHTO y SUCS la cual se especificará en la siguiente tabla a que grupo pertenece cada muestra.

Tabla 33 Clasificación de suelo para material de la Mina La Virginia.

Muestra	Clasificación		
	AASHTO	Indice de Grupos	SUCS
La Virginia	GC	0	A-2-4
La Virginia+10% Puzolana	GM	0	A-1-a
La Virginia+12% Arena fina	GM	0	A-1-b

Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la tabla número 34 que cuando se añade puzolana o arena fina cambia su clasificación tanto como en el método AASHTO y SUCS ya que existe más material fino donde cambiaron los índices de plasticidad y la granulométrica respectiva. Lo cual se puede clasificar según SUCS como una grava limosa y según AASHTO como una grava y un material de excelente a bueno, con índice de grupo 0.

4.11.3 Proctor modificado mina La Virginia.

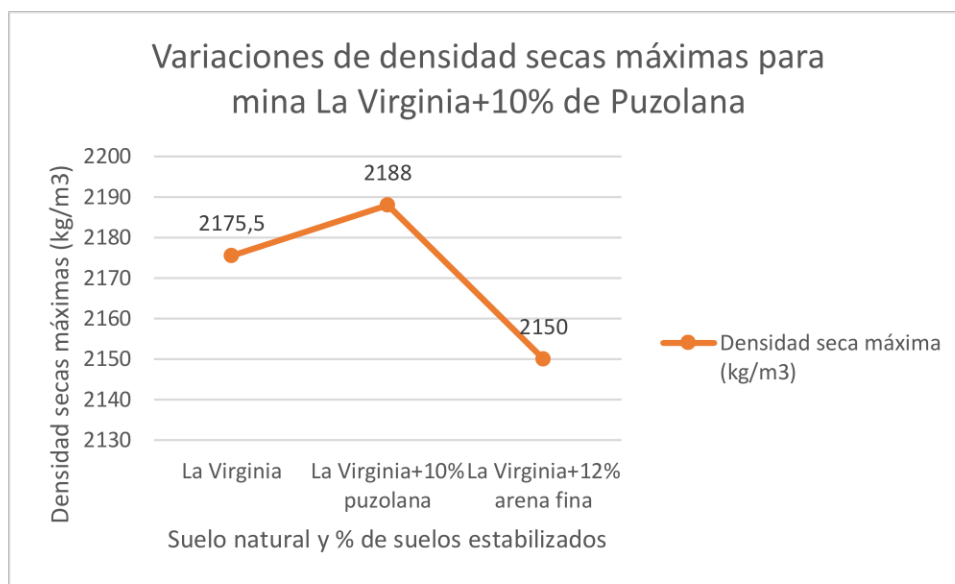
En la siguiente tabla se muestran los resultados de los ensayos de compactación, se utilizó el método de Proctor modificado con una muestra de 5500 gramos, agregando el material estabilizador del 10% en el caso de la puzolana y el 12% en el caso de la arena fina.

Tabla 34 Resultados de ensayo de Proctor Modificado.

Muestra	Densidad seca máxima (kg/m ³)	Humedad Optima
La Virginia	2175,5	8,80%
La Virginia+10% puzolana	2188	8,80%
La Virginia+12% arena fina	2150	9%

Fuente: Autoría propia

Figura 37 Resultado de ensayos de Proctor modificado.



Fuente: Autoría propia

Como se puede observar en la tabla e imagen los valores de la densidad seca máxima no presentan cambios significativos ni tampoco las humedades optimas con las cuales se obtuvo las mejores condiciones de compactación del material. El incremento en la densidad seca máxima alcanzada con la adición de puzolana al 10% se lo puede atribuir a que se redujo los vacíos ya que fueron ocupados por el material fino (puzolana) incrementando de esta forma en el ensayo de Proctor el peso de la muestra con el volumen constante del molde. En contraste, la adición de arena en un porcentaje de 12% al material original de la mina la Virginia provocó un incremento en los vacíos de la muestra debido

al tamaño uniforme de la arena, esto como se observa en la figura y tabla representó una disminución considerable de la densidad seca máxima. Ver anexo 32 y 33.

4.11.4 Corte Directo mina La Virginia.

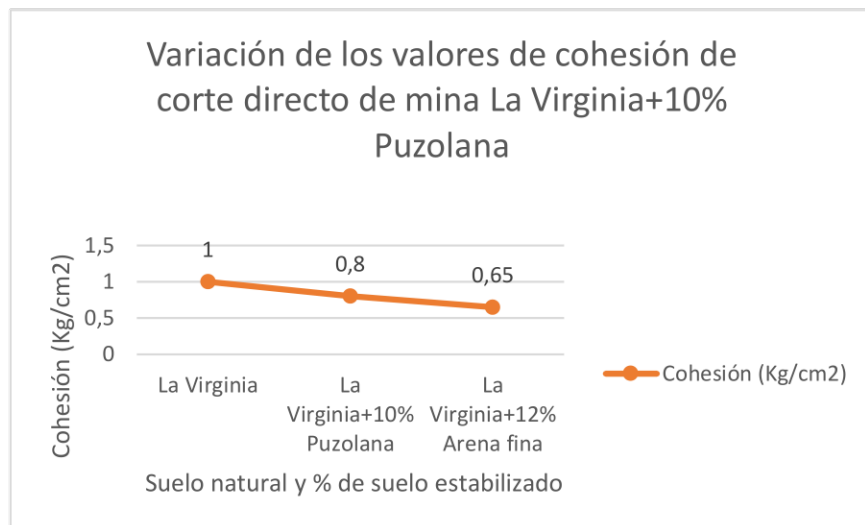
Este ensayo se realiza bajo la normativa americana ASTM D3080-72, en la siguiente se va a obtener los resultados con los materiales añadidos para la estabilización.

Tabla 35 Resultados de ensayo de corte directo.

Muestra	Cohesión (Kg/cm ²)	Angulo de fricción interna
La Virginia	1	47,87°
La Virginia+10% Puzolana	0,8	48,74°
La Virginia+12% Arena fina	0,65	42,96°

Fuente: Autoría propia

Figura 38 Resultados de cohesión.



Fuente: Autoría propia

Como se puede observar en la tabla e imagen se redujo la cohesión del material, debido a que se adicionó materiales de comportamiento no plástico (puzolana y arena). En cuanto al ángulo de fricción interna, se observa una similitud para el material de la Virginia y la Virginia con adición de puzolana al 10%. Por otra parte, al adicionarse arena

en un porcentaje de 12% se sustituye material grueso de la muestra inicial por arena de tamaño relativamente uniforme, esto provoca una ligera disminución de este parámetro de resistencia del material. Ver anexo 34,35,36,37,38,39,40 y 41.

4.11.4 Material de la mina La Virginia+12% Arena.

En la siguiente tabla se puede observar el análisis granulométrico con el material añadido mencionado, con esto se procede a analizar las curvas granulométricas establecidas en la normativa y verificar el cambio en comparación del material no mejorado.

Tabla 36 Granulometría la Virginia+12% Arena fina.

Material Mina La Virginia+12% Arena fina		
ABERTURA		%
TAMIZ Nº	MM.	PASA
3"	76,2	100,00
2 1/2"	63,5	100,00
2"	50,8	100,00
1 1/2"	38,1	100,00
1"	25,4	98,41
3/4"	19,1	89,17
1/2"	12,7	74,73
3/8"	9,52	67,41
Nº4	4,76	51,25
PASA No4		
8	2,36	44,99
10	2	43,27
16	1,18	38,06
20	0,85	35,12
30	0,6	32,45
40	0,42	29,90
50	0,30	25,14
100	0,15	16,17
200	0,074	11,83
FONDO		11,352

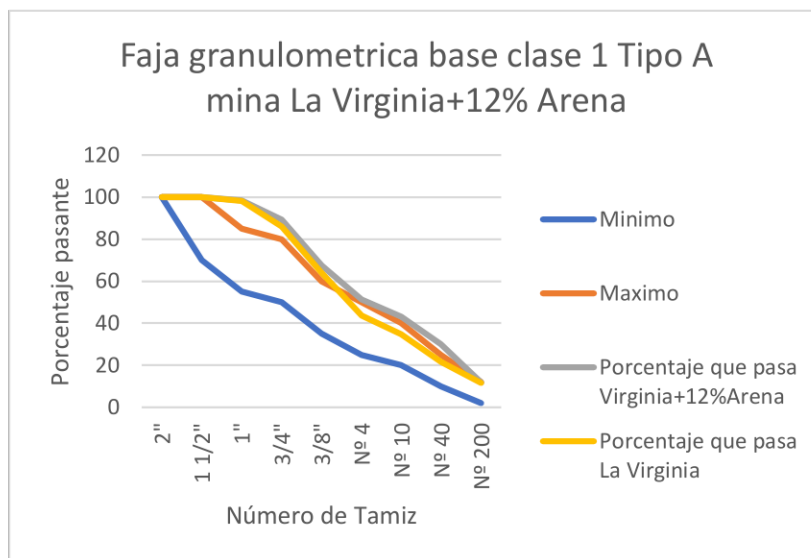
Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la tabla, que el porcentaje retenido en gravas es un total de 48.75%, el porcentaje de arena es de 39.42% y de material fino de 11.83%. Ver anexo 28.

a) Curva para base clase 1 tipo A mina La Virginia+12% Arena.

Una vez obtenida la nueva granulometría se procede a clasificar a que tipo de base pertenece, dependiendo de la normativa establecida, en la siguiente figura se va a analizar si se ajusta la granulometría como base clase 1 tipo A.

Figura 39 Curva granulométrica base clase 1 tipo A.



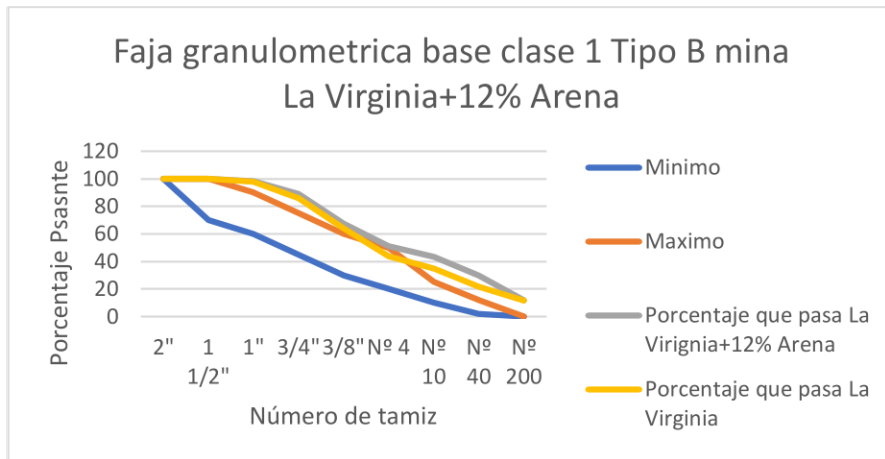
Fuente: Autoría propia

Se puede observar que la línea ploma indica el pasante de la Virginia+12% de Arena el cual no se ajusta como base clase 1 tipo A ya que tiene una granulometría superior a los límites máximos establecidos, de igual manera no se ajusta solo el material de la Virginia.

b) Curva granulométrica base clase 1 tipo B mina La Virginia+12% Arena.

En la siguiente figura se va a analizar si el análisis granulométrico del material se ajusta como una base clase 1 tipo B establecido los límites máximos y mínimos en la normativa.

Figura 40 Curva granulométrica base clase 1 tipo B.

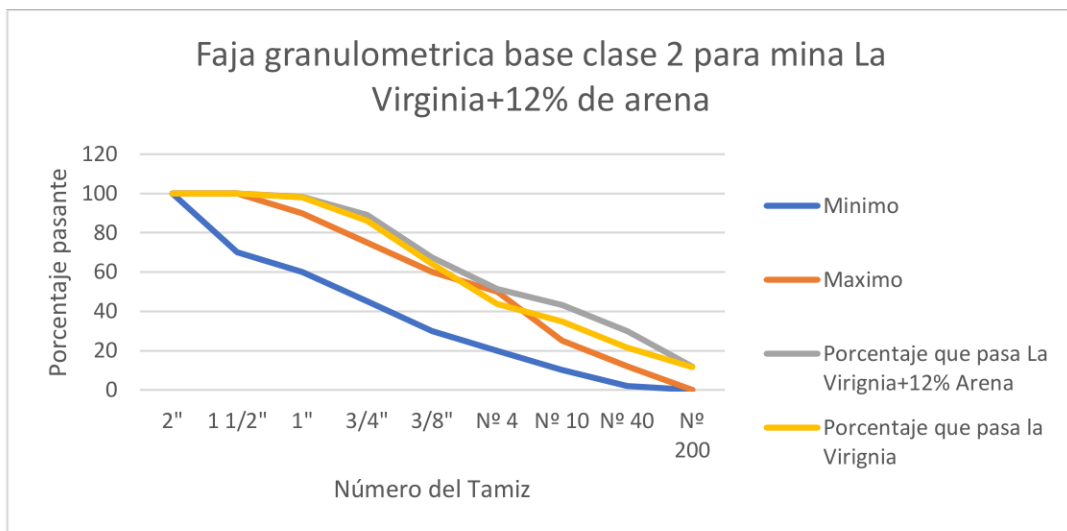


Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la figura que la línea ploma que indica material de la mina La Virginia+12% de arena no se ajusta como base clase 1 tipo B ya que sobrepasa los límites máximos establecidos, pero de igual manera no se ajusta el material de la Virginia que tiene línea amarilla en la figura.

c) Curva granulométrica para base clase 2 mina La Virginia+12% Arena.

Figura 41 Curva Granulométrica base clase 2.



Fuente: Autoría propia.

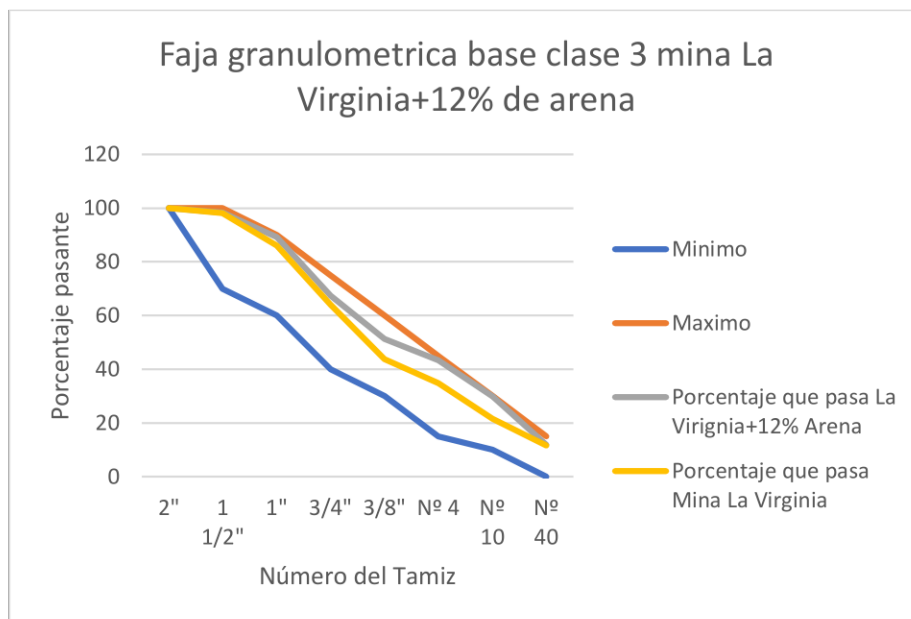
En la siguiente figura se a analizar si el análisis granulométrico del material se ajusta como una base clase 2 establecido los límites máximos y mínimos en la normativa.

Se puede observar que, en la imagen que la línea ploma es el pasaste de la Virignia+12% arena sobrepasa los límites máximos para que se ajuste como base clase 2, de igual manera pasa con la línea amarilla que presenta a la mina la Virginia.

d) Curva granulométrica base clase 3 mina La Virginia+12% Arena.

En la siguiente figura se va a analizar si el análisis granulométrico del material se ajusta como una base clase 3 establecido los límites máximos y mínimos en las especiaciones técnicas.

Figura 42 Curva granulométrica base clase 3.



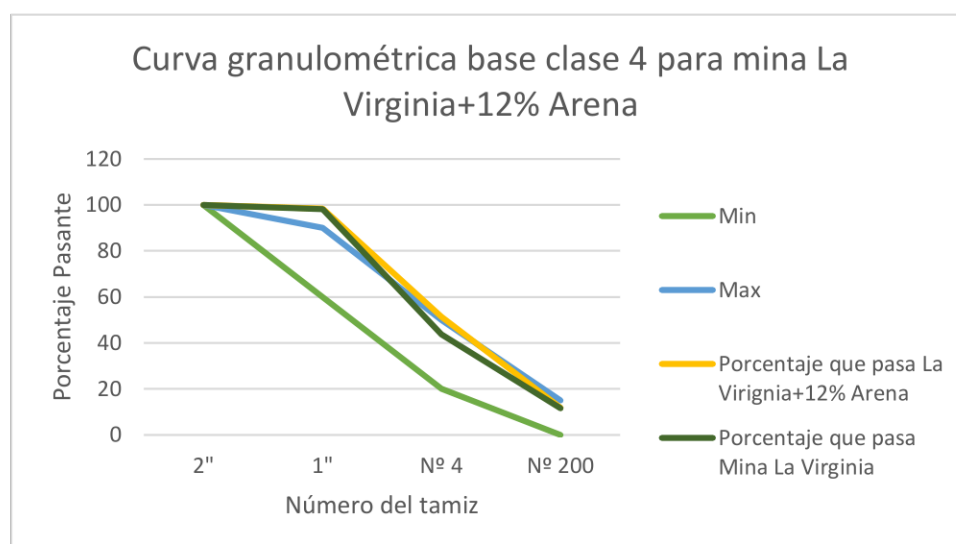
Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la imagen que la línea ploma, si se ajusta como base clase 3 el pasante del material de la Virginia y 12% de Arena, pero muy próximos a los límites especialmente en la parte de agregado grueso y fino y que de igual manera calza el material de la Virginia que tiene la línea amarilla sin añadir otro material.

e) Curva granulométrica base clase 4 mina La Virginia+12% Arena.

En la siguiente figura se a analizar si el análisis granulométrico del material se ajusta como una base clase 4 establecido los límites máximos y mínimos en la normativa.

Figura 43 Curva granulométrica base clase 4.



Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la imagen que no calza como base clase 4, ya que la granulometría supera al límite máximo, tanto como la línea verde que presenta la mina La Virginia y la amarilla que presenta la Virginia+12% de Arena.

4.11.5 Mina Llatcón.

Para considerarle al material extraído de la mina de Llatcón como una base hay que realizar estabilizaciones con material diferente, se va a realizar dos tipos de mejoramiento en base a los resultados obtenidos para poder evaluar en relación costo-

beneficio para la empresa pública, estos van a ser material de la mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2” +20% de material pasante del tamiz N°40 de arena fina y mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La virginia de 1/2” +20% de material pasante del tamiz N°40 de puzolana.

Se realizaron ensayos de granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado, corte directo y CBR.

4.11.5.1 Límites de Atterberg para mina de Llatcón.

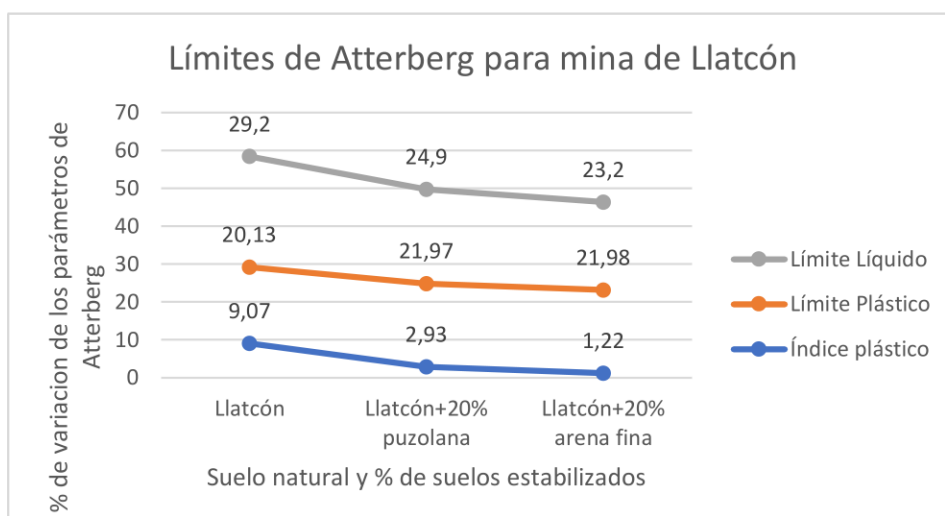
Para realizar los ensayos de límites de Atterberg se realizó con material de Llatcón+20% puzolana y 20% arena estos pasantes del tamiz N°40 con el objetivo de disminuir límite e índice plásticos que inicialmente tenía el material.

Tabla 37 Resultados de ensayos de Límites de Atterberg para mina de Llatcón

Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice plástico
Llatcón	29,2	20,13	9,07
Llatcón+20% puzolana	24,9	21,97	2,93
Llatcón+20% arena fina	23,2	21,98	1,22

Fuente: Autoría propia

Figura 44 Resultados de Límites de Atterberg.



Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la tabla 37 y figura 44 que la muestra original tiene un índice de plasticidad de 9.07, cuando se mejora el material con puzolana al 20% se observa disminución de este parámetro a un valor de 2.93. Posteriormente con sustitución de material por arena en un porcentaje de 20% el índice de plasticidad se reduce aún más llegando a un valor de 1.22 lo que significa que se tiene una casi nula plasticidad.

Interpretándose en términos técnicos como una baja compresibilidad esto quiere decir que al momento de aplicar una carga sobre la muestra de suelo no va a cambiar su volumen, de la misma forma no existirá cambios representativos de volumen cuando se esté en contacto con el agua. Finalmente se concluye que cumple la normativa del MTOP que establece una base de poseer un índice de plasticidad menor a 6.

El límite líquido disminuyo de la muestra original de 29.2, en el caso de la puzolana a 24.9 y de la arena a 23.2, esto produce un cambio optimo en el material ya que se ajusta a la normativa que establece que debe ser menor a 2, también significa que no pasa a estado líquido cuando se le añade material para mejorarlo, ya que crea las condiciones óptimas para ser puestos en obra. Ver anexo 44 y 45.

4.11.5.2 Ensayos granulométricos para mina de Llatcón.

Se realizo nuevamente el ensayo granulométrico, con el objetivo de verificar si con los nuevos agregados que se utilizó para estabilizar el material de la mina de Llatcón se adapta como un tipo de base bajo la normativa MOP-001-F-2002.

4.11.5.2.1 Material de la mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2” +20% de material pasante del tamiz N°40 de arena fina.

A continuación, en la siguiente tabla se puede observar el ensayo granulométrico que se realizó adicionando los agregados ya mencionados para verificar el cambio en las curvas granulométricas correspondientes

Tabla 38 Material de la mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2” +20% de material pasante del tamiz N°40 de arena fina.

Material de la mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2” +20% de material pasante del tamiz N°40 de arena fina		
ABERTURA		% pasa
TAMIZ N°	MM.	
3"	76,2	100,00
2 1/2"	63,5	100,00
2"	50,8	100,00
1 1/2"	38,1	97,52
1"	25,4	92,65
3/4"	19,1	82,20
1/2"	12,7	67,45
3/8"	9,52	60,01
N°4	4,76	46,75
PASA No4		
8	2,36	21,88
10	2	20,52
16	1,18	17,78
20	0,85	16,63
30	0,6	15,64
40	0,42	14,70
50	0,30	12,67
100	0,15	8,84
200	0,074	7,09
FONDO		6,761

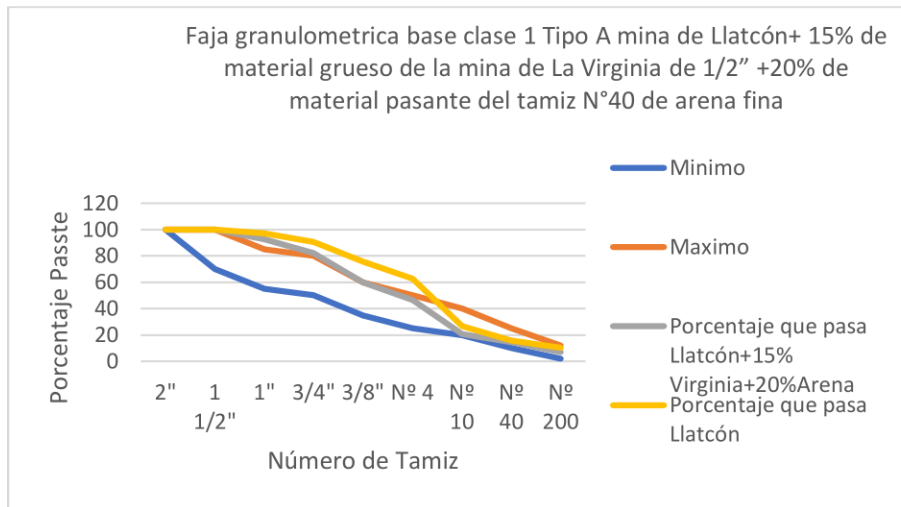
Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la tabla, que el porcentaje en gravas es un total de 53.25, de material fino es de 7.09 % y de arena 39.66%. Ver anexo 43.

a) Curva para base clase 1 tipo A mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2” +20% de material pasante del tamiz N°40 de arena fina.

Una vez obtenida la nueva granulometría se procede a clasificar a que tipo de base pertenece, dependiendo de la normativa establecida, en la siguiente imagen se analiza los límites máximos y mínimos para poder clasificar el tipo del material.

Figura 45 Curva granulométrica base clase 1 tipo A.



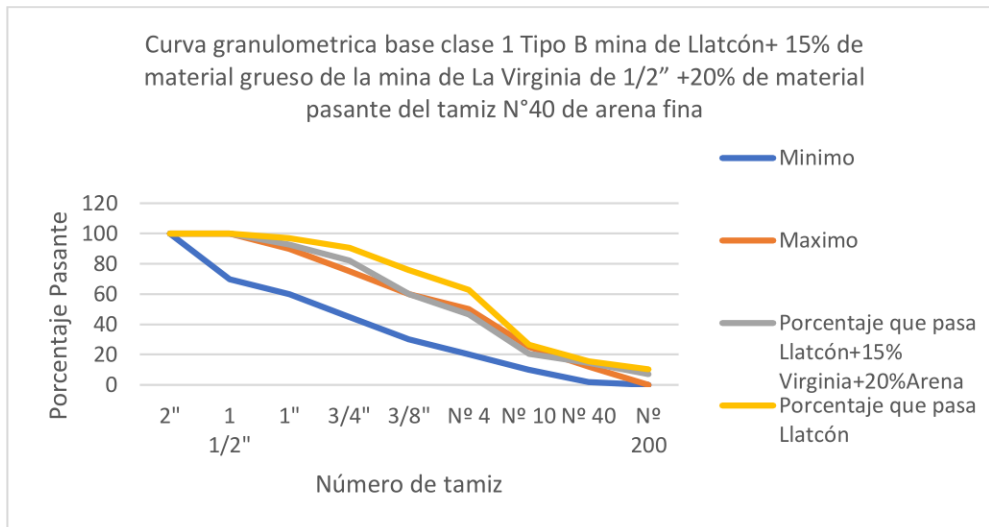
Fuente: Autoría propia

Se puede observar que la línea ploma representa el pasante de Llatcón+15% material de la Virginia+20% Arena en la imagen que no se ajusta a este tipo de base, porque sobrepasa los límites máximos en agregados gruesos, pero en finos si se ajusta, a diferencia de que el porcentaje que pasa Llatcón sin añadir ningún material que es presentado por la línea amarilla.

b) Curva granulométrica base clase 1 tipo B mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2" +20% de material pasante del tamiz N°40 de arena fina.

En la siguiente figura se a analizar si el análisis granulométrico del material se ajusta como una base clase 1 tipo B establecido los límites máximos y mínimos en la normativa.

Figura 46 Curva granulométrica para base clase 1 tipo B.

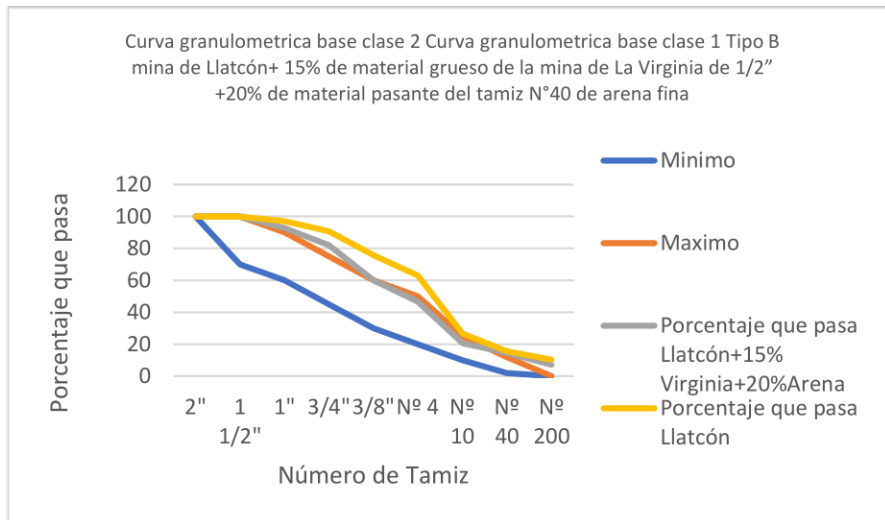


Fuente: Autoría Propia

Como se puede observar en la figura 47, la línea ploma presenta el pasante de Llatcón+15% del material de la Virginia+20% Arena no se ajusta a los límites máximos ya que los supera y no se le puede clasificar como base clase 1 tipo B, de igual manera se observa la línea amarilla que presenta el porcentaje que pasa Llatcón tampoco se ajusta como base clase 1 tipo B.

- c) Curva granulométrica para base clase 2 mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2" +20% de material pasante del tamiz N°40 de arena fina.**

Figura 47 Curva Granulométrica base clase 2.

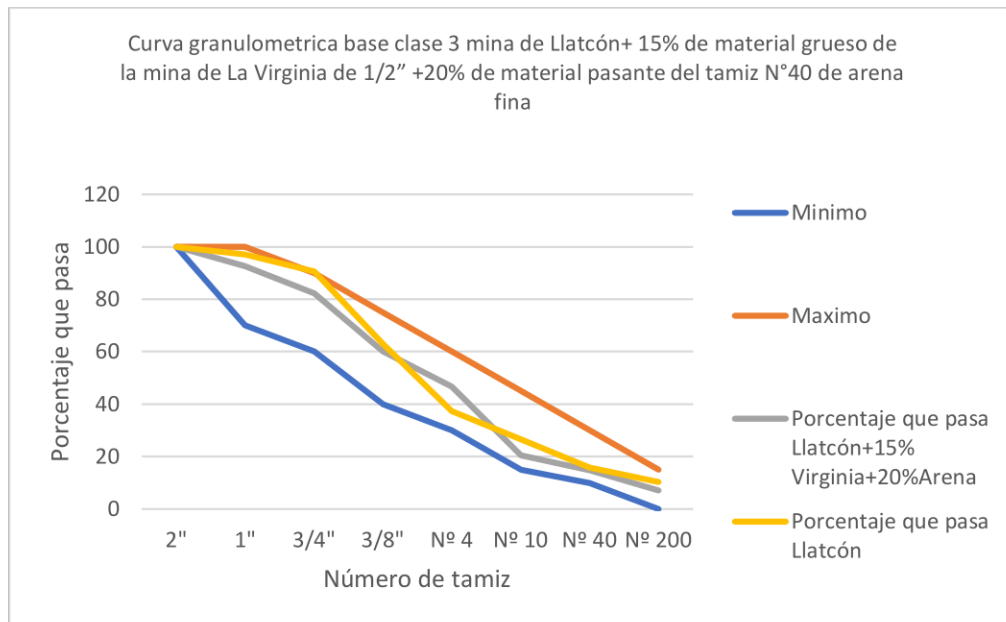


Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la figura 47 que la línea ploma que presenta el pasante de Llatcón+15% del material de la Virginia+20% Arena no se ajusta como base clase 2 ya que supera los límites máximos especialmente en la parte de agregado grueso y en el resto se monta sobre el límite máximo, de igual manera la línea amarilla que representa el pasante de Llatcón sin añadir ningún material tampoco se ajusta como base clase 2.

- d) Curva granulométrica base clase 3 mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2'' +20% de material pasante del tamiz N°40 de arena fino**

Figura 48 Curva granulométrica base clase 3.

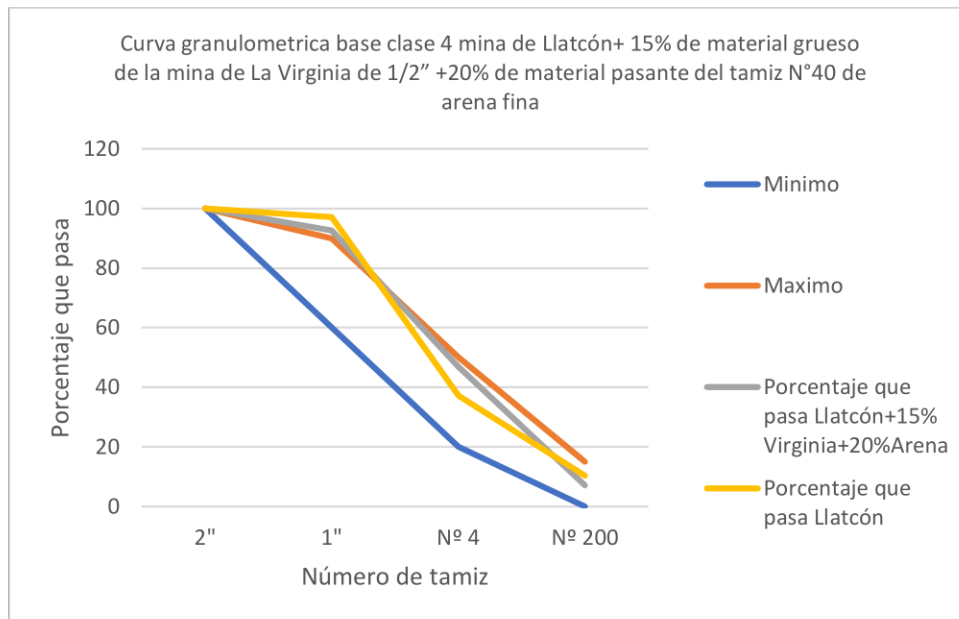


Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la figura 48 que la línea ploma que representa el pasante de Llatcón+ 15% del material de la Virginia+20% Arena si se ajusta de manera óptima como una base clase 3 y de mejor manera comparando con el pasante de Llatcón.

- e) **Curva granulométrica base clase 4 mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2" +20% de material pasante del tamiz N°40 de arena fina.**

Figura 49 Curva granulométrica base clase 4.



Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la figura 49 que la línea ploma que presentada el material de Llatcón+ 15% del material de La Virginia+20% de Arena no sé ajusta como base clase 4 especialmente en el agregado grueso y de igual manera la línea amarilla representa el pasante de Llatcón tampoco calza como base clase 4.

4.11.5.2.2 Material mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2" +20% de material pasante del tamiz N°40 de puzolana.

En la siguiente tabla se observar el análisis granulométrico para la mina de Llatcón y sus materiales añadidos para la estabilización para verificar el cambio en las curvas granulométricas correspondientes:

Tabla 39 Material de la mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2” +20% de material pasante del tamiz N°40 de puzolana.

Material de la mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2” +20% de material pasante del tamiz N°40 de puzolana		
ABERTURA		% pasa
TAMIZ N°	MM.	
3"	76,2	100,00
2 1/2"	63,5	100,00
2"	50,8	100,00
1 1/2"	38,1	98,40
1"	25,4	91,36
3/4"	19,1	81,08
1/2"	12,7	68,79
3/8"	9,52	62,80
Nº4	4,76	50,76
PASA No4		
8	2,36	42,37
10	2	40,34
16	1,18	34,93
20	0,85	32,20
30	0,6	29,97
40	0,42	28,26
50	0,30	25,12
100	0,15	16,44
200	0,074	11,65
FONDO		11,308

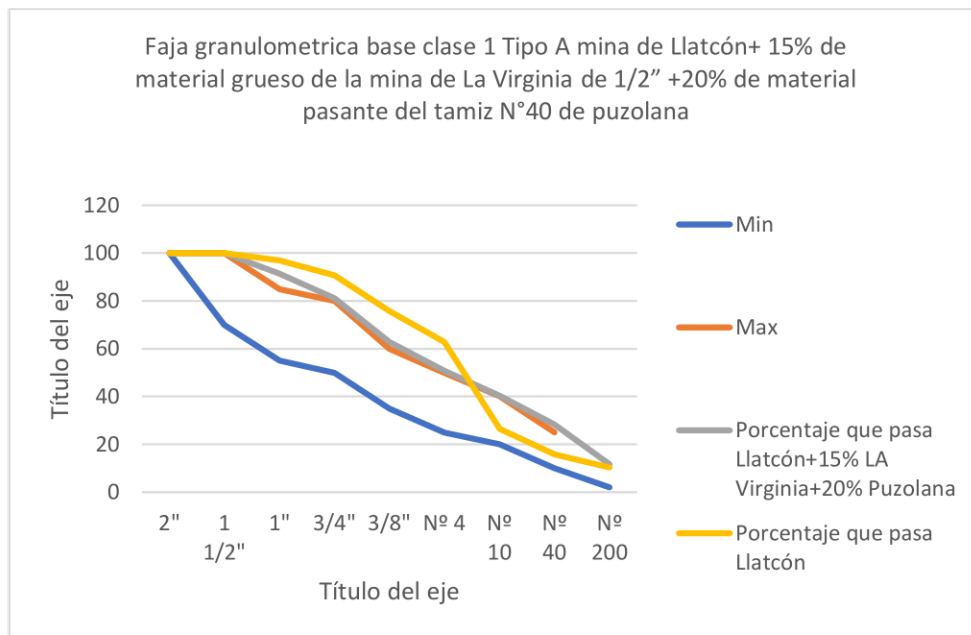
Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la tabla, que el porcentaje en gravas es un total de 49.241%, el porcentaje en arena 39.11 % y material fino es de 11.65%. Ver anexo 42.

a) Curva para base clase 1 tipo A mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2” +20% de material pasante del tamiz N°40 de puzolana.

Una vez obtenida la nueva granulometría se procede a clasificar a que tipo de base pertenece, dependiendo de la normativa establecida, en la siguiente figura se analiza los límites máximos y mínimos para poder clasificar el material como base clase 1 tipo A.

Figura 50 Curva granulométrica base clase 1 tipo A.



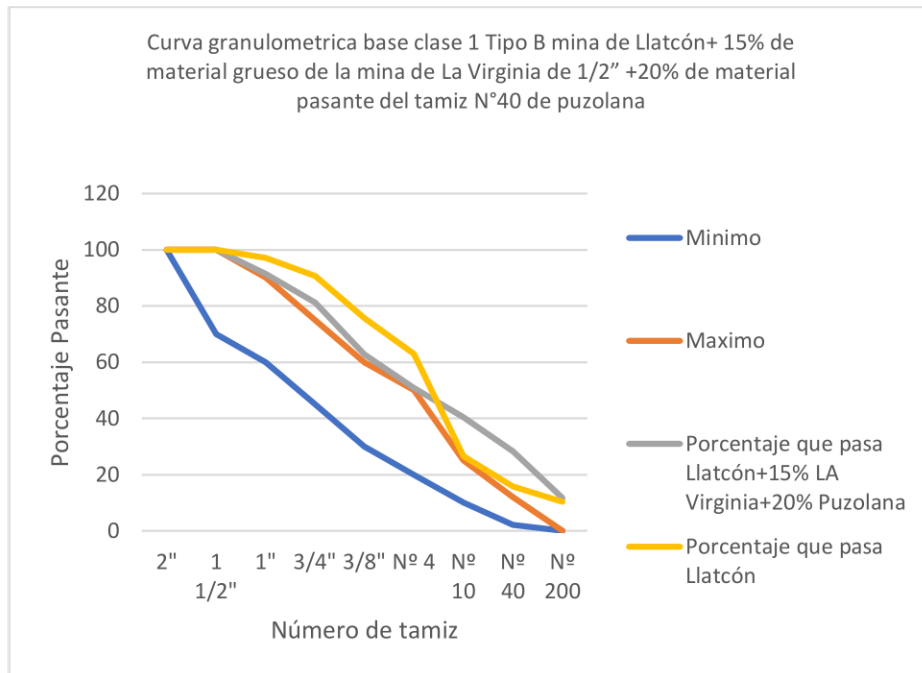
Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la imagen que la línea ploma representa el pasante de Llatcón+15% material de La Virginia+20% Puzolana no sé ajusta como base clase 1 tipo A porqué esta sobre la línea del límite máximo también se observa que la línea amarilla que presenta el pasante de Llatcón tampoco se ajuste como base clase 1 tipo A.

b) Curva granulométrica base clase 1 tipo B mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2" +20% de material pasante del tamiz N°40 de puzolana.

En la siguiente figura se a analizar si el análisis granulométrico del material se ajusta como una base clase 1 tipo B establecido los límites máximos y mínimos en la normativa.

Figura 51 Curva granulométrica base clase 1 tipo B.



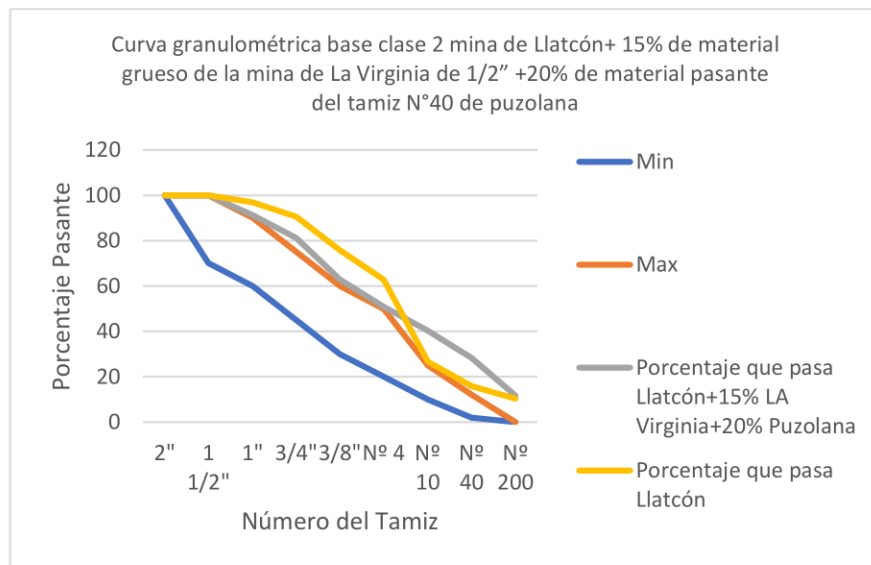
Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la figura que la línea ploma representa el material de Llatcón+15% del material de la Virginia+20% Puzolana no se ajusta como base clase 1 tipo B ya que sobrepasa los límites máximos y de igual manera en el pasante de Llatcón tampoco se ajusta como base clase 1 tipo B.

c) Curva granulométrica para base clase 2 mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2" +20% de material pasante del tamiz N°40 de puzolana.

En la siguiente figura se a analizar si el análisis granulométrico del material se ajusta como una base clase 2 establecido los límites máximos y mínimos en la normativa.

Figura 52 Curva Granulométrica base clase 2.



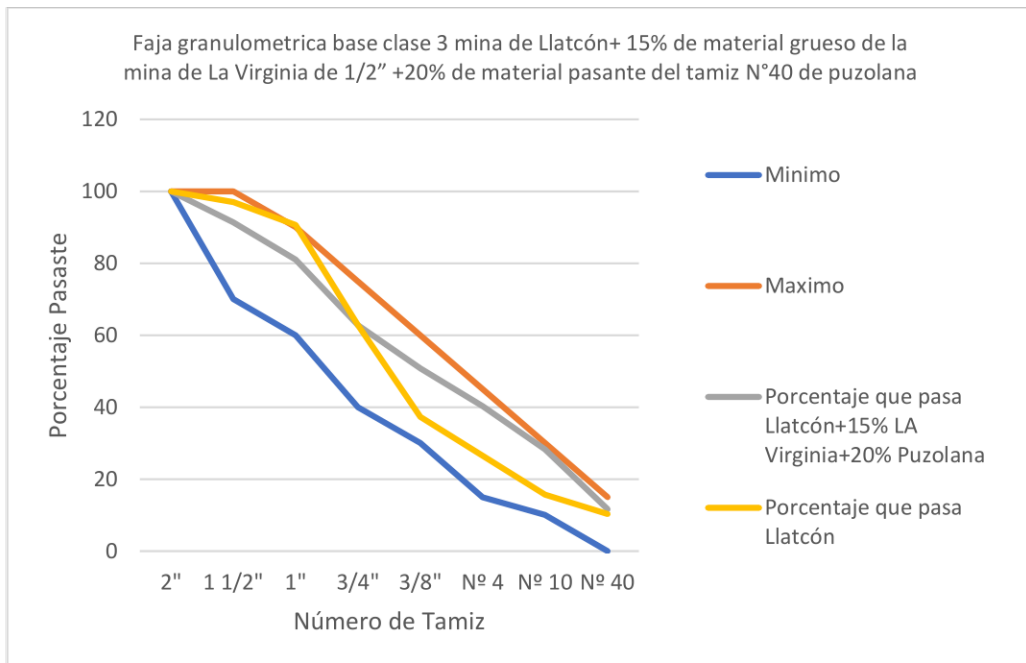
Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la figura 54 que la línea ploma representa el pasante de Llatcón+15% del material de la Virginia+20% Puzolana no se ajuste como base clase dos ya que sobrepasa los límites tanto en el agregado grueso como en el fino en comparación a la línea amarilla que representa el pasante de Llatcón si se disminuyó lo que se excede en el pasante ya que la línea ploma esta sobre el límite máximo y la amarilla sobrepasa con mucho.

d) Curva granulométrica base clase 3 mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2" +20% de material pasante del tamiz N°40 de puzolana.

En la siguiente figura se a analizar si el análisis granulométrico del material se ajusta como una base clase 3 establecido los límites máximos y mínimos en la normativa.

Figura 53 Curva granulométrica base clase 3.



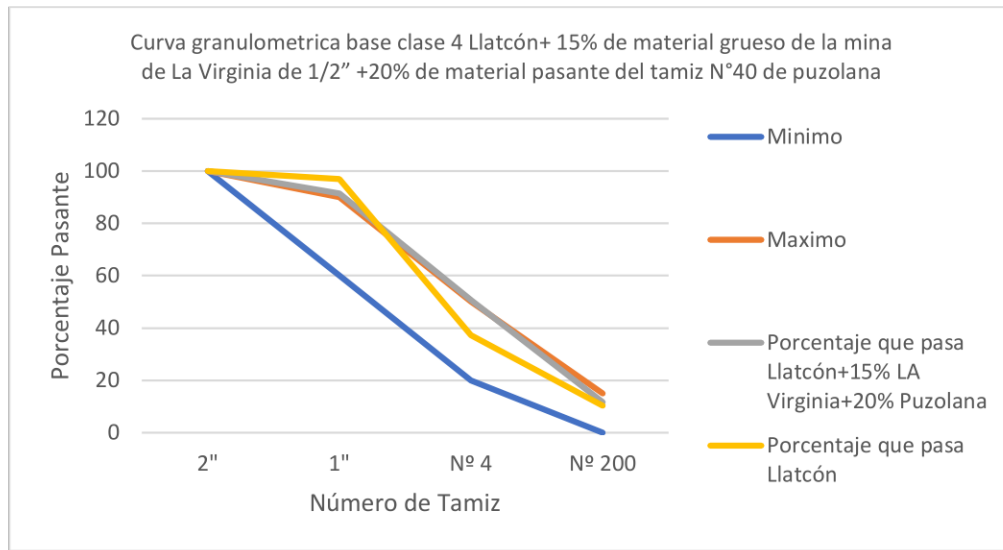
Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la imagen que la línea ploma representa el pasante de Llatcón+15% del material de la Virginia+ 20% de puzolana se ajusta de manera óptima como base clase 3 y de mejor manera que de la línea amarilla ya que esta esta sobre el límite máximo en la parte del agregado grueso.

e) Curva granulométrica base clase 4 mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de 1/2" +20% de material pasante del tamiz N°40 de puzolana.

En la siguiente figura se a analizar si el análisis granulométrico del material se ajusta como una base clase 4 establecido los límites máximos y mínimos en la normativa.

Figura 54 Curva granulométrica base clase 4.



Fuente: Autoría propia

Se puede observar en la imagen que la línea ploma está sobre el límite máximo para que se ajuste como base clase 4. Esta representa el pasante Llatcón+15% del material de La Virginia+20% puzolana a diferencia que la línea amarilla se excede en el agregado grueso y se ajusta bien en la parte del agregado fino la cual presenta el pasante del material de Llatcón, pero ninguno de los dos se ajusta a la curva correspondiente.

4.11.5.3 Proctor Modificado para mina de Llatcón.

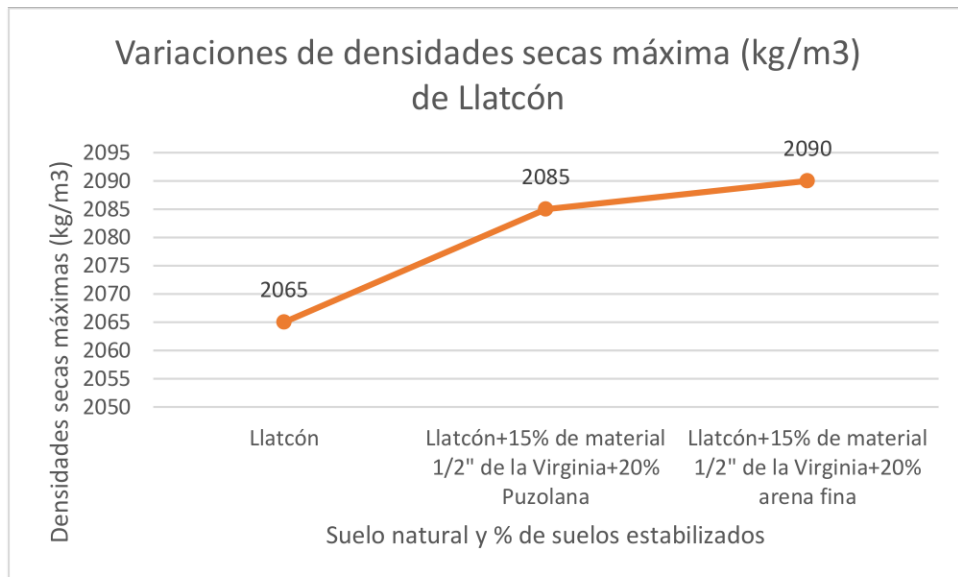
En la siguiente tabla se puede observar los cambios de densidad seca máxima y humedad óptima al estabilizar el material de la mina de Llatcón con el 15% de material de 1/2" de la mina La Virginia, 20% arena y 20% puzolana respectivamente, se proponen dos métodos de estabilización diferente.

Tabla 40 Resultados de Proctor modificado.

Muestra	Densidad seca máxima (kg/m ³)	Humedad Optima
Llalcón	2065	8,40%
Llalcón+15% de material 1/2" de la Virginia+20% Puzolana	2085	8,10%
Llalcón+15% de material 1/2" de la Virginia+20% arena fina	2090	9,5%

Fuente: Autoría propia

Figura 55 Resultado de Proctor modificado.



Fuente: Autoría propia

Se observa en la figura 55 que inicialmente con el material de la mina de Llalcón existe una considerable cantidad de vacíos que permanecen sin ser llenados en el ensayo de Proctor, al adicionarse material fino como lo es la puzolana y la arena, estos vacíos son llenados de forma más eficiente dando como resultado el incremento importante en la densidad seca máxima. En cuanto al contenido óptimo de humedad se observa el mismo comportamiento que en la muestra de la mina la Virginia, esto es contenidos de humedad similares para la muestra original y la adición de puzolana al 20%, incrementado la

humedad necesaria cuando se aplica el mejoramiento del material con arena al 20%. Ver anexo 47 y 48.

4.11.5.4 Clasificación de suelos para mina de Llatcón.

Se va a proceder a clasificar el tipo de suelo según la metodología SUCS y AASHTO, en la siguiente tabla.

Tabla 41 Clasificación de suelos para mina de Llatcón.

Muestra	Clasificación		
	AASHTO	Indice de grupo	SUCS
Llatcón	GC	0	A-2-4
Llatcón+15% de material 1/2" de la Virginia+20% Puzolana	GM	0	A-1-a
Llatcón+15% de material 1/2" de la Virginia+20% arena fina	GM	0	A-1-a

Fuente: Autoría Propia

Según la tabla número 41 se puede observar que cuando se mejora con puzolana y arena fina va a cambiar la clasificación de suelos de SUCS tanto como se AASHTO, esto teniendo como resultado en SUCS una grava limosa y en AASHTO una grava teniendo un material de excelente a bueno.

4.11.5.5 Corte directo para mina de Llatcón.

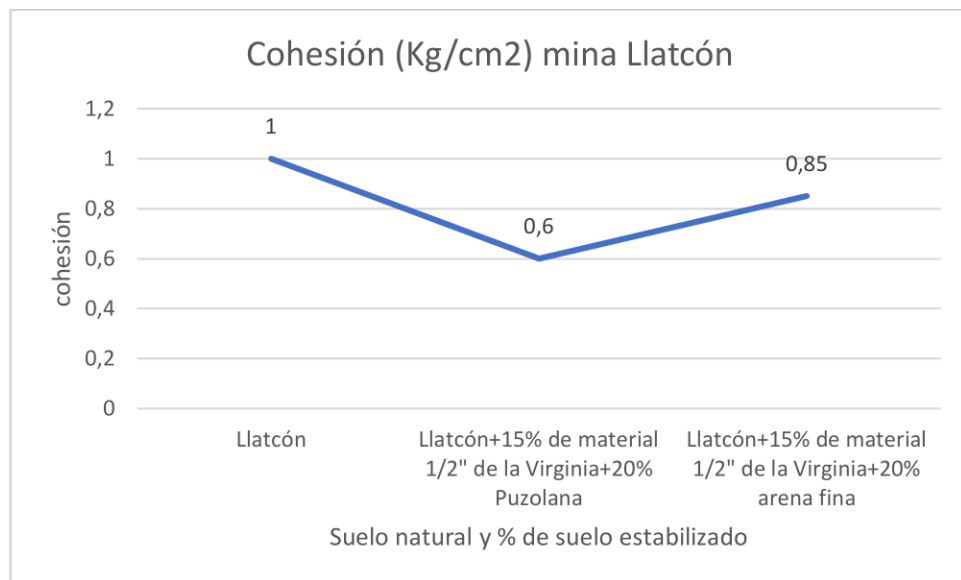
Se analizo las dos muestras de agregado con sus materiales estabilizadores, en los cuales se presenta los siguientes resultados.

Tabla 42 Resultado de ensayo de corte directo.

Muestra	Cohesión (Kg/cm ²)	Angulo de fricción interna
Llalcón	1	47,32°
Llalcón+20% Puzolana	0,6	49,72°
Llalcón+20%Arena	0,85	40,03°

Fuente: Autoría propia

Figura 56 Cohesión de corte directo material de Llalcón.



Fuente: Autoría propia

Como se puede observar en la tabla e imagen se redujo la cohesión, debido a que se adicionó materiales de comportamiento no plástico (puzolana y arena). En cuanto al ángulo de fricción interna, se observa una similitud para el material inicial y con adición de puzolana al 20%. Por otra parte, al adicionarse arena en un porcentaje de 20% se sustituye material grueso de la muestra inicial por arena de tamaño uniforme reduciendo el valor de este parámetro de resistencia en el material inicial. Ver anexo 51,52,53,54,55,56,57 y 58.

4.11.5.6 Ensayo de CBR mina Llatcón.

Se realizaron ensayos de CBR con las dos muestras y con sus respectivos materiales estabilizadores donde se muestra la siguiente tabla.

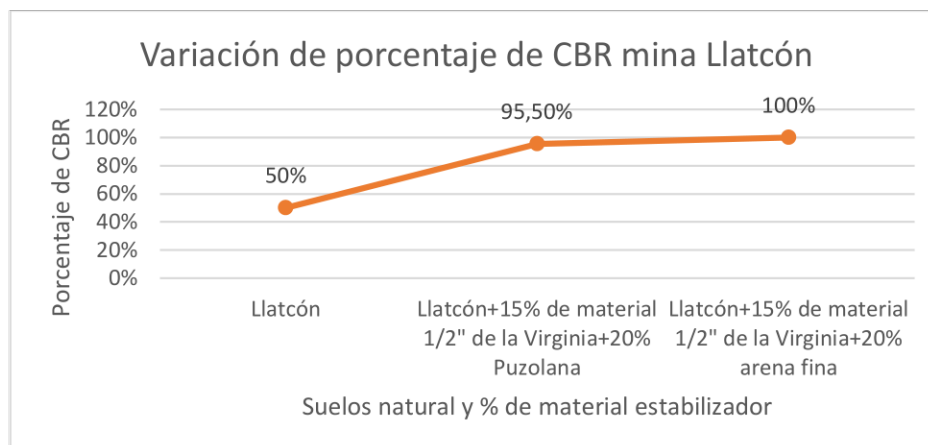
Tabla 43 Resultado de CBR.

Muestra	CBR	Número de golpes
Llatcón	50%	25 golpes
Llatcón+15% de material 1/2" de la Virginia+20% Puzolana	95,50%	25 golpes
Llatcón+15% de material 1/2" de la Virginia+20% arena fina	100%	56 golpes

Fuente: Autoría propia

Como se puede observar en la tabla se nota un considerable cambio con los distintos materiales de mejoramiento, en caso cuando se estabiliza con puzolana llega a su CBR máximo a los 25 golpes y en el caso donde se estabiliza con arena fina llega a su CBR máximo a los 56 golpes, esto quiere decir que para esta muestra con arena fina y agregado grueso de la mina La Virginia se necesita mayor energía de compactación, a diferencia cuando se estabiliza de igual manera con agregado grueso de la mina La Virginia y puzolana.

Figura 57 Resultados de CBR de la mina Llatcón.



Fuente: Autoría propia

Como se puede observar en la figura 57, se observa un mejorable cambio entre los porcentajes de CBR en comparación del material original, teniendo en cuenta para que sea considerado como base se necesita un mínimo de 80% según la normativa que en la condición original no cumplía, ahora con puzolana supera ese porcentaje con un 95.5% lo cual significaría que está en condiciones óptimas para poner en obra y suporta cargas aplicadas, esto pasa igual con la arena que llega a su máximo un 100%. Ver anexo 49,50.

4.12 Análisis de costos del mejoramiento del material.

En la mina La Virginia se produce material de base, puzolana y arena.

Se va a desarrollar los presupuestos con una base de datos obtenida del Gobierno Provincial del Azuay, para su análisis de costos.

4.12.1 Costo de producción Mina la Virginia.

En la siguiente tabla se puede observar el costo de producción de material base para la mina La Virginia.

Tabla 44 Presupuesto para mina La Virginia.

PRESUPUESTO			
Ítem	Descripción	Unidad	Precio Unitario (USD)
1	Base Granular (Libre aprovechamiento La Virginia).	m3	13,58
Total (USD)			13,58

Fuente:(Gobierno Provincial del Azuay, 2022)

En la tabla 44 se puede observar que el valor del costo de la puzolana es de 13.58\$. Ver anexo 59.

4.12.2 Costo de producción Mina Llatcón.

En la siguiente tabla se puede observar el costo de producción de material base para la mina de Llatcón.

Tabla 45 Presupuesto para mina Llatcón.

PRESUPUESTO			
Ítem	Descripción	Unidad	P.Unitario (USD)
1	Explotación de material de mejoramiento en cantera (incluye pago de material en banco)	m3	\$ 5,23
Total (USD)			\$ 5,23

Fuente:(Gobierno Provincial del Azuay, 2022)

En la tabla 45 se puede observar que el material producido en la mina de Llatcón va a tener un costo de 5.14\$. Ver anexo 60.

4.12.3 Costo de producción Mina La Virginia+ 12% Puzolana.

En la siguiente tabla se puede observar el presupuesto para la estabilización con puzolana del material extraído de la mina de La Virginia.

Tabla 46 Presupuesto para material de la Virginia+ Puzolana.

PRESUPUESTO			
Ítem	Descripción	Unidad	P.Unitario (USD)
1	Base Granular (Libre aprovechamiento La Virginia).	m3	\$ 13,91
2	Trituración primaria y secundaria para material puzolanico (bloque) (incluye material)	m3	\$ 9,46
3	Transporte de material en mina	m3	\$ 1,43
Total (USD)			\$ 24,80

Fuente:(Gobierno Provincial del Azuay, 2022)

En la tabla 46 se puede observar que el costo de la estabilización del material de la Virginia va a tener un costo de 24.80\$. Ver anexo 59,60,62.

4.12.4 Costo de producción Mina La Virginia+12% Arena.

En la siguiente tabla se puede observar el presupuesto total para el costo de producción de material de base en la mina La Virginia con el 12% de arena fina.

Tabla 47 Presupuesto para Mina La Virginia+ 12% Arena.

PRESUPUESTO			
Ítem	Descripción	Unidad	P.Unitario (USD)
1	Base Granular	m3	13,91
2	Arena de rio cantera, explotacion	m3	12,89
3	le de materia	m3	1,43
Total (USD)			28,23

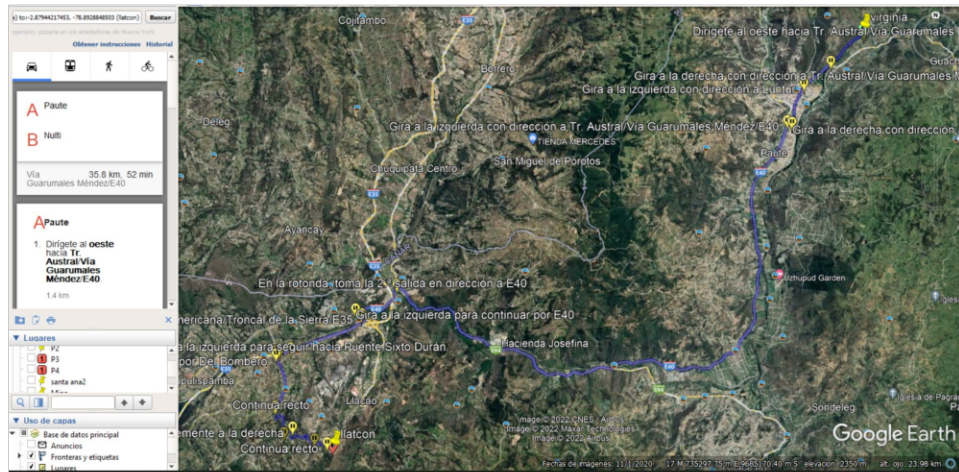
Fuente:(Gobierno Provincial del Azuay, 2022)

En la tabla 47 se puede observar que mejorar el material de la Virginia con arena va a tener un costo de 28.23\$. Ver anexo 59,62y 63.

4.12.5 Costo de producción Mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de ½” +20% de material pasante del tamiz N°40 de puzolana.

A través del software Google Earth se calcula la distancia entre minas para poder obtener el precio unitario para el transporte de material, se encuentra a una distancia de 35.8 km de distancia entre minas.

Figura 58 Distancia entre minas.



Fuente: Autoría propia

A continuación, se puede observar en la siguiente tabla el presupuesto para la producción del material.

Tabla 48 Presupuesto para Mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de ½” +20% de material pasante del tamiz N°40 de Puzolana.

PRESUPUESTO			
Ítem	Descripción	Unidad	Precio Unitario (USD)
1	Explotación de material de mejoramiento en cantera (incluye pago de material en banco)	m3	13,58
2	Trituración primaria y secundaria para material puzolanico (bloque) (incluye material)	m3	9,46
3	Transporte de material, distancia= 40km.	m3-km	0,21
4	Agregado 3/4	m3	33,04
5	Transporte de material, distancia= 40km.	m3-km	0,21
Total (USD)			56,51

Fuente:(Gobierno Provincial del Azuay, 2022)

En la tabla 48 se puede observar que para la estabilización del material de Llatcón con material grueso de la virginia y puzolana va a tener un costo de 56.51\$. Ver anexo 60,62,64,65.

4.12.6 Costo de producción Mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de ½” +20% de material pasante del tamiz N°40 de arena fina.

De igual manera que en el ítem anterior se calcula la misma distancia entre minas que es 35.8 km, para obtener el presupuesto de producción del agregado.

Tabla 49 Presupuesto para Mina de Llatcón+ 15% de material grueso de la mina de La Virginia de ½” +20% de material pasante del tamiz N°40 de arena fina.

PRESUPUESTO			
Ítem	Descripción	Unidad	Precio Unitario (USD)
1	Explotación de material de mejoramiento en cantera (incluye pago de material en banco)	m3	13,58
2	Arena de rio en cantera, explotacion	m3	12,89
3	ransporte de material, distancia= 40km	m3-km	0,21
4	Agregado 3/4	m3	33,04
5	ransporte de material, distancia= 40km	m3-km	0,21
Total (USD)			59,93

Fuente: (Gobierno Provincial del Azuay, 2022)

Se puede observar en la tabla 49 que para mejorar el material de la mina de Llatcón con material grueso de la Virginia y arena va a tener un costo de 59.93\$. Ver anexo 60,62,63,64,65.

5. Capítulo V

RESULTADOS

5.1 Análisis y discusión de resultados

A continuación, en la siguiente tabla se va a describir todos los resultados obtenidos de los ensayos y como cambiaron con sus respectivos mejoramientos.

Tabla 50 Resumen de resultados de los ensayos

RESULTADOS - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS						
Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice plástico	Densidad seca máxima (kg/m ³)	Humedad Optima	CBR
La Virginia	19,6	11,69	7,91	2175,5	8,80%	88,45
La Virginia+10% Puzolana	23	18,01	4,99	2188	8,80%	-
La Virginia+12% Arena fina	20,5	17,67	2,83	2150	9%	-
Llatcón	29,2	20,13	9,07	2065	8,40%	50%
Llatcón+15% de material 1/2" de la Virginia+20% Puzolana	24,9	21,97	2,93	2085	8,10%	95,50%

RESULTADOS - CARACTERÍSTICAS MÉCANICAS		
Muestra	Cohesión (Kg/cm ²)	Angulo de fricción interna
La Virginia	1	47,87°
La Virginia+10% Puzolana	0,8	48,74°
La Virginia+12% Arena fina	0,65	42,96°
Llatcón	1	47,32
Llatcón+15% de material 1/2" de la Virginia+20% Puzolana	0,6	49,72
Llatcón+15% de material 1/2" de la Virginia+20% arena fina	0,85	59,23

Fuente: Autoría Propia

En la siguiente tabla se analiza si se cumplió con los respectivos mejoramientos la normativa ya mencionada anteriormente:

Tabla 51 Requerimientos de la normativa

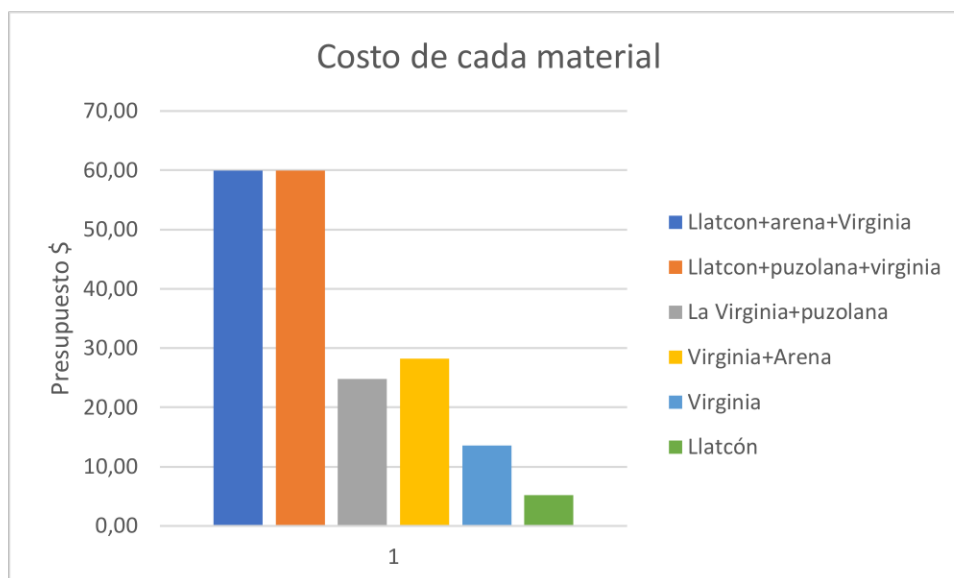
Ensayo	Norma MOP-001-F-2002
Límite Líquido	Menor a 25
Índice Plástico	Menor a 6
CBR	Mayor o igual a 80%
Ensayo de abrasión	Menor a 40%

Fuente: Autoría propia

Como se puede observar la tabla 50 se muestran todos los resultados obtenidos de los ensayos en los cuales también se realiza una comparación con la tabla 51 y todos los requerimientos para que el material funcione como una base se cumplen.

En la siguiente figura, se muestran los presupuestos totales de los materiales con su mejoramiento.

Figura 59 Costo de cada material



Fuente: Autoría Propia

Como se puede observar en la figura los precios más elevados a considerar son los de la mina de Llatcón cuando se añade material grueso de la Virginia y puzolana o arena, esto se debe a los costos de transporte que se tiene que considerar entre minas.

También se puede observar que el mejoramiento con arena para la mina La Virginia tiene un valor elevado, pero es el mejoramiento óptimo para que se cumplan todos los requisitos que establece la normativa.

5.2 Conclusiones

- a) Mediante los ensayos de laboratorio realizados se obtuvieron las propiedades mecánicas y físicas de los materiales extraídos en las minas de Virginia y Llatcón basándose en las especificaciones técnicas de la MOP-001-F-2002 y la normativa NEVI como guía de apoyo ya que no está vigente, en donde se evidencio que el material de la mina La Virginia cumple casi todos los requerimientos para que funcione como material de base, a diferencia de la mina de Llatcón que no cumple los requerimientos como base ya que el material producido se considera como mejoramiento y tiene exigencias menores que la base según la normativa mencionada.
- b) Según la bibliografía de Lopez Betata y Lopez Sevilla,2016; el ángulo de fricción para gravas sueltas es de 35° y gravas compactadas es de 40° , con estos parámetros se puede concluir que el material extraído en minas tanto como mejorado y sin mejorar cumple con los parámetros, ya que se obtuvieron los siguientes resultados: ángulo de fricción para mina La Virginia de 47.87° y Llatcón de 47.32° , La Virginia+10% puzolana 48.74° , La Virginia+12% arena es de 42.96° ,Llatcón+20% arena es de 49.72° y Llatcón+20% puzolana es de 40.03° , se analizó por ensayos de corte directo y ensayo triaxial UU.

- c) Se puede concluir en cuanto a la cohesión determinada mediante el ensayo de corte directo es nula ya que estos son materiales granulares y para el análisis se determinó una cohesión aparente las cuales varían entre 0.6 y 1.
- d) Se puede concluir que el material extraído de la mina La Virginia cumple con casi todos los requerimientos para que sea una base a excepción del parámetro de índice de plasticidad para que se ajuste a un material de base según las especificaciones técnicas MOP-001-F-2002 y NEVI, en el cual debería ser menor o igual a 6 y siendo el resultado ligeramente mayor con un 7.91.
- e) Se puede concluir que el material extraído de la mina de Llatcón se ajusta a las curvas granulométricas establecidas en la normativa NEVI para una base y ensayo de abrasión, teniendo en cuenta que los parámetros de CBR, límites de Atterberg no cumple como material de base.
- f) Con respecto al material de la mina de La Virginia este se puede considerar como base donde no se cumple únicamente con el parámetro de índice de plasticidad el cual se podría mejorar añadiendo material fino a diferencia del material de Llatcón ya que no cumple con varios parámetros establecidos como el CBR y límites de Atterberg el cual requiere mayor intervención para su mejoramiento y que cumpla los paramétricos establecidos en las especificaciones técnicas para que cumpla como un material de base.
- g) En la mina la Virginia se mejoró el material añadiendo agregado fino como es el caso de la puzolana, se obtuvo como resultado que se cumple con todos los parámetros establecidos de las especificaciones técnicas de la MOP-001-F-2002, en cuanto a las curvas granulométricas de la normativa NEVI no se ajusta a ninguna para poder clasificarlas como base, pero añadiendo el material de la Virginia con arena si se ajusta a las curvas granulométricas establecidas por la NEVI como base

clase 3 pero teniendo en cuenta que antes del mejoramiento se ajusta de mejor manera, como se observó en los gráficos expuestos anteriormente.

- h) En la mina de Llatcón se mejoró con dos tipos de mezcla de agregado; material grueso de la mina La Virginia+ puzolana y material grueso de la mina La Virginia+ arena en los cuales se obtuvieron resultados favorables ya que cumplen todas las especificaciones técnicas tanto de la MOP-001-F-2002 como de la NEVI.
- i) En los ensayos de CBR se puede observar que cuando se aplica mayor energía de compactación el material se desintegra ya que sufre una sobre compactación, entonces se puede concluir que este requiere menor energía de compactación para alcanzar la mayor resistencia tanto en el material mejorado como sin mejoramiento.
- j) Se puede concluir que la estabilización con puzolana en la mina de La Virginia es económica a comparación de la estabilización con arena, no obstante, con las fajas granulométricas se cumple con material de arena, tomar a consideración que para realizar los ensayos la experiencia del laboratorista como se estableció anteriormente, la única condición que no cumplía para que se consideré como base al material de la Virginia es el índice plástico.
- k) Se puede concluir que mejorar el material de la mina de Llatcón con puzolana al 10% y material grueso de la Virginia resulta más económico que la estabilización con arena al 12%, lo cual resulta favorable ya que los resultados de los ensayos con la puzolana de la misma manera se cumplen los requisitos técnicos para la puesta en obra.

5.3 Recomendaciones

- a) Se recomienda que para el uso del material extraído en las minas se realice un estudio de laboratorio previo y que el material tenga controles de calidad periódicos para garantizar el cumplimiento de la normativa.
- b) Se recomienda que, para estabilizaciones de suelos, el material añadido sea el óptimo para reducir costos y recursos.
- c) Se recomienda en cuanto al material de la Mina La Virginia se mantenga sin estabilización ya que es mínimo el parámetro que no cumple como es el caso del índice de plasticidad de las especificaciones técnicas, el momento en el que se añade material para mejorarlo deja de cumplir con las curvas granulométricas para una base de la normativa NEVI, en caso con la puzolana, para que de esta forma no se inviertan recursos.
- d) Se recomienda que, al momento de clasificar el suelo, se tome en cuenta el método de AASHTO ya que está enfocado al tema vial, en el cual el material va a ser puesto en obra.
- e) Se recomienda guiarse de las especificaciones técnicas de ensayos dentro del laboratorio para el buen empleo de instrumentos y obtener resultados veraces.
- f) Se recomienda para el caso de la mina la Virginia realizar la estabilización con arena ya que cumple todos los requisitos técnicos para que pueda catalogada como base, de igual manera en la parte de costos, es la estabilización que requiere menor inversión para obtener los resultados buscados.
- g) Se recomienda mejorar estabilizar el material de la mina de Llatcón con puzolana al 20% + 15% de material de la mina la Virginia por temas de costos y técnicos ya que cumple con los requisitos establecidos en las especificaciones técnicas correspondientes.

BIBLIOGRAFÍA

- Badillo, E. J. (1974). *Mecanica De Suelos I / Ground Mechanics I: Fundamentos de la Mecanica de Suelos / Fundamentals of Ground Mechanics*. Editorial Limusa.
- Castro León, L. M., & Delgado Garzón, P. V. (2017). *Determinación del material de mejoramiento con la adición de puzolana para vías rurales con material local de la mina La Virginia y Araña Huaycu* [MasterThesis].
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27720>
- Das, B. M. (2001a). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Cengage Learning Latin Am.
- Das, B. M. (2001b). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Cengage Learning Latin Am.
- Equipment, U. M. T. (s. f.). *Máquina de Abrasión Los Ángeles—PROPIEDADES MECÁNICOS Y FÍSICAS*. Utest Material Testing Equipment. Recuperado 22 de noviembre de 2022, de <https://www.utest.com.tr/es/25827/M-quina-de-Abrasi-n-Los-ngeles>
- Gabriels, D., & L, D. L. (2006). Métodos para determinar granulometría y densidad aparente del suelo. *Venesuelos*, 14(1), Art. 1.
- Gobierno Provincial del Azuay. (2016a). *DISEÑO DE EXPLOTACIONES DE LLANCON*. Gobierno Provincial de Azuay.
- Gobierno Provincial del Azuay. (2022). *BASE DE APUS VIALIDAD 2022*. Gobierno Provincial de Azuay.
- Gobierno Provincial del Azuay, L. (2016b). *DISEÑO DE EXPLOTACIÓN DE MATERIAL DEL LIBRE APROVECHAMIENTO LA VIRGINIA*. (p. 22).
- Idrovo Angumba, B. S. (2019). *Caracterización de suelos expansivos de la ciudad de Cuenca* [BachelorThesis]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/33514>
- LCweb—*Ensayo California Bearing Ratio*. (s. f.). Recuperado 26 de octubre de 2022, de http://www2.caminos.upm.es/departamentos/ict/lcweb/ensayos_suelos/cbr.html

López Beteta, Y. J., & López Sevilla, J. E. (2016). *Determinación de la resistencia de corte de los suelos de las comarcas: Buena vista, El Castillo N°1, Garnacha y Calle Campo Deportivo, municipio de San Juan de Oriente, Departamento de Masaya* [Other, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua].
<https://repositorio.unan.edu.ni/2908/>

López Maldonado, G. (2020). *Ensayos de compactación en carreteras: Proctor Normal y Modificado*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/139866>

Mecánica de suelos / Floor Mechanics: Flujo de agua en suelos / Flow of ... - Eulalio Juárez Badillo, Alfonso Rico Rodríguez—Google Libros. (s. f.). Recuperado 25 de octubre de 2022, de
https://books.google.com.ec/books?id=WKcAZAZg_EEC&source=gbs_book_oth er_versions

MECANICA DE SUELOS (TOMO I) | JUAREZ BADILLO | Casa del Libro. (s. f.). Recuperado 25 de octubre de 2022, de <https://www.casadellibro.com/libro-mecanica-de-suelos-tomo-i/9789681800697/356184>

Ministerio de Transporte y Obras Públicas – Entidad rectora del Sistema Nacional del Transporte Multimodal que formula, implementa y evalúa políticas, regulaciones, planes, programas y proyectos que garantizan una red de Transporte seguro y competitivo, minimizando el impacto ambiental y contribuyendo al desarrollo social y económico del País. (s. f.). Recuperado 25 de octubre de 2022, de
<https://www.obraspublicas.gob.ec/>

Especificaciones Técnicas MOP-001-F-2002, (2002).

https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf

- (NEVI-12), 1020 (2013). https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_3.pdf
- Palomino Terán, K. E. (2016). Capacidad portante (CBR) de un suelo arcilloso, con la incorporación del estabilizador MaxxSeal 100. *Universidad Privada del Norte*. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/10489>
- Salas, O. V. (2011). Ensayos triaxiales para suelos. *Métodos y Materiales*, 1, 14-24. <https://doi.org/10.15517/mym.v1i1.8391>
- Suárez Díaz, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales* [Text/pdf]. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. <https://desastres.medicina.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0101/doc0101.htm>
- Villalaz, C. C. (2005). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. Editorial Limusa.
- Villalta Vergara, J. C., & Chang Bernal, E. M. (2020). Estudio experimental de las propiedades físicas, mecánicas y de resistencia de suelos arcillosos mediante el uso de puzolana natural, polvo de ladrillo y goma guar en San Cristóbal-Huancavelica. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/653987>

ANEXOS.

Anexo fotográfico



Figura 60 Extracción de material de la mina La Virginia



Figura 61 Extracción de material de la mina Llatcón



Figura 62 Tendido de material extraído



Figura 63 Ensayo de granulometría por cribado



Figura 64 Lavado de material fino para granulometría



Figura 65 Material para ensayo de límites de Atterberg



Figura 66 Ensayo para límite líquido- Ensayo de Casa Grande



Figura 67 Muestras de ensayo para límite plástico



Figura 68 Material para ensayo Proctor y CBR



Figura 69 Ensayo Proctor modificado



Figura 70 Ensayo de CBR



Figura 71 Maquina para ensayo de CBR



Figura 72 Resultado de ensayo de compactación CBR



Figura 73 Preparación de material para ensayo de corte directo



Figura 74 Ensayo de corte directo



Figura 75 Preparación de muestra para ensayo triaxial UU

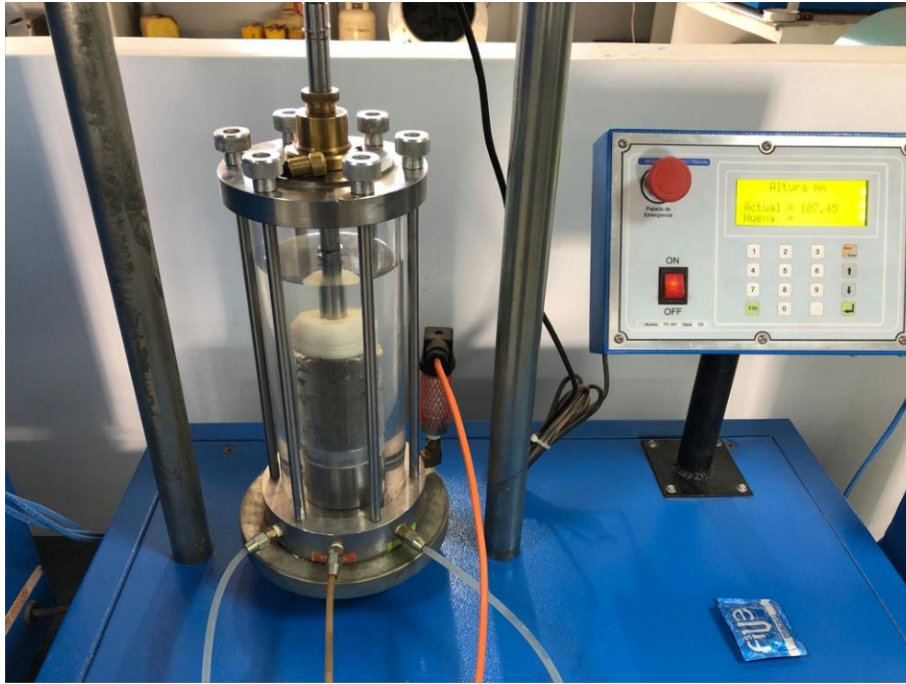


Figura 76 Ensayo triaxial UU



Figura 77 Muestra de ensayo triaxial UU



Figura 78 Ensayo CBR- moldes sumergidos



Figura 79 Ensayo de abrasión- Máquina de Los Ángeles

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



ANALISIS GRANULOMÉTRICO DEL SUELO MINA LA VIRGINIA

CARACTERIZACION FISICO-MECANICA DEL MATERIAL, BASE Y SUBBASE DE LA
 MINA VIRGINIA Y LLATCON, PERTENECIENTES A LA PREFECTURA DEL AZUAY.

PROYECTO

MUESTRA

LOLICITADO POR :

FECHA

Muestra de material de La Virginia

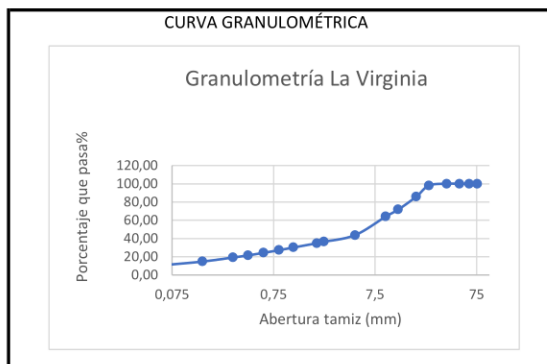
Ing. Luis Mario Almache

1/8/2022

TAMIZ Nº	ABERTURA MM.	PESO RET. GM.	RET. ACUM. GM.	% RETENIDO	% PASA	% ESPECIF.
3"	76,2	0	0	0	100	
2 1/2"	63,5	0	0	0	100	
2"	50,8	0	0	0	100	
1 1/2"	38,1	0	0	0	100	
1"	25,4	385	385	1,92	98,08	
3/4"	19,1	2421	2806	14,02	85,98	
1/2"	12,7	2836	5642	28,20	71,80	
3/8"	9,52	1562	7204	36,01	63,99	
Nº4	4,76	4058	11262	56,29	43,71	
PASA Nº4		8759	8745,88			
8	2,36	99,88	99,88	63,58	36,42	
10	2	22,08	121,96	65,19	34,81	
16	1,18	63,88	185,84	69,85	30,15	
20	0,85	40,25	226,09	72,78	27,22	
30	0,6	39,4	265,49	75,66	24,34	
40	0,42	39,11	304,6	78,51	21,49	
50	0,30	31,88	336,48	80,84	19,16	
100	0,15	60,73	397,21	85,27	14,73	
200	0,074	43,76	440,97	88,46	11,54	
FONDO		9,3	450,27	89,14	10,86	
TOTAL		20007,88				

PESO ANTES DEL ENSAYO	20040	PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO	=	600
PESO DESPUES DEL ENSAYO	20007,88	PESO SECO ANTES DEL LAVADO	=	599,11
% DE HUMEDD	0,150	PESO SECO DESPUES DEL LAVADO	=	452

% Grava	56,29
% Arenas	32,17
% Finos	11,54
% Total	100,00



Ing. Daniel Velez



Ing. Marcos Gonzales

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio UCACUE

Laboratorio de suelos del Gobierno Provincial
 del Azuay

Laboratorista UCACUE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL SUELO MINA LLATCÓN

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DEL MATERIAL, BASE Y SUBBASE DE LA MINA VIRGINIA y LLATCON, PERTENECIENTES A LA PREFECTURA DEL AZUAY.

PROYECTO

MUESTRA

SOLICITADO POR :

FECHA

Muestra Llatcón

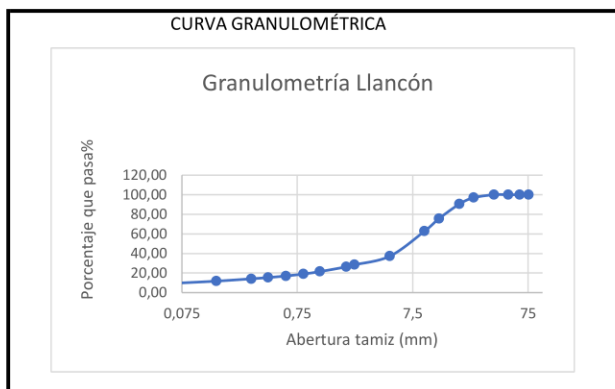
Ing. Luis Mario Almache

3/8/2022

	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%	%
TAMIZ Nº	MM.	GM.	GM.	RETENIDO	PASA	ESPECIF.
3"	76,2	0	0	0	100	
2 1/2"	63,5	0	0	0	100	
2"	50,8	0	0	0	100	
1 1/2"	38,1	0	0	0	100	
1"	25,4	601	601	2,99	97,01	
3/4"	19,1	1289	1890	9,42	90,58	
1/2"	12,7	2992	4882	24,33	75,67	
3/8"	9,52	2569	7451	37,13	62,87	
Nº4	4,76	5139	12590	62,73	37,27	
PASA No4		7606	7478,86			
8	2,36	139,45	139,45	71,54	28,46	
10	2	32,88	172,33	73,62	26,38	
16	1,18	77,56	249,89	78,52	21,48	
20	0,85	39,14	289,03	80,99	19,01	
30	0,6	31,25	320,28	82,97	17,03	
40	0,42	26,27	346,55	84,62	15,38	
50	0,30	20,14	366,69	85,90	14,10	
100	0,15	37,6	404,29	88,27	11,73	
200	0,074	29,56	433,85	90,14	9,86	
FONDO		10,95	444,8	90,83	9,17	
TOTAL		20068,86				

PESO ANTES DEL ENSAYO 20266 PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO = 600
 PESO DESPUES DEL ENSAYO 20068,86 PESO SECO ANTES DEL LAVADO = 589,96
 % DE HUMEDD 1,700 PESO SECO DESPUES DEL LAVADO = 442,64

% Grava	62,73		
% Arenas	27,40		
% Finos	9,86	% Total	100,00



DANIEL
SALVADOR
VELEZ FARFA



MARCOS DARIO
GONZALEZ
MALDONADO

Ing. Luis Mario Almache

Ing. Daniel Velez

Ing. Marcos Gonzales

Jefe de Laboratorio UCAUCE

Laboratorio de suelos del Gobierno Provincial del
Azuay

Laboratorista De UCACUE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



Limites de Attenberg Mina La Virginia

Caracterización físico-mecánica y propuestas de estabilización del material extraído de las minas La Virginia y Llatcón pertenecientes a la prefectura del Azuay

PROYECTO:

MUESTRA:

OLICITADO POR :

FECHA:

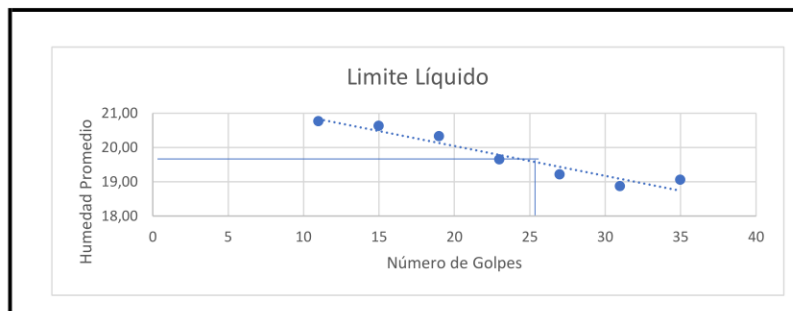
Material de la mina La Virginia

Ing Luis Mario Almache

8/8/2022

Límite Líquido

Cápsula	No. Golpes	Peso Humed	Peso Seco	Peso Cápsl	Peso Agua	Peso Suelo Seco	Humedad	Humedad Promedio
63	35	48,35	45,49	30,34	2,86	15,15	18,88	19,05
68		53,21	49,74	31,69	3,47	18,05	19,22	
78	31	52,97	49,26	29,76	3,71	19,5	19,03	18,86
93		49,33	46,25	29,78	3,08	16,47	18,70	
15	27	50,15	47,17	31,61	2,98	15,56	19,15	19,21
96		44,89	42,49	30,03	2,4	12,46	19,26	
105	23	54,82	50,68	29,8	4,14	20,88	19,83	19,65
108		49,31	46,33	31,02	2,98	15,31	19,46	
3	19	49,8	46,7	31,35	3,1	15,35	20,20	20,33
20		51,57	48,16	31,49	3,41	16,67	20,46	
1	15	52,14	48,47	31	3,67	17,47	21,01	20,63
77		44,65	42,15	29,8	2,5	12,35	20,24	
70	11	54,58	50,66	31,86	3,92	18,8	20,85	20,76
71		49,73	46,61	31,51	3,12	15,1	20,66	



Límite Plástico

Cápsula	No. Golpes	Peso Humed	Peso Seco	Peso Cápsl	Peso Agua	Peso Suelo Seco	Humedad	Humedad Promedio
10	-	33,35	33,12	31,34	0,23	1,78	12,92	11,69
78	-	34,36	34,03	29,76	0,33	4,27	7,73	
93	-	32,4	32,1	29,78	0,3	2,32	12,93	
96	-	34,29	33,93	30,03	0,36	3,9	9,23	

Límite Líquido	19,6
Límite Plástico	11,69
Índice de Plasticidad	7,91



Ing. Daniel Velez

Laboratorio de suelos del Gobierno
Provincial del Azuay



Ing. Marcos Gonzales

Laboratorista De UCACUE

Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio UCAUCE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



Limites de Attenberg Mina Llatcón

Caracterización físico-mecánica y propuestas de estabilización del material extraído de las minas La Virginia y Llatcón pertenecientes a la prefectura del Azuay

PROYECTO:

Material de Llatcón

MUESTRA:

Ing. Luis Mario Almache

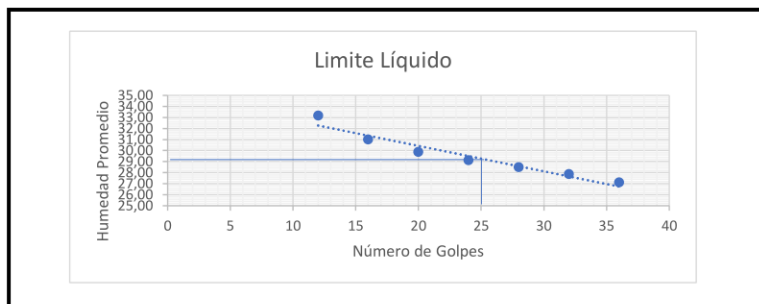
LOLICITADO POR :

9/8/2022

FECHA:

Límite Líquido

Cápsula	No. Golpes	Peso Hum	Peso Seco	Peso Cáps	Peso Agua	Peso Suelo Seco	Humedad	Humedad Promedio
55	36	64,28	59,95	43,89	4,33	16,06	26,96	27,08
40		61,53	57,71	43,67	3,82	14,04	27,21	
58	32	68,24	63,18	45	5,06	18,18	27,83	27,83
57		61,62	57,67	43,48	3,95	14,19	27,84	
45	28	67,59	62,38	44,18	5,21	18,2	28,63	28,49
51		61,24	57,3	43,4	3,94	13,9	28,35	
41	24	64,96	60,11	43,48	4,85	16,63	29,16	29,11
60		61,59	57,61	43,91	3,98	13,7	29,05	
44	20	65,29	60,56	44,76	4,73	15,8	29,94	29,86
53		59,54	55,59	42,33	3,95	13,26	29,79	
48	16	66,05	60,9	44,34	5,15	16,56	31,10	30,99
54		59,42	55,53	42,93	3,89	12,6	30,87	
42	12	61,47	56,85	42,97	4,62	13,88	33,29	33,14
59		57,91	54,37	43,64	3,54	10,73	32,99	



Límite Plástico

Cápsula	No. Golpes	Peso Hum	Peso Seco	Peso Cáps	Peso Agua	Peso Suelo Seco	Humedad	Humedad Promedio
50	-	47,47	46,93	44,29	0,54	2,64	20,45	20,13
43	-	45,15	44,65	42,19	0,5	2,46	20,33	
37	-	46,75	46,19	43,43	0,56	2,76	20,29	
47	-	46,05	45,57	43,12	0,48	2,45	19,59	
49	-	46,77	46,29	43,89	0,48	2,4	20,00	

Límite Líquido	29,2
Límite Plástico	20,13
Índice de Plasticidad	9,07



Firmado electrónicamente por:
DANIEL VELEZ FARRA
 Laboratorio de suelos del Gobierno Provincial del Azuay



Firmado electrónicamente por:
MARCOS DARIO GONZALEZ MALDONADO
 Laboratorista De UCACUE

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio UCAUCE

Ing. Marcos Gonzales
 Laboratorista De UCACUE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



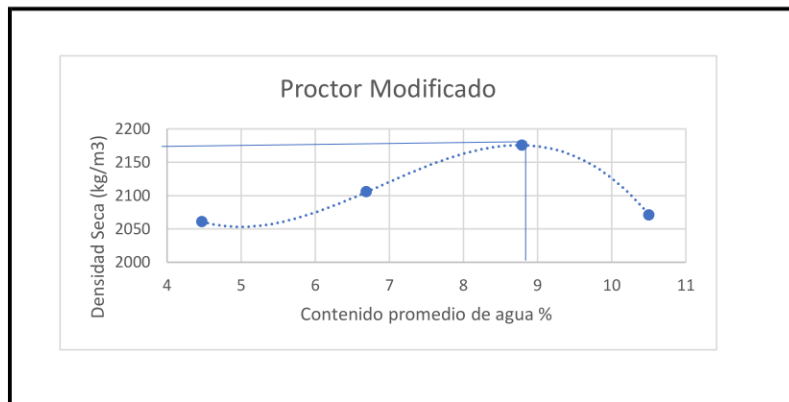
Proctor Modificado Mina La Virginia

Caracterización físico-mecánica y propuestas de estabilización del material
 extraído de las minas La Virginia y Llatcón pertenecientes a la prefectura del Azuay

PROYECTO:
 MUESTRA: Material de la Virginia
 SOLICITADO POR : Ing. Luis Mario Almache
 FECHA: 10/8/2022

Muestra	1	2	3	4	5
Agua Aumentada en (ml)	0	100	200	300	400
Peso Molde +Suelo Hum (kg)	11,022	11,22	11,476	11,361	11,309
Peso Molde Sin Collar (kg)	6,449	6,449	6,449	6,449	6,449
Peso Suelo Húmedo (kg)	4,573	4,771	5,027	4,912	4,86
Volumen del Cilindro Sin Collar (m ³)	0,002124	0,002124	0,002124	0,002124	0,002124
DENSIDAD HUMEDA (kg/m ³)	2153,01	2246,23	2366,76	2312,62	2288,14

Muestras para promediar	1		2		3		4		5	
Numero de Tarro	78	74	75	69	88	92	27	17	24	108
Peso tarro+suelo húmedo	198,43	214,05	190,34	183,77	180,31	183,94	217,01	223,86	248,48	213,12
Peso tarro+suelo seco	191,15	206,24	180,3	174,18	168,1	171,62	200,6	207,32	227,63	196
Peso Agua	7,28	7,81	10,04	9,59	12,21	12,32	16,41	16,54	20,85	17,12
Peso Tarro	29,76	30,1	29,72	31,24	30,1	30,58	31,15	31,14	31,48	31,02
Peso Suelo Seco	161,39	176,14	150,58	142,94	138	141,04	169,45	176,18	196,15	164,98
Contenido de agua %	4,51	4,43	6,67	6,71	8,85	8,74	9,68	9,39	10,63	10,38
CONT. PROMEDIO DE AGUA %	4,47		6,69		8,79		9,54		10,50	
DENSIDAD SECA (kg/m ³)	2060,84		2105,42		2175,50		2111,28		2070,65	



Humedad Optima	8,80%
Densidad seca max	2175,50 kg/m ³



Firmado electrónicamente por:
MARCOS DARIO GONZALEZ MALDONADO

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio UCAUCE

Ing. Daniel Velez
 Laboratorio de suelos del Gobierno
 Provincial del Azuay

Ing. Marcos Gonzales
 Laboratorista De
 UCACUE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



Proctor Estándar Mina La Virginia

Caracterización físico-mecánica y propuestas de estabilización del material
 extraído de las minas La Virginia y Llatcón pertenecientes a la prefectura del Azuay

PROYECTO:

MUESTRA:

OLICITADO POR :

FECHA:

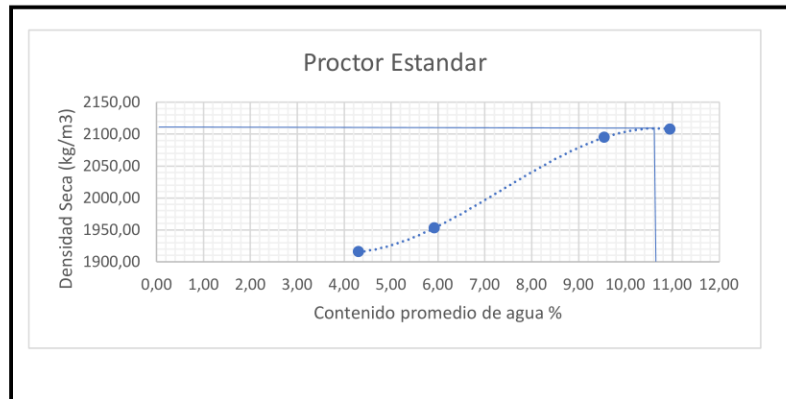
Material de la Virginia

Ing. Luis Mario Almache

10/8/2022

Muestra	1	2	3	4	5
Agua Aumentada en (ml)	0	100	200	300	400
Peso Molde +Suelo Hum (kg)	10,693	10,843	11,016	11,323	11,416
Peso Molde Sin Collar (kg)	6,449	6,449	6,449	6,449	6,449
Peso Suelo Húmedo (kg)	4,244	4,394	4,567	4,874	4,967
Volumen del Cilindro Sin Collar (m3)	0,002124	0,002124	0,002124	0,002124	0,002124
DENSIDAD HUMEDA (kg/m3)	1998,12	2068,74	2150,19	2294,73	2338,51

Muestras para promediar	1		2		3		4		5	
Numero de Tarro	68	27	74	12	29	9	79	21	78	97
Peso tarro+suelo húmedo	220,53	231,47	214,93	217,43	225,93	210	212,45	195,08	261,3	249,17
Peso tarro+suelo seco	212,51	223,42	204,48	207,15	211,62	196,69	196,23	181,07	238,94	227,06
Peso Agua	8,02	8,05	10,45	10,28	14,31	13,31	16,22	14,01	22,36	22,11
Peso Tarro	31,69	31,15	30,1	31,64	31,38	31,54	29,53	31,56	29,76	29,91
Peso Suelo Seco	180,82	192,27	174,38	175,51	180,24	165,15	166,7	149,51	209,18	197,15
Contenido de agua %	4,44	4,19	5,99	5,86	7,94	8,06	9,73	9,37	10,69	11,21
CONT. PROMEDIO DE AGUA %	4,31		5,92		8,00		9,55		10,95	
DENSIDAD SECA (kg/m3)	1915,54		1953,02		1990,93		2094,68		2107,68	



Humedad Optima	10,60%
Densidad seca max	2200 kg/m3



Ing. Daniel Velez

Laboratorio de suelos del Gobierno
 Provincial del Azuay



Ing. Marcos Gonzales

Laboratorista De
 UCACUE

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio UCAUCE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



Proctor Modificado Mina Llatcón

Caracterización físico-mecánica y propuestas de estabilización del material
 extraído de las minas La Virginia y Llatcón pertenecientes a la prefectura del Azuay

PROYECTO:

MUESTRA:

LOLICITADO POR :

FECHA:

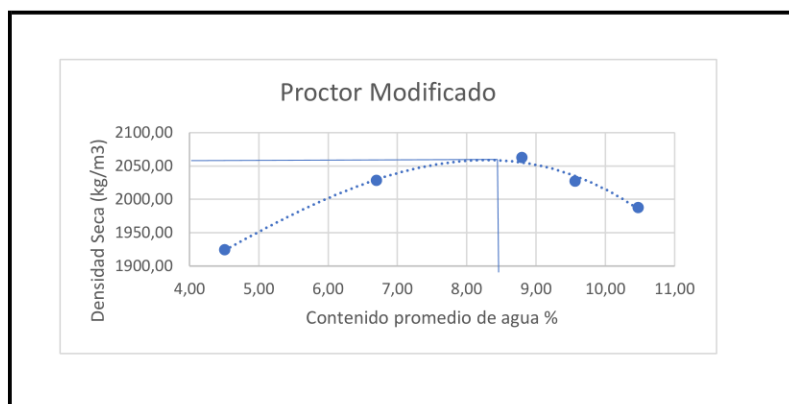
Material de Llatcón

Ing. Luis Mario Almache

11/8/2022

Muestra	1	2	3	4	5
Agua Aumentada en (ml)	100	200	300	400	500
Peso Molde +Suelo Hum (kg)	10,722	11,047	11,216	11,168	11,114
Peso Molde Sin Collar (kg)	6,451	6,451	6,451	6,451	6,451
Peso Suelo Húmedo (kg)	4,271	4,596	4,765	4,717	4,663
Volumen del Cilindro Sin Collar (m3)	0,002124	0,002124	0,002124	0,002124	0,002124
DENSIDAD HUMEDA (kg/m3)	2010,83	2163,84	2243,41	2220,81	2195,39

Muestras para promediar	1		2		3		4		5	
Numero de Tarro	87	70	9	101	18	103	12	5	11	90
Peso tarro+suelo húmedo	198,43	214,05	190,34	183,77	180,31	183,94	217,01	223,86	248,48	213,12
Peso tarro+suelo seco	191,15	206,24	180,3	174,18	168,1	171,62	200,6	207,32	227,63	196
Peso Agua	7,28	7,81	10,04	9,59	12,21	12,32	16,41	16,54	20,85	17,12
Peso Tarro	31,06	31,86	31,54	29,96	31,12	29,71	31,64	31,75	31,41	30,3
Peso Suelo Seco	160,09	174,38	148,76	144,22	136,98	141,91	168,96	175,57	196,22	165,7
Contenido de agua %	4,55	4,48	6,75	6,65	8,91	8,68	9,71	9,42	10,63	10,33
CONT. PROMEDIO DE AGUA %	4,51		6,70		8,80		9,57		10,48	
DENSIDAD SECA (kg/m3)	1924,00		2027,98		2062,00		2026,90		1987,15	



Humedad Optima	8,40%
Densidad seca max	2065 kg/m3



Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio UCAUCE

Ing. Daniel Velez
 Laboratorio de suelos del Gobierno
 Provincial del Azuay



Ing. Marcos Gonzales
 Laboratorista De
 UCACUE

Firmado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
 GONZALEZ
 MALDONADO**

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



Proctor Estándar Mina Llatcón

Caracterización físico-mecánica y propuestas de estabilización del material
 extraído de las minas La Virginia y Llatcón pertenecientes a la prefectura del
 Azuay

PROYECTO:

MUESTRA:

LOLICITADO POR :

FECHA:

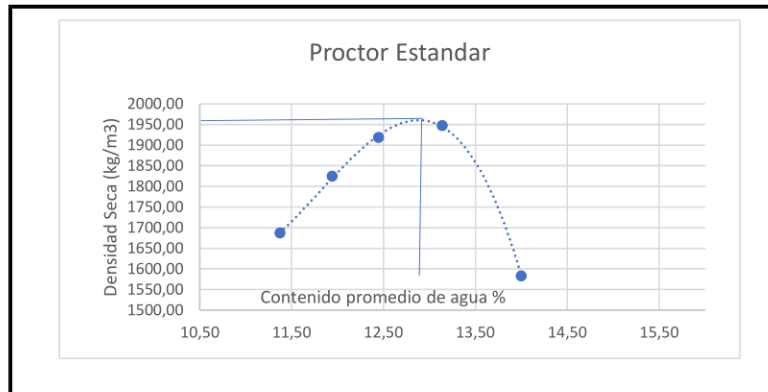
Material de Llatcón

Ing. Luis Mario Almache

11/8/2022

Muestra	1	2	3	4	5
Agua Aumentada en (ml)	100	200	300	400	500
Peso Molde +Suelo Hum (kg)	10,284	10,441	10,788	11,033	11,13
Peso Molde Sin Collar (kg)	6,451	6,451	6,451	6,451	6,451
Peso Suelo Húmedo (kg)	3,833	3,99	4,337	4,582	4,679
Volumen del Cilindro Sin Collar (m3)	0,002124	0,002124	0,002124	0,002124	0,002124
DENSIDAD HUMEDA (kg/m3)	1804,61	1878,53	2041,90	2157,25	2202,92

Muestras para promediar	1		2		3		4		5	
Numero de Tarro	93	77	71	63	79	68	97	74	21	9
Peso tarro+suelo húmedo	215,78	209,53	171,21	178,23	163,74	164,8	169,57	169,56	207,57	190,47
Peso tarro+suelo seco	201,12	195,74	155,55	163,13	149,84	150,19	154,64	153,6	187,27	171,89
Peso Agua	14,66	13,79	15,66	15,1	13,9	14,61	14,93	15,96	20,3	18,58
Peso Tarro	29,78	29,8	31,51	30,34	29,53	31,69	29,91	30,1	31,56	31,54
Peso Suelo Seco	171,34	165,94	124,04	132,79	120,31	118,5	124,73	123,5	155,71	140,35
Contenido de agua %	8,56	8,31	12,62	11,37	11,55	12,33	11,97	12,92	13,04	13,24
CONT. PROMEDIO DE AGUA %	14,00		11,37		11,94		12,45		13,14	
DENSIDAD SECA (kg/m3)	1582,99		1686,73		1824,08		1918,47		1947,11	



Humedad Óptima	12,90%
Densidad seca max	1955 kg/m3



DANIEL
SALVADOR
VELEZ PARRA

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio UCAUCE

Ing. Daniel Velez
 Laboratorio de suelos del Gobierno
 Provincial del Azuay



MARCOS DARIO
GONZALEZ
MALLDONADO

Ing. Marcos Gonzales
 Laboratorista De
 UCACUE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



CBR Mina la Virginia

Caracterización físico-mecánica y propuestas de estabilización del material extraído de las minas La Virginia y Ulatcón pertenecientes a la prefectura del Azuay

PROYECTO:

MUESTRA:

LOLICITADO POR :

FECHA:

Material de la Virginia

Ing. Luis Mario Almache

25/8/2022

Molde No.	2A		3A		4A	
Número de Capa	5		5		5	
Número de Golpes	56		25		12	
	Antes del remojo	Despues del remojo	Antes del remojo	Despues del remojo	Antes del remojo	Despues del remojo
Peso Muestra Húmeda+Molde (gr)	12202	12261	11979	12101	11725	11915
Peso del Molde (gr)	7252,5	7252,5	7243,5	7243,5	7248,5	7248,5
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	4949,5	5008,5	4735,5	4857,5	4476,5	4666,5
Volumen de la Muestra (cm ³)	2124	2124	2124	2124	2124	2124
Densidad Humeda (gr/cm ³)	2,330	2,358	2,230	2,287	2,108	2,197
Densidad Seca (gr/cm ³)	2,167	2,158	2,062	2,070	1,941	1,979

CONTENIDO DE AGUA (antes del remojo)

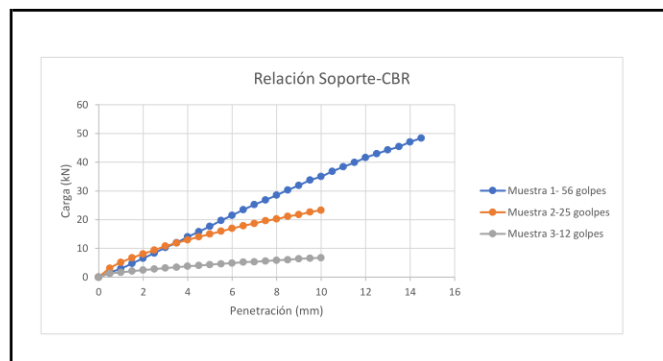
Tarro No.	101	70	90	9	21	79
Peso Muestra Húmeda+Tarro (gr)	114,37	124,2	199,3	191,57	194,33	166,94
Peso Muestra Seca+Tarro (gr)	108,55	117,63	186,61	179,54	181,38	156,13
Peso Agua	5,82	6,57	12,69	12,03	12,95	10,81
Peso Tarro	29,96	31,86	30,3	31,54	31,56	29,53
Peso Muestra Seca	78,59	85,77	156,31	148	149,82	126,6
Contenido de Humedad	0,074	0,077	0,081	0,081	0,086	0,085
Prom. Contenido de Humedad %	7,53%		8,12%		8,59%	

CONTENIDO DE AGUA (después del remojo)

Tarro No.	90	108	10	99	97	105	88	69	3
Peso Muestra Húmeda+Tarro (gr)	234,23	217,9	214,65	216,02	217,4	252,49	230,25	221,77	230,53
Peso Muestra Seca+Tarro (gr)	214,25	204,19	199,38	200,24	202,27	226,17	211,78	205,58	206,58
Peso Agua	19,98	13,71	15,27	15,78	15,13	26,32	18,47	16,19	23,95
Peso Tarro	30,3	31,02	31,34	30,97	29,91	29,8	30,1	31,24	31,35
Peso Muestra Seca	183,95	173,17	168,04	169,27	172,36	196,37	181,68	174,34	175,23
Humedad	0,11	0,08	0,09	0,09	0,09	0,13	0,10	0,09	0,14
Prom. Contenido de Humedad	9,29%		10,50%		11,04%				

RELACIÓN SOPORTE-CBR

Penetración	Muestra 1- 56 golpes	Muestra 2-25 golpes	Muestra 3-12 golpes
0	0	0	0
0,5	1,6	3,13	1,22
1	3	5,17	1,66
1,5	4,77	6,7	2,08
2	6,6	8,11	2,46
2,5	8,37	9,42	2,8
3	10,31	10,8	3,15
3,5	12	11,9	3,45
4	14	12,97	3,78
4,5	15,83	14	4,03
5	17,69	15	4,36
5,5	19,72	15,95	4,64
6	21,54	16,94	4,88
6,5	23,45	17,88	5,2
7	25,24	18,7	5,36
7,5	26,85	19,6	5,6
8	28,551	20,24	5,88
8,5	30,32	21,13	6,06
9	31,95	21,76	6,37
9,5	33,75	22,66	6,54
10	35,03	23,3	6,76
10,5	36,8		
11	38,41		
11,5	39,9		
12	41,61		
12,5	42,93		
13	44,25		
13,5	45,42		
14	47,06		
14,5	48,38		



PENETRACION	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
2,5 mm	63,41	71,36	21,21
5,0 mm	88,45	75	21,8



Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio UCAUCE

Ing. Daniel Velez
 Laboratorio de suelos del Gobierno Provincial del Azuay



Ing. Marcos Gonzales
 Laboratorista De UCACUE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



CBR MINA LLATCÓN

Caracterización físico-mecánica y propuestas de estabilización del material extraído de las minas La Virginia y Llatcón pertenecientes a la prefectura del Azuay

PROYECTO: Material de Llatcón
 MUESTRA: Ing. Luis Mario Almache
 LOLICITADO POR :
 FECHA: 25/8/2022

Molde No.	2		3		4	
Número de Capa	5		5		5	
Número de Golpes	56		25		12	
	Antes del remojo	Despues del remojo	Antes del remojo	Despues del remojo	Antes del remojo	Despues del remojo
Peso Muestra Húmeda+Molde (gr)	12685	12742	12498	12602	12118	12310
Peso del Molde (gr)	7957	7957	7935,5	7935,5	7947	7947
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	4728	4785	4562,5	4666,5	4171	4363
Volumen de la Muestra (cm3)	2124	2124	2124	2124	2124	2124
Densidad Humeda (gr/cm3)	2,226	2,253	2,148	2,197	1,964	2,054
Densidad Seca (gr/cm3)	1,993	2,000	1,938	1,939	1,758	1,793

CONTENIDO DE AGUA (antes del remojo)

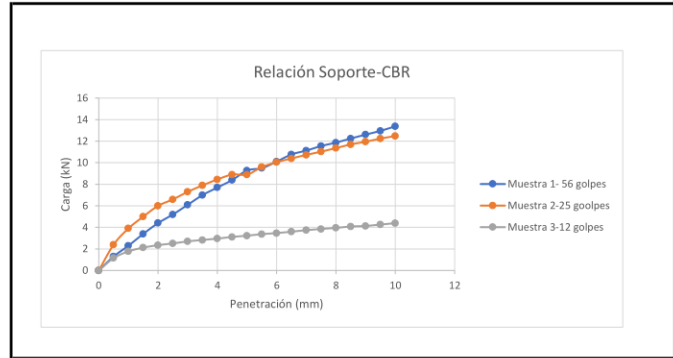
Tarro No.	22	18	20	68	5	76
Peso Muestra Húmeda+Tarro (gr)	146,88	157,44	156,11	151,48	128,02	132,4
Peso Muestra Seca+Tarro (gr)	134,91	144,09	143,6	140,06	117,73	121,94
Peso Agua	11,97	13,35	12,51	11,42	10,29	10,46
Peso Tarro	31,59	31,12	31,49	31,69	31,75	30,59
Peso Muestra Seca	103,32	112,97	112,11	108,37	85,98	91,35
Contenido de Humedad	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12	0,11
Prom. Contenido de Humedad %	11,70%		10,85%		11,71%	

CONTENIDO DE AGUA (después del remojo)

Tarro No.	9	21	68	70	101	76	22	92	20
Peso Muestra Húmeda+Tarro (gr)	192,76	193,62	189,68	201,05	183,4	226,46	201,06	218,86	248,69
Peso Muestra Seca+Tarro (gr)	175,19	177,89	169,23	182,35	167,04	199,99	180,86	196,9	217,05
Peso Agua	17,57	15,73	20,45	18,7	16,36	26,47	20,2	21,96	31,64
Peso Tarro	31,54	31,56	31,69	31,86	29,96	30,59	31,59	30,58	31,49
Peso Muestra Seca	143,65	146,33	137,54	150,49	137,08	169,4	149,27	166,32	185,56
Humedad	0,12	0,11	0,15	0,12	0,12	0,16	0,14	0,13	0,17
Prom. Contenido de Humedad	12,62%		13,33%		14,60%				

RELACIÓN SOPORTE-CBR

Penetración	Muestra 1- 56 golpes	Muestra 2-25 golpes	Muestra 3-12 golpes
0	0	0	0
0,5	1,3	2,4	1,15
1	2,3	3,9	1,77
1,5	3,4	5	2,12
2	4,4	6	2,35
2,5	5,2	6,6	2,51
3	6,1	7,3	2,7
3,5	7	7,9	2,83
4	7,7	8,45	2,96
4,5	8,4	8,9	3,11
5	9,28	8,9	3,23
5,5	9,5	9,6	3,37
6	10,11	10,05	3,47
6,5	10,77	10,4	3,6
7	11,13	10,73	3,74
7,5	11,55	11,03	3,85
8	11,87	11,36	3,95
8,5	12,25	11,7	4,08
9	12,61	11,95	4,13
9,5	12,96	12,24	4,26
10	13,38	12,48	4,39



PENETRACION	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
2,5 mm	39,39	50,00	19,02
5,0 mm	46,4	44,5	16,15



Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio UCAUCE

Ing. Daniel Velez
 Laboratorio de suelos del Gobierno Provincial del Azuay



Ing. Marcos Gonzales
 Laboratorio De UCACUE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL****LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN****ENSAYO DE ABRASIÓN DEL SUELO MINA LLATÓN Y VIRGINIA**

PROYECTO

CARACTERIZACION FISICO-MECANICA DEL MATERIAL, BASE Y SUBBASE DE LA MINA VIRGINIA y LLATCON, PERTENECIENTES A LA PREFECTURA DEL AZUAY.

MUESTRA

Muestra Llatcón y Virginia

SOLICITADO POR :

Ing. Luis Mario Almache

FECHA

22/8/2022

TABLA 1. Especificaciones para la carga

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2500 ± 15

NUMERO DE ESFERAS

12

12

MASA DE LA MUESTRAS

5000+25

5000+25

Tabla No. 2. Graduación de la muestra de prueba.

TAMAÑO DE MALLA (aberturas cuadradas) pulgadas		PESOS DE LOS TAMAÑOS INDICADOS, gramos			
Pasa:	Se retiene en:	GRADUACIÓN			
		A	B	C	D
1 1/2	1	1250 ± 25			
1	3/4	1250 ± 25			
3/4	1/2	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2	3/8	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8	1/4			2500 ± 10	
1/4	No. 4			2500 ± 10	
No. 4	No. 8				5000 ± 10
TOTAL		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Registrar la masa de la muestra antes del ensayo con aproximación de 1 g.

VIRGINIA		LLANCON	
Peso Inicial	5005	Peso Inicial	5012
Peso Final	3507	Peso Final	3636
DESGASTE	0,30	Desgaste	0,27

Firmado electrónicamente por:
**DANIEL
SALVADOR
VELEZ PARRA**Firmado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
GONZALEZ
MALDONADO**Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio
UCACUE

Ing. Daniel Velez

Laboratorio de suelos del Gobierno Provincial del Azuay

Ing. Marcos Gonzales

Laboratorista UCACUE

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

Código	Virginia	Número de ensayo	1	Ensayo	Triaxial UU
--------	----------	------------------	---	--------	-------------

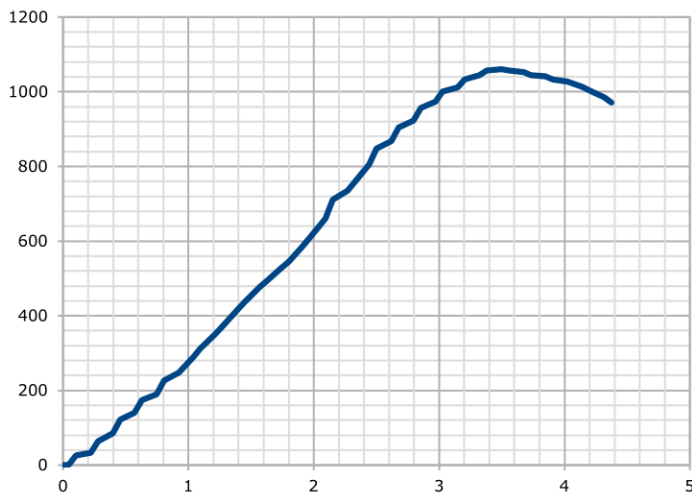
Ensayo Base

FECHA IMPRESIÓN	2023-01-18	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA ENSAYO	2022-08-17	386	Material Virginia

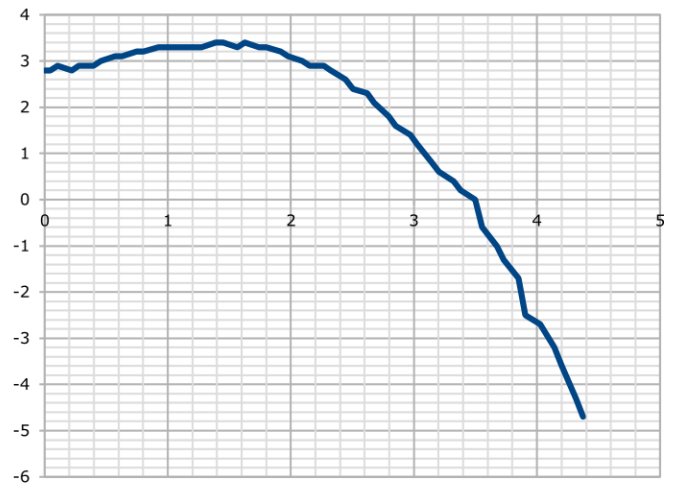
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	N.A.	INFORME No.	62
Estudiante	Sebastian Vanegas-Sofía Wilches	Carga aplicada	20 Kpa
PROYECTO	Tesis		

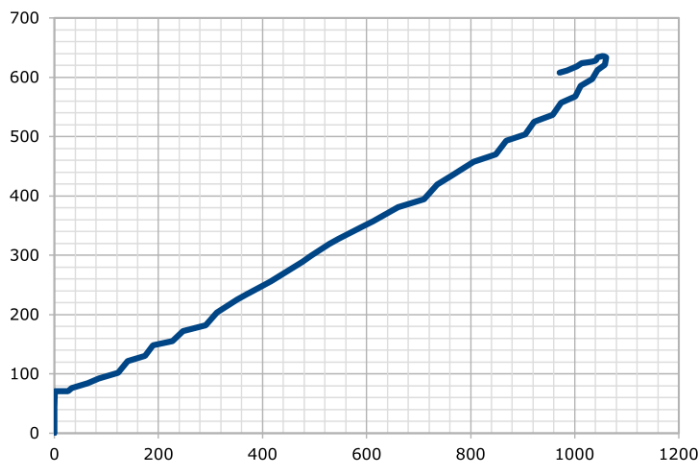
GRÁFICA ESFUERZO DESVIADOR (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



GRÁFICA PRESIÓN DE POROS (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



GRÁFICA p' vs q



VARIABLES DEL ENSAYO

Diámetro (mm)	50
Altura (mm)	93,5
Área (mm ²)	1963,494
Área corregida (mm ²)	2054,572
Carga Axial	2,155
Esfuerzo principal menor efectivo	73,3
Esfuerzo principal mayor efectivo	1132,641

FIRMA



Firmado electrónicamente por:
MARCOS DARIO GONZALEZ MALDONADO

LABORATORISTA	Ing. Marcos Gonzales	DIRECTOR LABORATORIO	Ing. Luis Mario Almache
---------------	----------------------	----------------------	-------------------------

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

Código	Virginia	Número de ensayo	2	Ensayo	Triaxial UU
--------	----------	------------------	---	--------	-------------

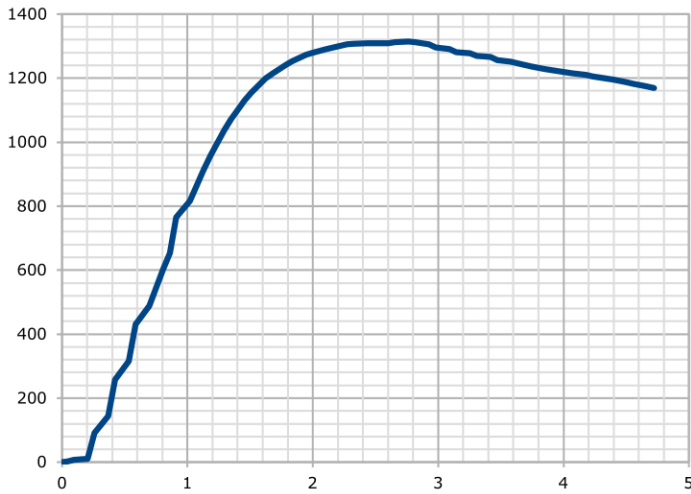
Ensayo Base

FECHA IMPRESIÓN	2023-01-18	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA ENSAYO	2022-08-17	388	MATERIAL VIRGINIA

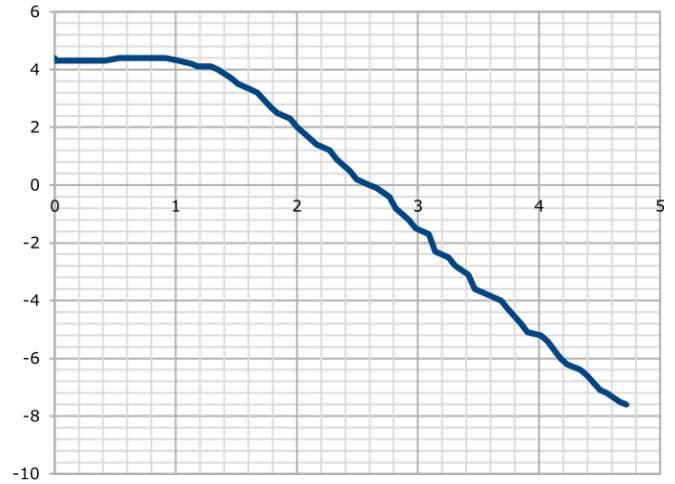
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	N.A.	INFORME No.	62
CLIENTE	Sebastian Vanegas-Sofía Wilches	Cargas	40 kPa
PROYECTO	Tesis		

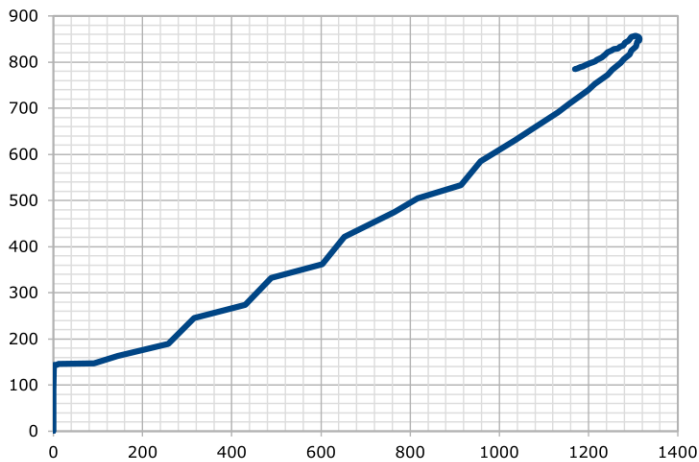
GRÁFICA ESFUERZO DESVIADOR (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



GRÁFICA PRESIÓN DE POROS (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



GRÁFICA p' vs q



VARIABLES DEL ENSAYO

Diámetro (mm)	50
Altura (mm)	100,5
Área (mm ²)	1963,494
Área corregida (mm ²)	2061,987
Carga Axial	2,654
Esfuerzo principal menor efectivo	133,1
Esfuerzo principal mayor efectivo	1446,215

FIRMA:



Firmado electrónicamente por:
MARCOS DARIO GONZALEZ MALDONADO

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

DIRECTOR LABORATORIO

Ing. Luis Mario Almache

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

Código	Virginia	Número de ensayo	3	Ensayo	Triaxial UU
--------	----------	------------------	---	--------	-------------

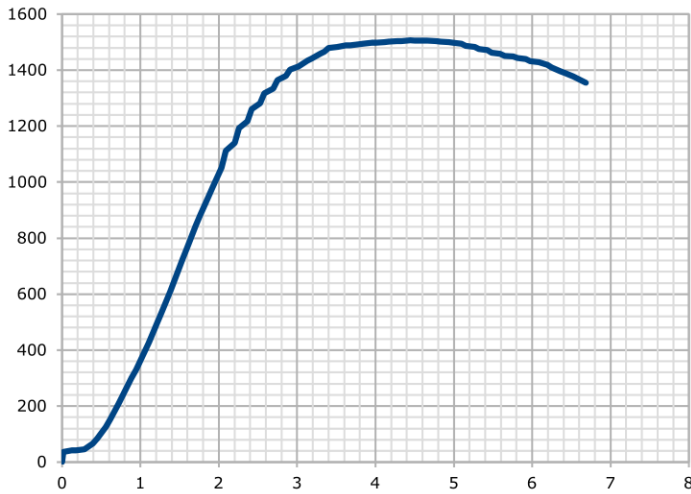
Ensayo Base

FECHA IMPRESIÓN	2023-01-18	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA ENSAYO	2022-08-17	389	Virginia

INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	N.A.	INFORME No.	62
Estudiante	Sebastián Vanegas-Sofía Wilches	Carga aplicada	80kPa
PROYECTO	Tesis		

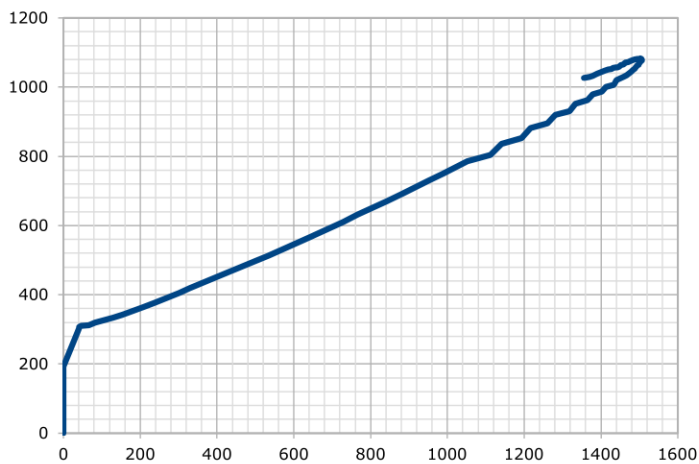
GRÁFICA ESFUERZO DESVIADOR (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



GRÁFICA PRESIÓN DE POROS (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



GRÁFICA p' vs q



VARIABLES DEL ENSAYO

Diámetro (mm)	50
Altura (mm)	100
Área (mm ²)	1963,494
Área corregida (mm ²)	2101,699
Carga Axial	3,099
Esfuerzo principal menor efectivo	225,4
Esfuerzo principal mayor efectivo	1725,201

FIRMA



Firmado electrónicamente por:
MARCOS DARIO GONZALEZ MALDONADO

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

DIRECTOR LABORATORIO

Ing. Luis Mario Almache

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ENSAYO TRIAXIAL UU DE LLATCÓN



CARACTERIZACION FISICO-MECANICA DEL MATERIAL, BASE Y SUBBAS
 LA MINA VIRGINIA y LLATCON, PERTENECIENTES A LA PREFECTURA DEL
 AZUAY.

PROYECTO

MUESTRA

SOLICITADO POR :

FECHA

Material de Llatcón

Ing. Luis Mario Almache

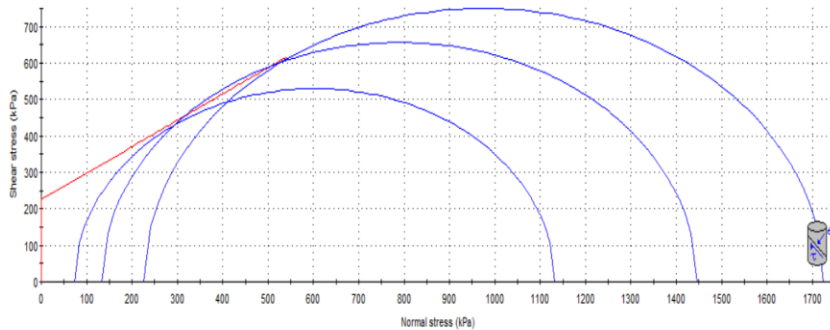
17/8/2022

	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
Diametro (mm)	50	50	50
Altura (mm)	93,5	100,5	100
Area Corregida(mm ²)	2054,572	2061,987	2101,699
Carga Axial	2,155	2,654	3,099
Esfuerzo Principal menor efectivo	73,3	133,1	225,4
Esfuerzo Principal mayor efectivo	1132,641	1446,215	1725,201

	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
RADIO	529,6705	656,5575	749,9005
CENTRO	602,9705	789,6575	975,3005

Cohesión (kg/cm ²)	2,3
Angulo de Fricción	35,81°

CIRCULO DE MOHR-COULOMB



Firmado electrónicamente por:
**DANIEL
 SALVADOR
 VELEZ PARRA**



Firmado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
 GONZALEZ
 MALDONADO**

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio UCACUE

Ing. Daniel Velez
 Laboratorio de suelos del
 Gobierno Provincial de Azuay

Ing. Marcos Gonzales
 Laboratorista UCAUCE

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

Código	Llactón	Número de ensayo	1	Ensayo	Triaxial UU
--------	---------	------------------	---	--------	-------------

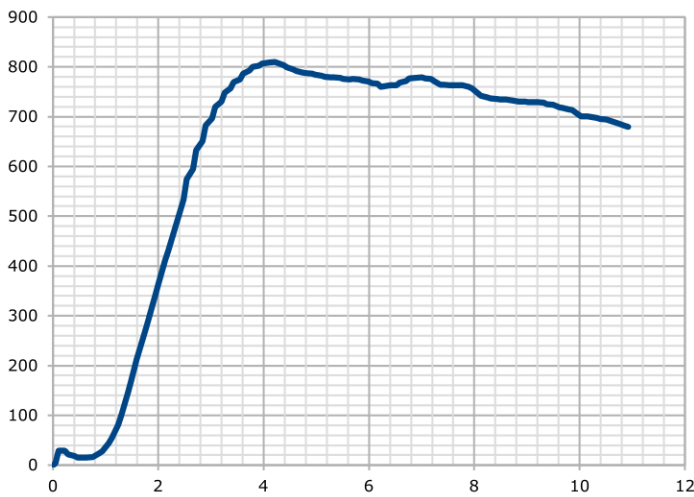
Ensayo Base

FECHA IMPRESIÓN	2023-01-18	No. ENSAYO	
FECHA ENSAYO	2022-08-17	391	MATERIAL
			Material Llactón

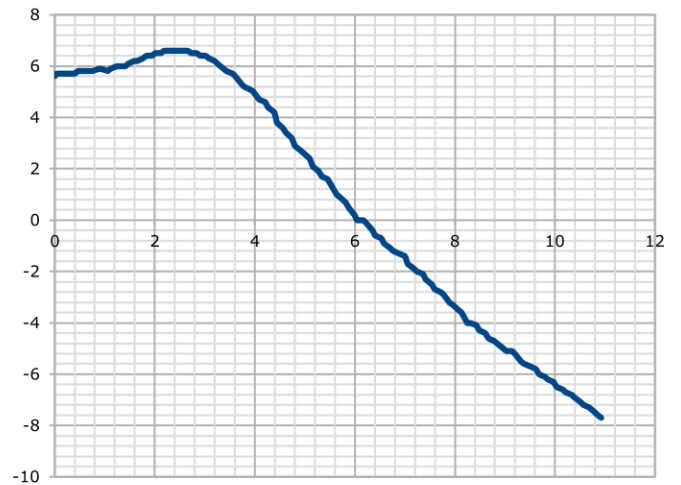
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	N.A.	INFORME No.	62
Estudiante	Sebastián Vanegas-Sofía Wilches	Carga	20kPa
PROYECTO	Tessi		

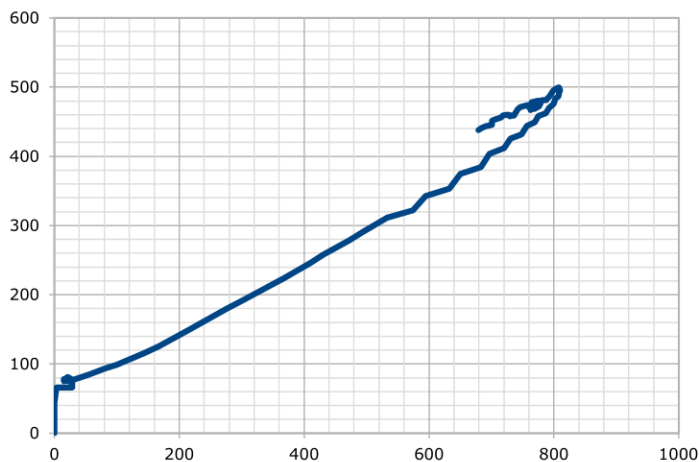
GRÁFICA ESFUERZO DESVIADOR (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



GRÁFICA PRESIÓN DE POROS (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



GRÁFICA p' vs q



VARIABLES DEL ENSAYO

Diámetro (mm)	50
Altura (mm)	92
Área (mm ²)	1963,494
Área corregida (mm ²)	2207,257
Carga Axial	1,658
Esfuerzo principal menor efectivo	64,7
Esfuerzo principal mayor efectivo	872,599

Firma



firmado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
 GONZALEZ
 MALDONADO**

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

DIRECTOR LABORATORIO

Ing. Luis Mario Almache

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

Código	Llatcón	Número muestra	2	Ensayo	Triaxial UU
--------	---------	----------------	---	--------	-------------

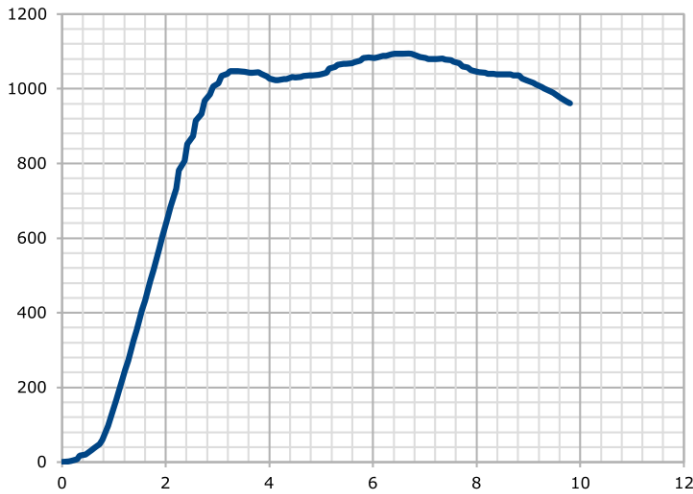
Ensayo Base

FECHA IMPRESIÓN	2023-01-18	No. ENSAYO	
FECHA ENSAYO	2022-08-17	393	MATERIAL Indeterminado

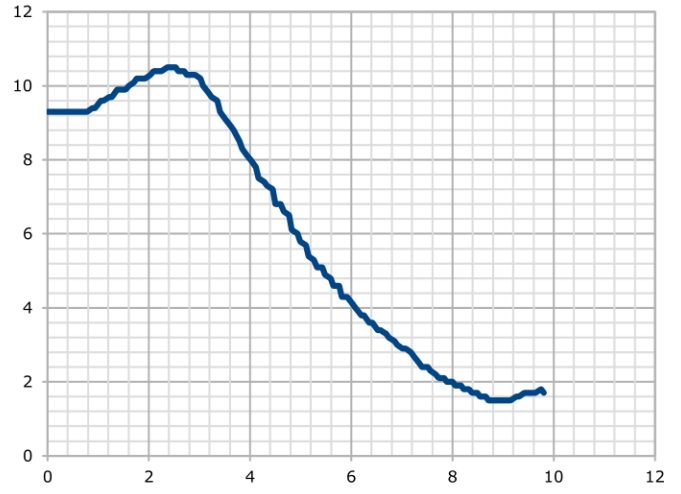
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	N.A.	INFORME No.	62
Estudiante	Sebastián Vanegas-Sofía Wilches	Carga	40kPa
PROYECTO	Tesis		

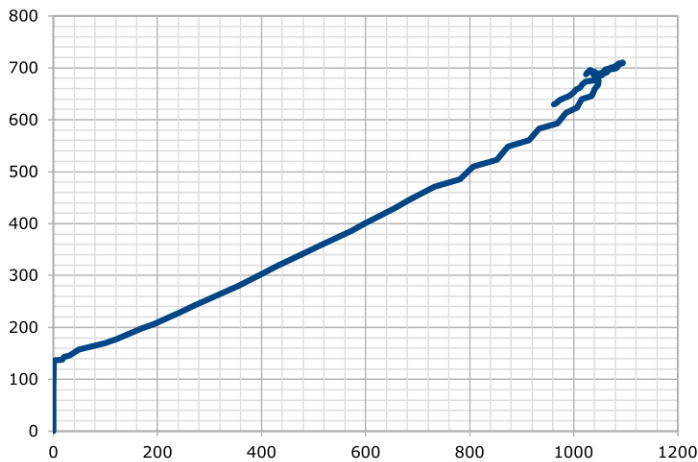
GRÁFICA ESFUERZO DESVIADOR (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



GRÁFICA PRESIÓN DE POROS (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



GRÁFICA p' vs q



VARIABLES DEL ENSAYO

Diámetro (mm)	50
Altura (mm)	100
Área (mm ²)	1963,494
Área corregida (mm ²)	2176,887
Carga Axial	2,301
Esfuerzo principal menor efectivo	121,3
Esfuerzo principal mayor efectivo	1202,553

Firma



Firmado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
GONZALEZ
MALDONADO**

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

DIRECTOR LABORATORIO

Ing. Luis Mario Almache

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

Código	Llarcón	Número de muestra	3	Ensayo	Triaxial UU
--------	---------	-------------------	---	--------	-------------

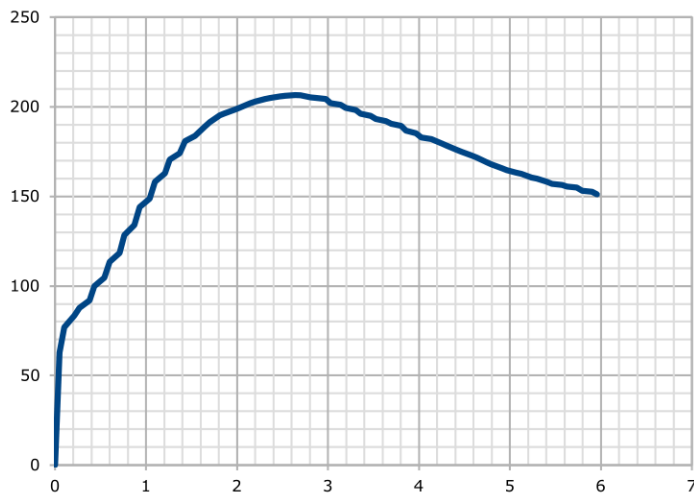
Ensayo Base

FECHA IMPRESIÓN	2023-01-18	No. ENSAYO	
FECHA ENSAYO	2022-08-17	394	MATERIAL Llarcón

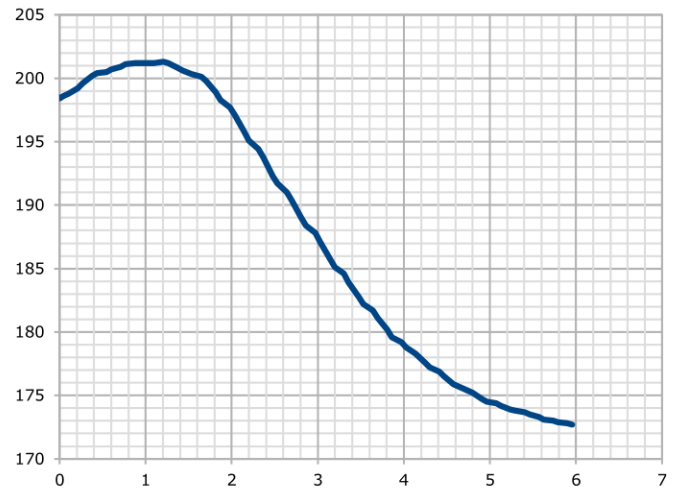
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	N.A.	INFORME No.	62
Estudiante	Sebastián Vanegas-Sofía Wilches	Carga	80kPa
PROYECTO	Tesis		

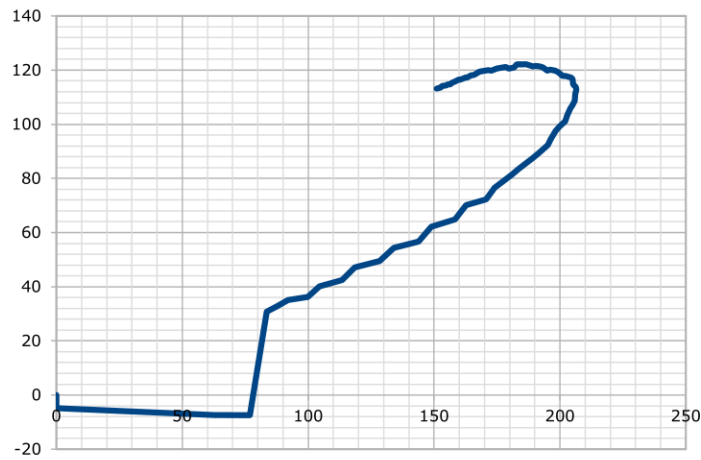
GRÁFICA ESFUERZO DESVIADOR (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



GRÁFICA PRESIÓN DE POROS (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



GRÁFICA p' vs q



VARIABLES DEL ENSAYO

Diámetro (mm)	50
Altura (mm)	99
Área (mm ²)	1963,494
Área corregida (mm ²)	2087,864
Carga Axial	0,416
Esfuerzo principal menor efectivo	24,6
Esfuerzo principal mayor efectivo	214,87

OBSERVACIONES:

LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO	
---------------	---------------------------	----------------------	--

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ENSAYO TRIAXIAL UU DE LLATCÓN



PROYECTO

CARACTERIZACION FISICO-MECANICA DEL MATERIAL, BASE Y SUBBASE DE LA MINA VIRGINIA y LLATCON, PERTENECIENTES A LA PREFECTURA DEL AZUAY.

MUESTRA

Material de Llatcón

OLICITADO POR :

Ing. Luis Mario Almache

FECHA

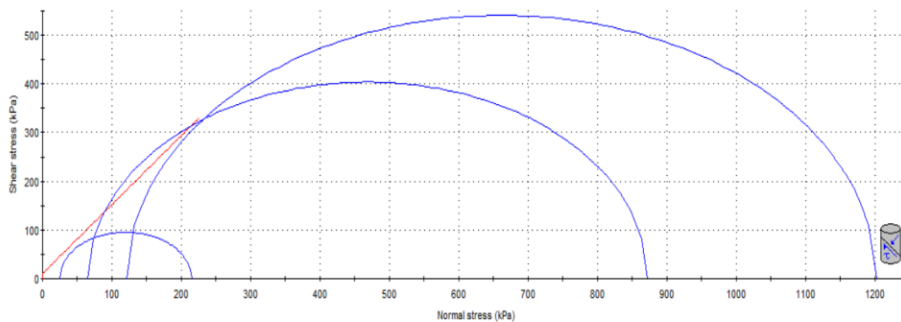
17/8/2022

	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
Diametro (mm)	50	50	50
Altura (mm)	92	100	99
Area Corregida(mm2)	2207,257	2176,887	2087,864
Carga Axial	1,658	2,301	0,416
Esfuerzo Principal menor efectivo	64,7	121,3	24,6
Esfuerzo Principal mayor efectivo	872,599	1202,553	214,87

	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
RADIO	403,9495	540,6265	95,135
CENTRO	468,6495	661,9265	119,735

Cohesión (kg/cm2)	0,1
Angulo de Fricción	54,77°

CIRCULO DE MOHR-COULOMB



Firmado electrónicamente por:
**DANIEL
 SALVADOR
 VELEZ PARRA**



Firmado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
 GONZALEZ
 MALDONADO**

Ing. Luis Mario Almache

Ing. Daniel Velez

Ing. Marcos Gonzales

Jefe de Labotario UCACUE

Laboratorio de suelos del
 Gobierno Provincial de Azuay

Laboratorista UCAUCE



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CÓDIGO	Virginia	Ensayo:	Corte Directo
Número de muestra	1	Carga	10kg

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR

FECHA DE IMPRESIÓN	2023-01-18	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2022-08-16	550	La Virginia

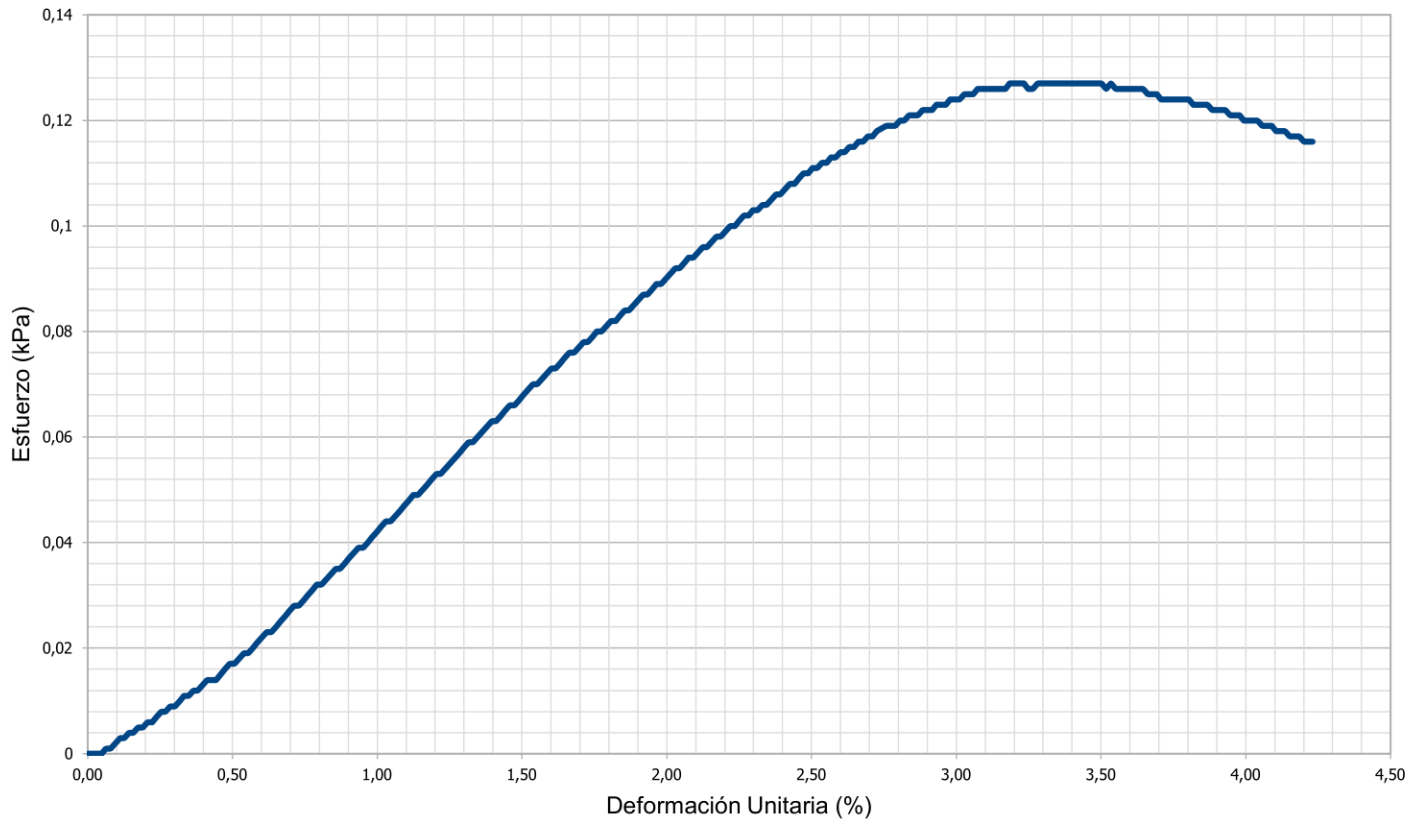
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	Virginia M1
Estudiante	Sebastián Vanegas-Sofía Wilches
PROYECTO	Tesis

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO

Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63,1	2,67	4,231	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
3981,61	504,6	0,127	

GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



Firma



Firmado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
 GONZALEZ
 MALDONADO**

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

DIRECTOR LABORATORIO

Ing. Luis Mario Almache



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CÓDIGO	Virginia	Ensayo	Corte Directo
Número de muestra	2	Carga	20kg

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR

FECHA DE IMPRESIÓN	2023-01-18	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2022-08-16	551	Virginia

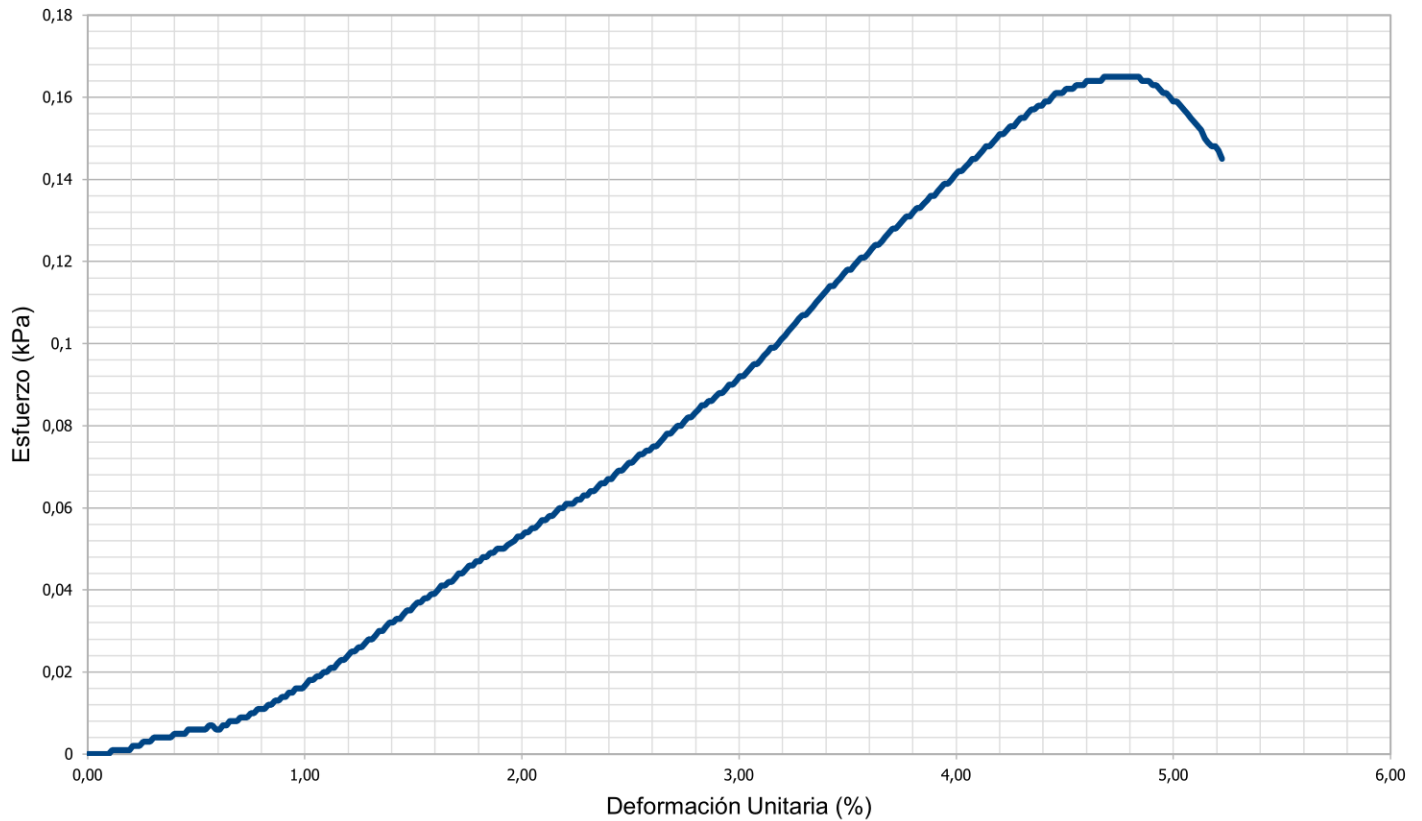
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	Virginia M2
Estudiante	Sebastián Vanegas-Sofía Wilches
PROYECTO	Tesis

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO

Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
62,6	3,28	5,24	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
3918,76	647,2	0,165	

GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



Firma



Firmado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
 GONZALEZ
 MALDONADO**

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

DIRECTOR LABORATORIO

Ing. Luis Mario Almache



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CÓDIGO	Virginia	Ensayo	Corte Directo
Número de muestra	3	Carga	40kg

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR

FECHA DE IMPRESIÓN	2023-01-18	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2022-08-16	552	Virginia

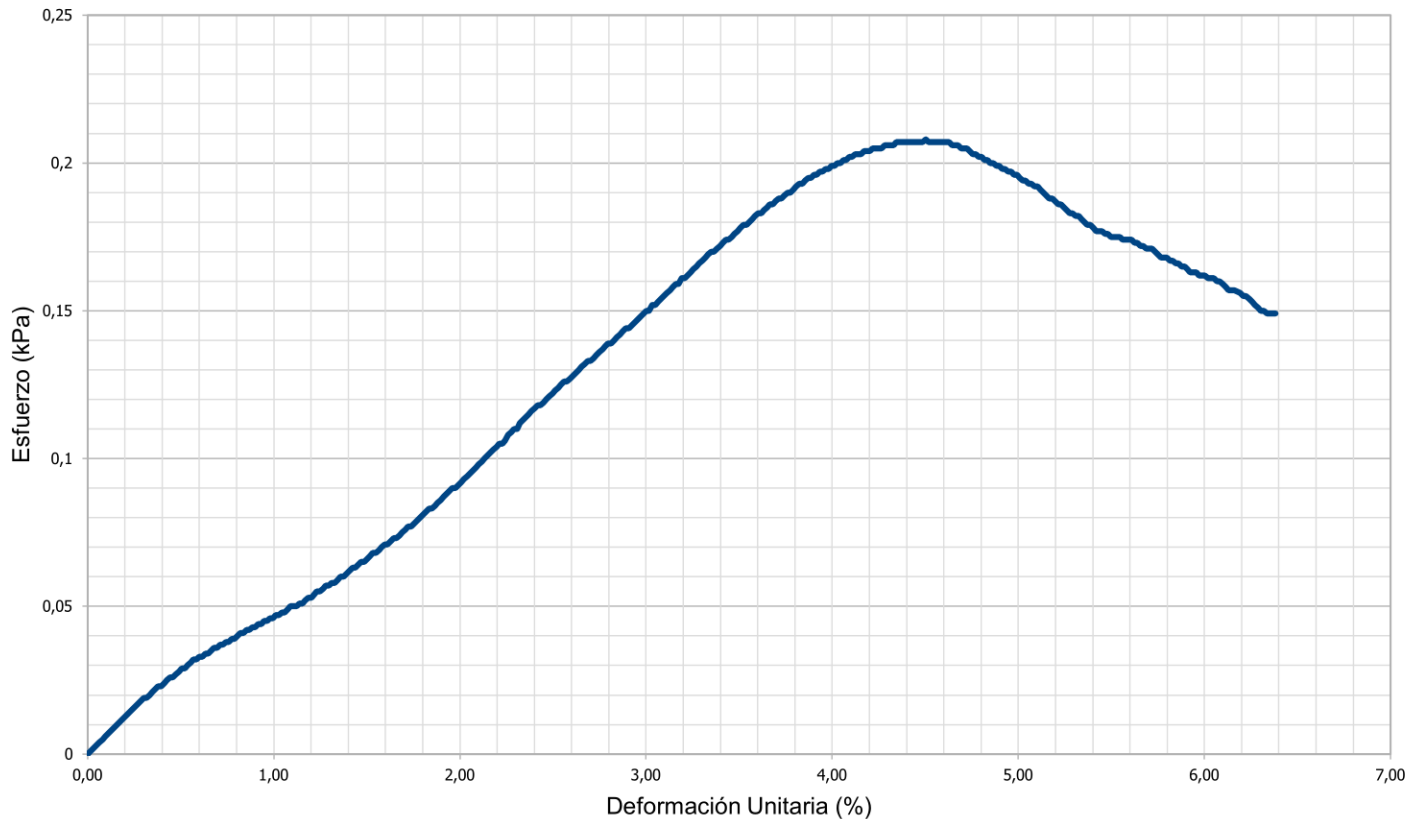
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	Virginia M3
Estudiante	Sebastián Vanegas-Sofía Wilches
PROYECTO	Tesis

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO

Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63,3	4,05	6,398	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
4006,89	831,6	0,208	

GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



Firma



Firmado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
 GONZALEZ
 MALDONADO**

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

DIRECTOR LABORATORIO

Ing. Luis Mario Almache

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

CORTE DIRECTO DE LA VIRGINIA



CARACTERIZACION FISICO-MECANICA DEL MATERIAL, BASE Y SUBI
 DE LA MINA VIRGINIA y LLATCON, PERTENECIENTES A LA PREFECTURA
 DEL AZUAY.

PROYECTO

MUESTRA

SOLICITADO POR :

FECHA

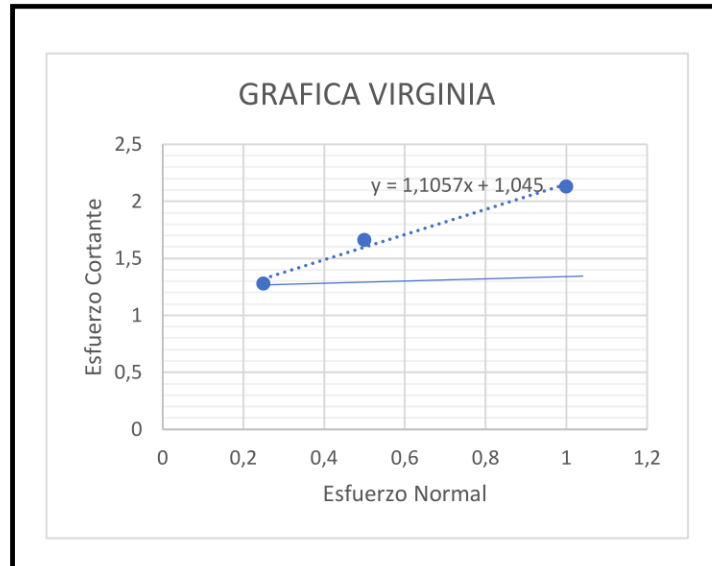
Material de la Virginia

Ing. Luis Mario Almache

16/8/2022

Muestras	Esfuerzo Normal	Esfuerzo Cortante
	kg/cm ²	kg/cm ²
Muestra 1	0,2500	1,2800
Muestra 2	0,5000	1,6600
Muestra 3	1,0000	2,1300

Cohesión (kg/cm ²)	1
Angulo de Fricción	47,87



Firmado electrónicamente por:
**DANIEL
 SALVADOR
 VELEZ PARRA**



Firmado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
 GONZALEZ
 MALDONADO**

Ing. Luis Mario Almache

Jefe de Laboratorio UCACUE

Ing. Daniel Velez

Laboratorio de suelos del
 Gobierno Provincial de Azuay

Ing. Marcos Gonzales

Laboratorista UCAUCE



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CÓDIGO	Llatacón	Ensayo	Corte Directo
Número de ensayo	1	Carga	10kg

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR

FECHA DE IMPRESIÓN	2023-01-18	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2022-08-16	553	Llatacón

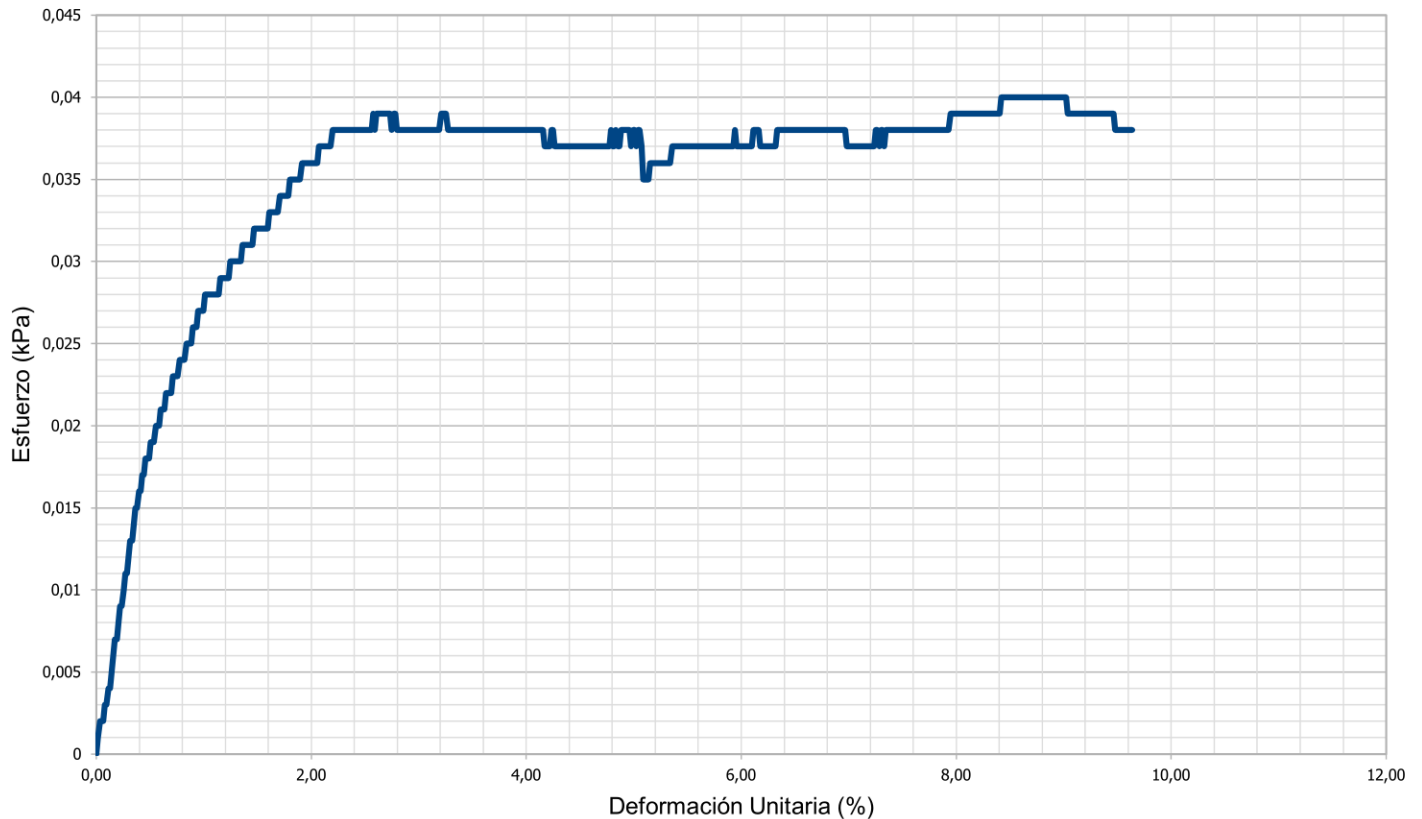
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	Llatacón M1
Estudiante	Sebastián Vanegas-Sofía Wilches
PROYECTO	Tesis

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO

Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63,3	6,1	9,637	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
4006,89	160	0,04	

GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



Firma



Firmado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
 GONZALEZ
 MALDONADO**

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

DIRECTOR LABORATORIO

Ing. Luis Mario Almache



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CÓDIGO	LLATCON	Ensayo	Corte Directo
Número de ensayo	2	Carga	20kg

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR

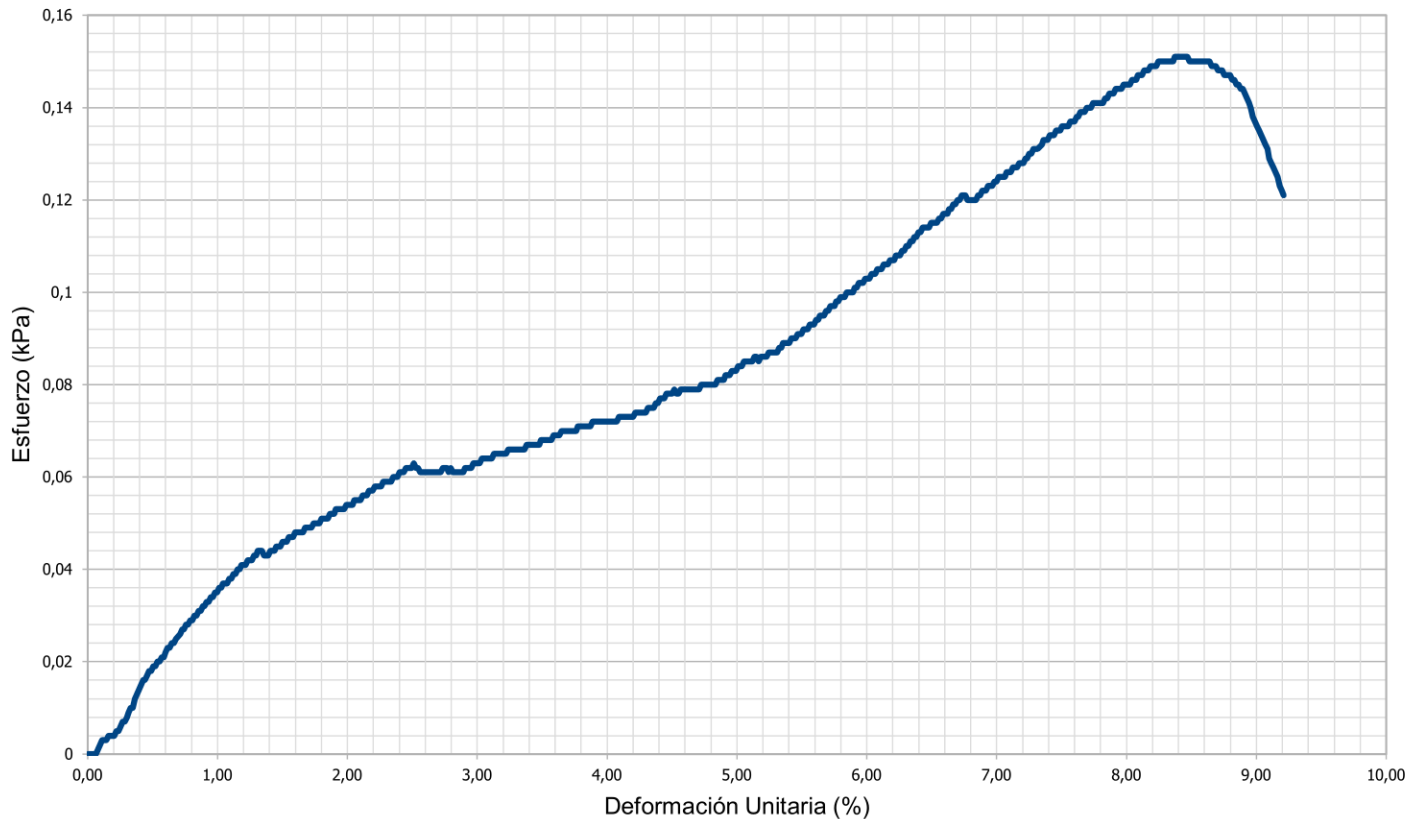
FECHA DE IMPRESIÓN	2023-01-18	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2022-08-16	554	Llatcón

INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	Llatcon M2		
Estudiante	Sebastián Vanegas-Sofía Wilches		
PROYECTO	Tesis		

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO

Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63,3	5,84	9,226	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
4006,89	607	0,151	



OBSERVACIONES:



Firmado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
 GONZALEZ
 MALDONADO**

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

DIRECTOR LABORATORIO

Ing. Luis Mario Almache



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CÓDIGO	LLATCON	Ensayo	Corte Directo
Número de ensayo	3	Carga	40 kg

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR

FECHA DE IMPRESIÓN	2023-01-18	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2022-08-17	555	Llatcón

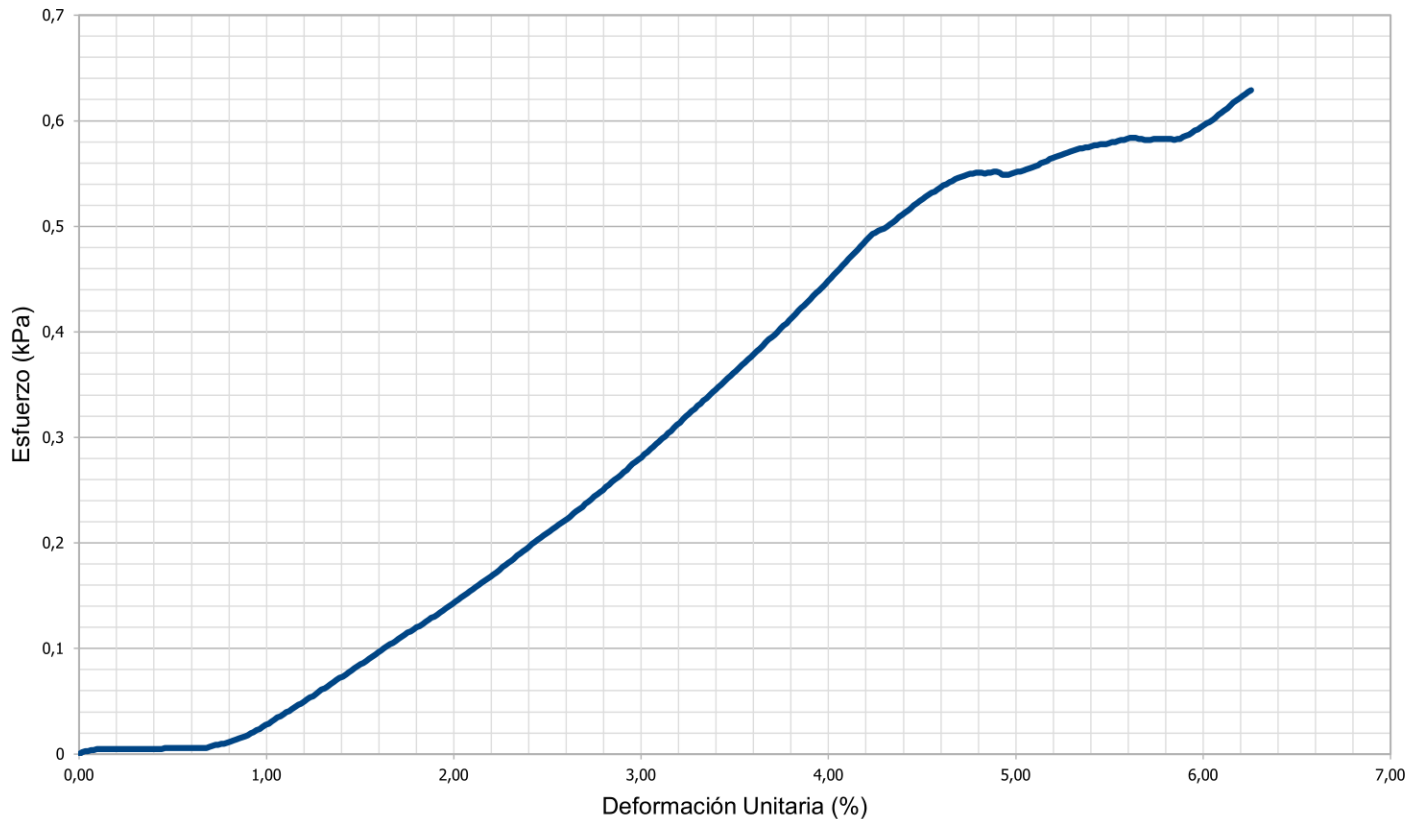
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	Llatcón M3
CLIENTE	Sebastián Vanegas-Sofía Wilches
PROYECTO	Tesis

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO

Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63,3	3,96	6,256	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
4006,89	2520,6	0,24	

GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



OBSERVACIONES:



Firmado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
 GONZALEZ
 MALDONADO**

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

DIRECTOR LABORATORIO

Ing. Luis Mario Almache

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



CARACTERIZACION FISICO-MECANICA DEL MATERIAL, BASE Y SUBBA
 LA MINA VIRGINIA y LLATCON, PERTENECIENTES A LA PREFECTURA DEL
 AZUAY.

PROYECTO

MUESTRA

SOLICITADO POR :

FECHA

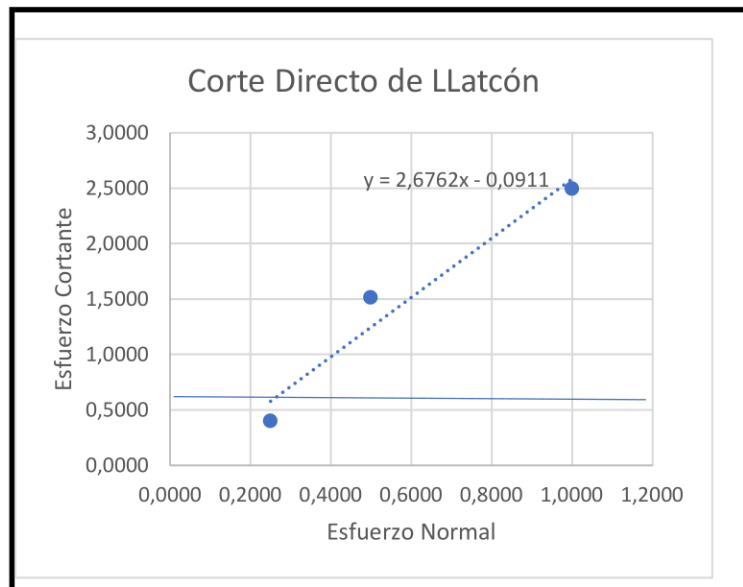
Material de Llatcón

Ing. Luis Mario Almache

17/8/2022

Muestras	Esfuerzo N	Esfuerzo Cortante
	kg/cm ²	kg/cm ²
Muestra 1	0,2500	0,3993
Muestra 2	0,5000	1,5149
Muestra 3	1,0000	2,4958

Cohesión (kg/cm ²)	0,6
Angulo de Fricción	47,47°



Firmado electrónicamente por:
**DANIEL
 SALVADOR
 VELEZ PARRA**



Firmado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
 GONZALEZ
 MALDONADO**

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Labotario UCACUE

Ing. Daniel Velez
 Laboratorio de suelos del
 Gobierno Provincial de Azuay

Ing. Marcos Gonzales
 Laboratorista UCAUCE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL SUELO MINA LA VIRGINIA+ 12% del pasante tamiz #40 de Arena

PROYECTO CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DEL MATERIAL, BASE Y SUBBASE DE LA
MINA VIRGINIA y LLATCON, PERTENECIENTES A LA PREFECTURA DEL AZUAY.
 MUESTRA Material de mina La Virginia con arena
 SOLICITADO POR : Ing. Luis Mario Almache
 FECHA 17/10/2022

TAMIZ Nº	ABERTURA MM.	PESO RET. GM.	RET. ACUM. GM.	% RETENIDO	% PASA	% ESPECIF.
3"	76,2	0	0	0	100	
2 1/2"	63,5	0	0	0	100	
2"	50,8	0	0	0	100	
1 1/2"	38,1	0	0	0	100	
1"	25,4	302	302	1,59	98,41	
3/4"	19,1	1752	2054	10,83	89,17	
1/2"	12,7	2740	4794	25,27	74,73	
3/8"	9,52	1388	6182	32,59	67,41	
Nº4	4,76	3065	9247	48,75	51,25	
PASA Nº4		9963,777	9722,09			
8	2,36	73,32	73,32	55,01	44,99	
10	2	20,15	93,47	56,73	43,27	
16	1,18	61	154,47	61,94	38,06	
20	0,85	34,38	188,85	64,88	35,12	
30	0,6	31,26	220,11	67,55	32,45	
40	0,42	29,9	250,01	70,10	29,90	
50	0,30	55,69	305,7	74,86	25,14	
100	0,15	104,96	410,66	83,83	16,17	
200	0,074	50,86	461,52	88,17	11,83	
FONDO		5,58	467,1	88,65	11,35	
TOTAL		18969,09				

PESO ANTES DEL ENSAYO = 20000 PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO = 600
 PESO DESPUES DEL ENSAYO = 18969,09 PESO SECO ANTES DEL LAVADO = 600
 % DE HUMEDD = 2,486 PESO SECO DESPUES DEL LAVADO = 465,98

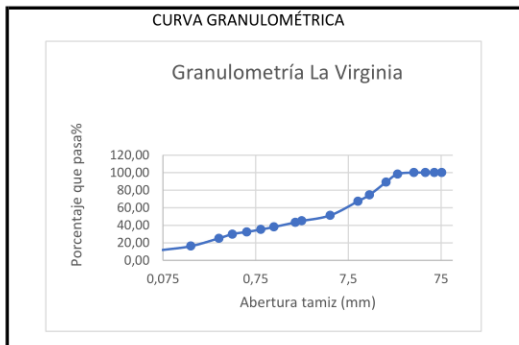
HUMEDADES GRANULOMETRIA

No. Tarro	72	103	
Peso Tarro	31,6	29,71	
Peso tarro+muestra húmeda	188,2	209,53	
Peso tarro+mue	184,2	205,4	
Peso agua	4	4,13	
Peso suelo seco	152,6	175,69	
Contenido de humedad	2,62	2,35	2,49

% de Material

%Grueso	48,75
%Arena	39,42
%Fino	11,83
Total	100,00

CURVA GRANULOMÉTRICA



Ing. Daniel Velez



Ing. Marcos Gonzales

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio UCACUE

Laboratorio de suelos Gobierno Provincial del
 Azuay

Laboratorista UCACUE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



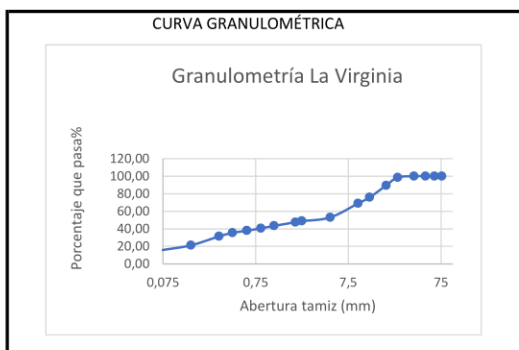
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL SUELO MINA LA VIRGINIA+ 10% del pasante tamiz #40 de Puzolana

PROYECTO CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DEL MATERIAL, BASE Y SUBBASE DE LA MINA VIRGINIA Y LLATCON, PERTENECIENTES A LA PREFECTURA DEL AZUAY.
 MUESTRA Llatcón+ material grueso de la Virginia+Puzolana
 SOLICITADO POR : Ing. Luis Mario Almache
 FECHA 18/10/2022

TAMIZ Nº	ABERTURA MM.	PESO RET. GM.	RET. ACUM. GM.	% RETENIDO	% PASA	% ESPECIF.
3"	76,2	0	0	0	100	
2 1/2"	63,5	0	0	0	100	
2"	50,8	0	0	0	100	
1 1/2"	38,1	0	0	0	100	
1"	25,4	292,19	292,19	1,48	98,52	
3/4"	19,1	1789,35	2081,54	10,57	89,43	
1/2"	12,7	2677,34	4758,88	24,17	75,83	
3/8"	9,52	1350,44	6109,32	31,03	68,97	
Nº4	4,76	3145,48	9254,8	47,01	52,99	
PASA Nº4		10624,25	10430,48			
8	2,36	47,32	47,32	51,19	48,81	
10	2	14,3	61,62	52,46	47,54	
16	1,18	48,07	109,69	56,70	43,30	
20	0,85	31,87	141,56	59,52	40,48	
30	0,6	29,94	171,5	62,16	37,84	
40	0,42	28,31	199,81	64,66	35,34	
50	0,30	45,5	245,31	68,68	31,32	
100	0,15	114,76	360,07	78,81	21,19	
200	0,074	60,96	421,03	84,20	15,80	
FONDO		7,26	428,29	84,84	15,16	
TOTAL		19685,28				

PESO ANTES DEL ENSAYO = 20000 PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO = 600
 PESO DESPUES DEL ENSAYO = 19685,28 PESO SECO ANTES DEL LAVADO = 600
 % DE HUMEDAD = 1,86 PESO SECO DESPUES DEL LAVADO = 429

HUMEDADES GRANULOMETRIA		% De material	
No. Tarro	88 79	%Gruesos	47,01
Peso Tarro	30,1 29,53	%Arena	37,18
Peso tarro+muestra húmeda	201,58 191,8	%Fino	15,8
Peso tarro+mue	198,58 188,72	% Total	100,00
Peso agua	3 3,08		
Peso suelo seco	168,48 159,19		
Contenido de hu	1,78 1,93		



Ing. Daniel Velez
 Laboratorio de suelos del Gobierno Provincial del
 Azuay



Ing. Marcos Gonzales
 Laboratorista UCACUE

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio UCACUE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

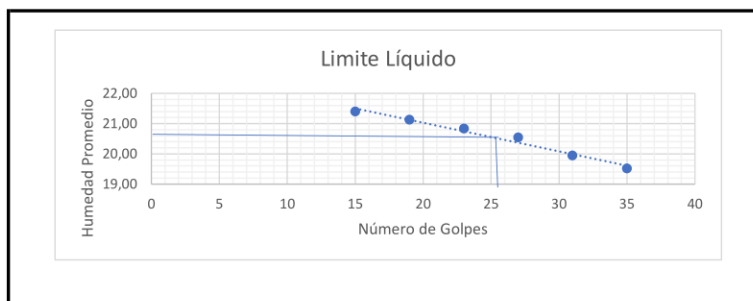


Limites de Attenberg Mina La Virginia+ Arena 12%

PROYECTO: Caracterización físico-mecánica y propuestas de estabilización del material extraído de las minas La Virginia y Llatcón pertenecientes a la prefectura del Azuay
MUESTRA: Material de la mina la Virginia+Arena
LOLICITADO POR : Ing. Luis Mario Almache
FECHA: 29/9/2022

Límite Líquido

Cápsula	No. Golpes	Peso Hum	Peso Seco	Peso Cápsula	Peso Agua	Peso Suelo Seco	Humedad	Humedad Promedio
5	35	44,1	42,1	31,75	2	10,35	19,32	19,51
20		48,2	45,45	31,49	2,75	13,96	19,70	
27	31	40,47	38,92	31,15	1,55	7,77	19,95	19,95
102		43,53	41,42	30,84	2,11	10,58	19,94	
87	27	44,3	42,02	31,06	2,28	10,96	20,80	20,54
77		39,25	37,64	29,8	1,61	7,84	20,54	
67	23	37,46	36,45	31,48	1,01	4,97	20,32	20,83
62		40,58	38,82	30,37	1,76	8,45	20,83	
103	19	37,45	36,1	29,71	1,35	6,39	21,13	21,12
105		40,64	38,75	29,8	1,89	8,95	21,12	
65	15	37,26	36,06	30,38	1,2	5,68	21,13	21,40
106		40,69	38,85	30,357	1,84	8,493	21,66	
79	11	41,12	39	29,53	2,12	9,47	22,39	22,57
94		42,39	40,12	30,14	2,27	9,98	22,75	



Límite Plástico

Cápsula	No. Golpes	Peso Hum	Peso Seco	Peso Cápsula	Peso Agua	Peso Suelo Seco	Humedad	Humedad Promedio
90	-	33,82	33,31	30,3	0,51	3,01	16,94	17,67
88	-	34,05	33,45	30,1	0,6	3,35	17,91	
98	-	33,31	32,82	29,97	0,49	2,85	17,19	
68	-	38,64	37,58	31,69	1,06	5,89	18,00	
2	-	34,96	34,41	31,38	0,55	3,03	18,15	
66	-	33,89	33,42	30,78	0,47	2,64	17,80	

Límite Líquido	20,5
Límite Plástico	17,67
Índice de Plasticidad	2,83



Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio UCAUCE

Ing. Daniel Velez
Laboratorio de suelos del Gobierno
Provincial del Azuay



Ing. Marcos Gonzales
Laboratorista De UCACUE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



Limites de Atterberg Mina La Virginia+ Puzolana 10%

Caracterización físico-mecánica y propuestas de estabilización del material extraído de las minas La Virginia y Llatcón pertenecientes a la prefectura del Azuay

PROYECTO:

MUESTRA:

LOLICITADO POR :

FECHA:

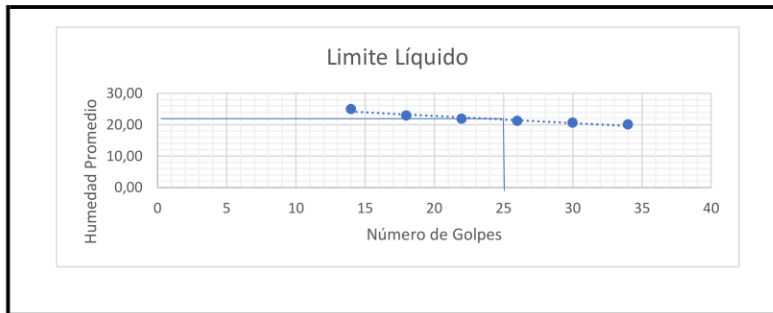
Material de la Virginia+puzolana

Ing. Luis Mario Almache

5/9/2022

Límite Líquido

Cápsula	No. Golpes	Peso Hum	Peso Seco	Peso Cápsl	Peso Agua	Peso Suelo Seco	Humedad	Humedad Promedio
16	34	49,33	46,31	31,26	3,02	15,05	20,07	20,02
84		53,51	49,55	29,72	3,96	19,83	19,97	
89	30	48,74	45,7	30,9	3,04	14,8	20,54	20,53
65		44,95	42,47	30,38	2,48	12,09	20,51	
94	26	49,62	46,22	30,14	3,4	16,08	21,14	21,15
69		47,73	44,85	31,24	2,88	13,61	21,16	
95	22	49,6	46,07	29,95	3,53	16,12	21,90	21,84
105		42,38	40,13	29,8	2,25	10,33	21,78	
90	18	47,68	44,45	30,3	3,23	14,15	22,83	22,89
2		47,45	44,45	31,38	3	13,07	22,95	
28	14	53	48,69	31,51	4,31	17,18	25,09	24,84
5		48,01	44,8	31,75	3,21	13,05	24,60	



Límite Plástico

Cápsula	No. Golpes	Peso Hum	Peso Seco	Peso Cápsl	Peso Agua	Peso Suelo Seco	Humedad	Humedad Promedio
87	-	33,64	33,21	31,06	0,43	2,15	20,00	18,01
17	-	33,46	33,12	31,14	0,34	1,98	17,17	
63	-	32,74	32,38	30,34	0,36	2,04	17,65	
66	-	33,21	32,84	30,78	0,37	2,06	17,96	
31	-	34,04	33,64	31,43	0,4	2,21	18,10	
96	-	32,69	32,3	30,03	0,39	2,27	17,18	

Límite Líquido	23
Límite Plástico	18,01
Índice de Plasticidad	4,99



Firmado electrónicamente por:
DANIEL SALVADOR VELEZ PARRA

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio UCAUCE

Ing. Daniel Velez
 Laboratorio de suelos del Gobierno Provincial del Azuay



Firmado electrónicamente por:
MARCOS DARIO GONZALEZ MALDONADO

Ing. Marcos Gonzales
 Laboratorista De UCACUE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



Proctor Modificado Mina La Virginia

Caracterización físico-mecánica y propuestas de estabilización del material
 extraído de las minas La Virginia y Llatcón pertenecientes a la prefectura del
 Azuay

PROYECTO:

MUESTRA: Material de Mina la Virginia+10% del material pasante tamiz #40 de Puzolana

LOLICITADO POR :

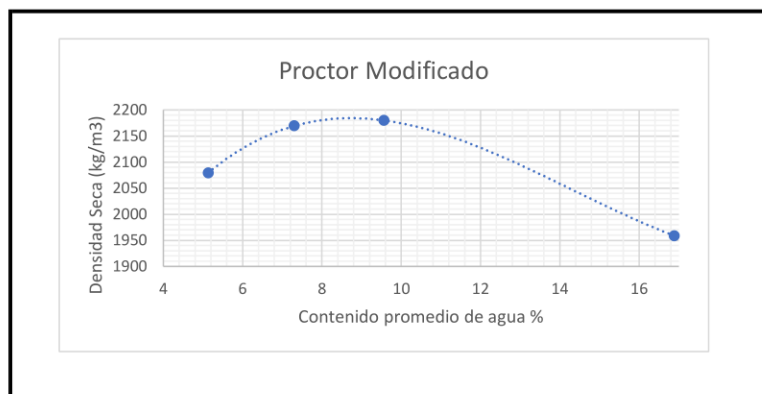
Ing. Luis Mario Almache

FECHA:

7/9/2022

Muestra	1	2	3	4	5
Agua Aumentada en (ml)	100	200	300	400	0
Peso Molde +Suelo Hum (kg)	11,392	11,521	11,311	11,195	11,091
Peso Molde Sin Collar (kg)	6,448	6,448	6,448	6,448	6,448
Peso Suelo Húmedo (kg)	4,944	5,073	4,863	4,747	4,643
Volumen del Cilindro Sin Collar (m ³)	0,002124	0,002124	0,002124	0,002124	0,002124
DENSIDAD HUMEDA (kg/m ³)	2327,68	2388,42	2289,55	2234,93	2185,97

Muestras para promediar	1	2	3	4	5					
Numero de Tarro	99	88	96	20	101	71	12	82	3	93
Peso tarro+suelo húmedo	199,43	197,88	203,2	183,46	173,04	191,73	204,38	189,2	195,88	185,7
Peso tarro+suelo seco	187,67	186,76	187,97	170,29	159,52	176,35	185,5	170,46	187,92	178,02
Peso Agua	11,76	11,12	15,23	13,17	29,96	15,38	18,88	18,74	7,96	7,68
Peso Tarro	30,97	30,1	30,03	31,49	30,1	31,51	31,64	29,9	31,35	29,78
Peso Suelo Seco	156,7	156,66	157,94	138,8	129,42	144,84	153,86	140,56	156,57	148,24
Contenido de agua %	7,50	7,10	9,64	9,49	23,15	10,62	12,27	13,33	5,08	5,18
CONT. PROMEDIO DE AGUA %	7,30		9,57		16,88		12,80		5,13	
DENSIDAD SECA (kg/m ³)	2169,29		2179,90		1958,82		1981,30		2079,25	



Humedad Optima	8,80%
Densidad seca max	2188,00 kg/m ³



Firmado electrónicamente por:
**DANIEL
 SALVADOR
 VELEZ PARRA**



Firmado electrónicamente por:
**MARCOS DARÍO
 GONZALEZ
 MALDONADO**

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio UCAUCE

Ing. Daniel Velez
 Laboratorio de suelos del Gobierno Provincial
 del Azuay

Ing. Marcos Gonzales
 Laboratorista De
 UCACUE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



Proctor Modificado Mina La Virginia+12% de Arena

Caracterización físico-mecánica y propuestas de estabilización del material extraído de las minas La Virginia y Llatcón pertenecientes a la prefectura del

PROYECTO: Azuay

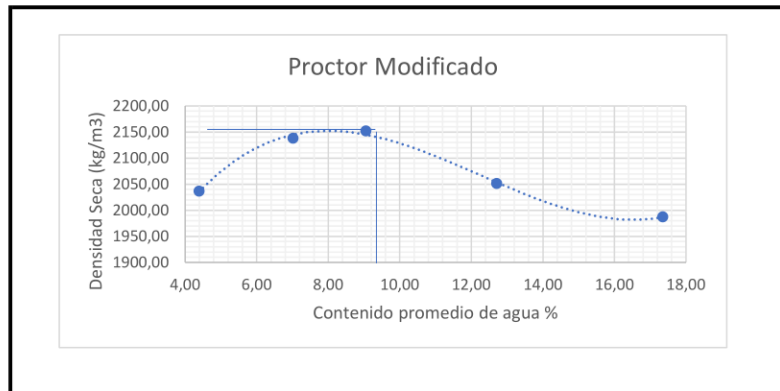
MUESTRA: Proctor Modificado Mina La Virginia+12%Arena

OLICITADO POR : Ing. Luis Mario Almache

FECHA: 30/10/2022

Muestra	1	2	3	4	5
Agua Aumentada en (ml)	200	300	400	100	500
Peso Molde +Suelo Hum (kg)	11,308	11,433	11,401	10,963	11,358
Peso Molde Sin Collar (kg)	6,448	6,448	6,448	6,448	6,448
Peso Suelo Húmedo (kg)	4,86	4,985	4,953	4,515	4,91
Volumen del Cilindro Sin Collar (m3)	0,002124	0,002124	0,002124	0,002124	0,002124
DENSIDAD HUMEDA (kg/m3)	2288,14	2346,99	2331,92	2125,71	2311,68

Muestras para promediar	1		2		3		4		5	
Numero de Tarro	65	84	74	28	66	71	24	31	25	63
Peso tarro+suelo húmedo	178,56	175,53	175,55	171,66	171,49	163,38	216,78	201,62	170,43	172,79
Peso tarro+suelo seco	168,82	166	163,53	159,97	157,36	150,29	209,22	194,26	154,93	156,57
Peso Agua	9,74	9,53	12,02	11,69	29,96	13,09	7,56	7,36	15,5	16,22
Peso Tarro	30,38	29,72	30,1	31,51	30,78	31,51	31,48	31,43	31,63	30,34
Peso Suelo Seco	138,44	136,28	133,43	128,46	126,58	118,78	177,74	162,83	123,3	126,23
Contenido de agua %	7,04	6,99	9,01	9,10	23,67	11,02	4,25	4,52	12,57	12,85
CONT. PROMEDIO DE AGUA %	7,01		9,05		17,34		4,39		12,71	
DENSIDAD SECA (kg/m3)	2138,16		2152,13		1987,24		2036,38		2050,99	



Humedad Optima	9,00%
Densidad seca max	2150,00 kg/m3



Ing. Daniel Velez

Laboratorio de suelos del Gobierno Provincial del Azuay



Ing. Marcos Gonzales

Laboratorista De UCACUE

Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio UCAUCE



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CÓDIGO	Virginia+Puzolana	Ensayo	Corte Directo
Número de ensayo	1	Carga	10 kg

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR

FECHA DE IMPRESIÓN	2023-01-18	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2022-09-16	562	Virginia+10% Puzolana

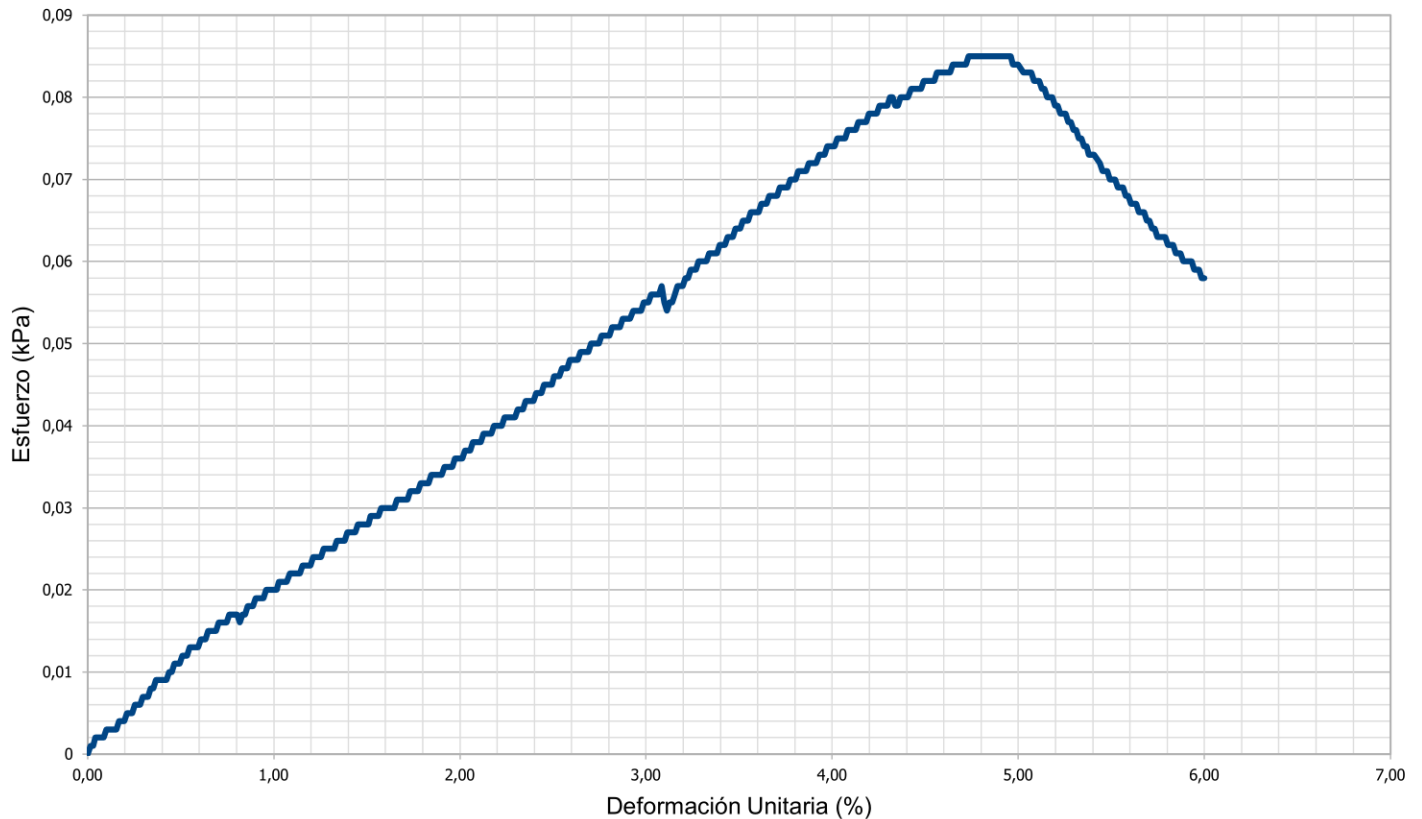
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	Virginia+10%Puzolana M1		
Estudiante	Sebastián Vanegas-Sofía Wilches		
PROYECTO	Tesis		

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO

Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
71	4,26	6	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
5041	429,6	0,085	

GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



Firmas



Firmado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
 GONZALEZ
 MALDONADO**

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

DIRECTOR LABORATORIO

Ing. Luis Mario Almache



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CÓDIGO	Virginia+Puzolana	Ensayo	Corte Directo
Número de ensayo	2	Carga	20 kg

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR

FECHA DE IMPRESIÓN	2023-01-18	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2022-09-16	564	Virginia+Puzolana 10%

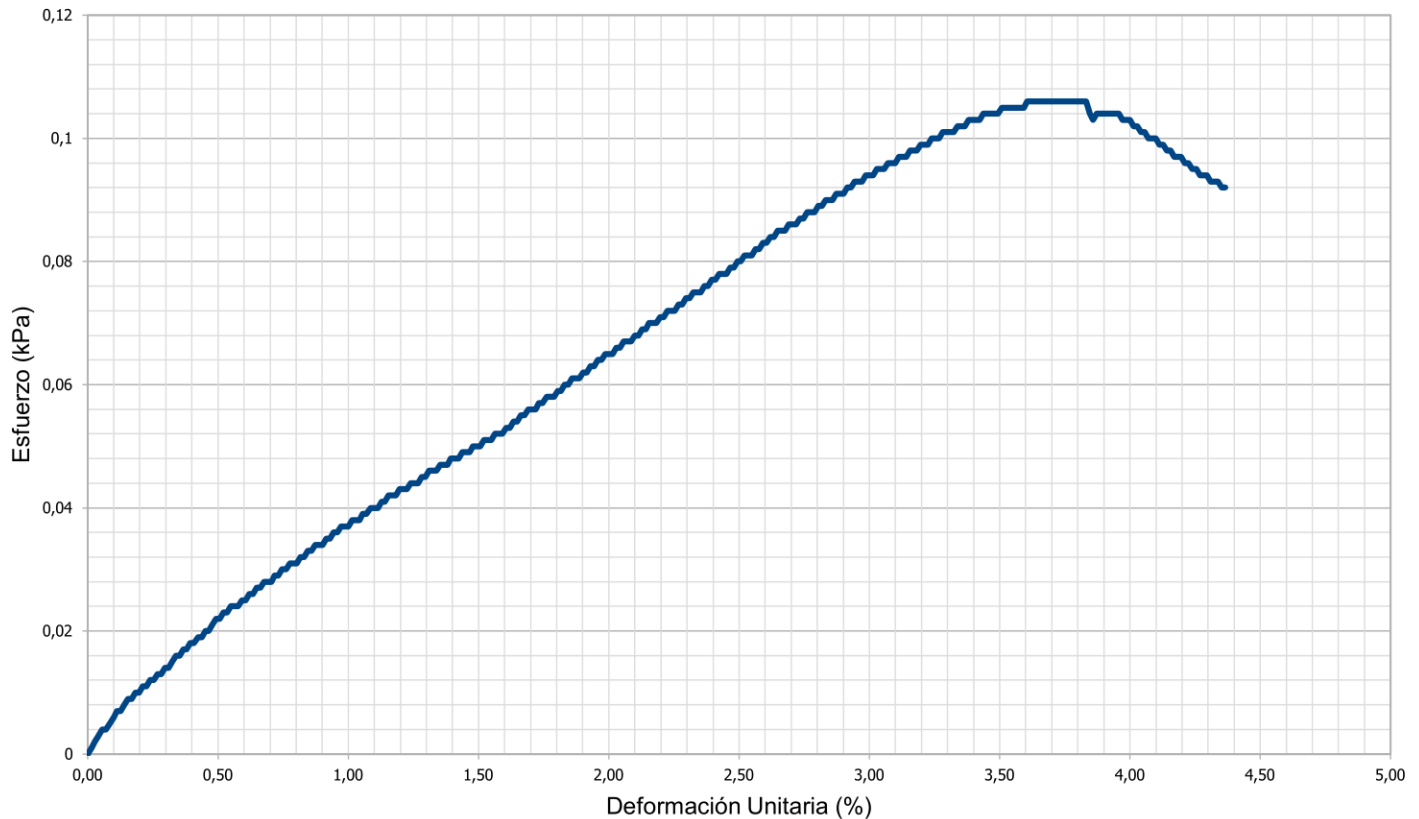
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	Virginia+10%Puzolana M2		
CLIENTE	Sebastián Vanegas-Sofía Wilches		
PROYECTO	Tesis		

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO

Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
71	3,1	4,366	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
5041	535,8	0,106	

GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



OBSERVACIONES:



Validado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
 GONZALEZ
 MALDONADO**

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

DIRECTOR LABORATORIO

Ing. Luis Mario Almache



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CÓDIGO	Virginia+Puzolana	Ensayo	Corte Directo
Número de ensayo	3	Carga	40 kg

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR

FECHA DE IMPRESIÓN	2023-01-18	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2022-09-16	565	Virginia+10% Puzolana

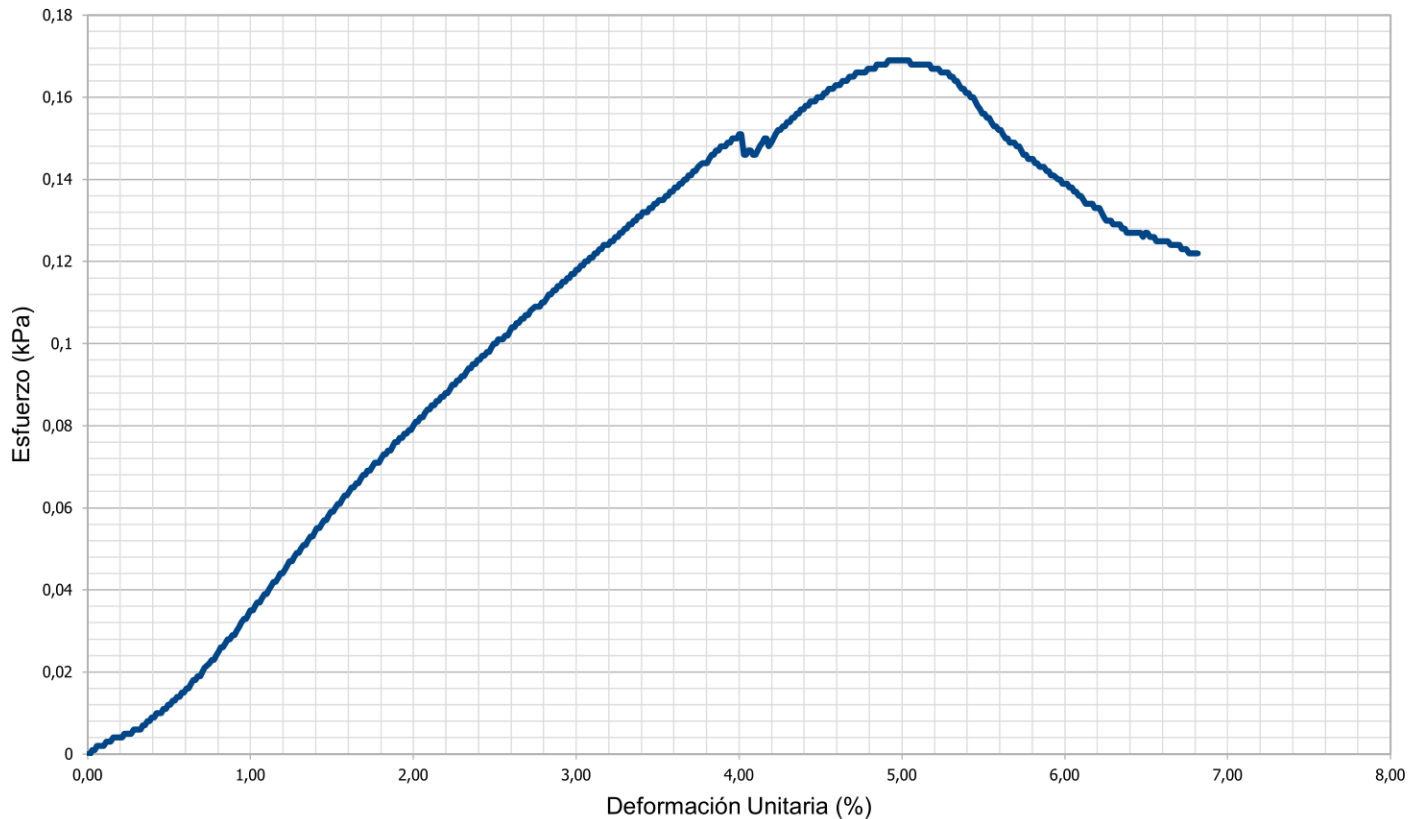
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	Virginia+10%Puzolana M3		
CLIENTE	Sebastián Vanegas-Sofía Wilches		
PROYECTO	Tesis		

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO

Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
71	4,84	6,817	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
5041	851,8	0,169	

GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



Firma



Firmado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
 GONZALEZ
 MALDONADO**

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

DIRECTOR LABORATORIO

Ing. Luis Mario Almache

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



CORTE DIRECTO DE LA VIRGINIA+10% DE PUZOLANA

Caracterización físico-mecánica y propuestas de estabilización del material extraído de las minas La Virginia y Llatcón pertenecientes a la prefectura del Azuay

PROYECTO

MUESTRA

OLICITADO POR :

FECHA

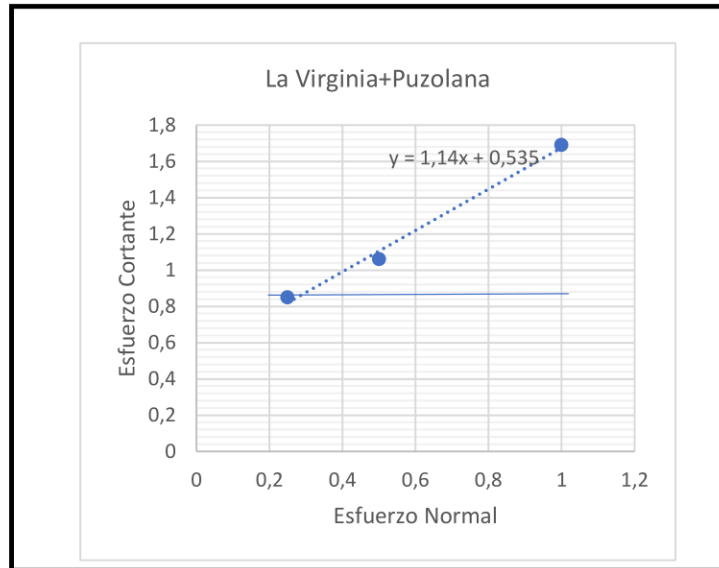
Material de la Virginia+ 10% Puzolana

Ing. Luis Mario Almache

16/9/2022

Muestras	Esfuerzo Normal	Esfuerzo Cortante
	kg/cm ²	kg/cm ²
Muestra 1	0,2500	0,8500
Muestra 2	0,5000	1,0600
Muestra 3	1,0000	1,6900

Cohesión (kg/cm ²)	0,8
Angulo de Fricción	48,74



Firmado electrónicamente por:
DANIEL
SALVADOR
VELEZ PARRA



Firmado electrónicamente por:
MARCOS DARIO
GONZALEZ
MALDONADO

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio UCACUE

Ing. Daniel Velez
 Laboratorio de suelos del
 Gobierno Provincial de Azuay

Ing. Marcos Gonzales
 Laboratorista UCAUCE



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CÓDIGO	Virginia+Arena	Ensayo	Corte Directo
Número de ensayo	1	Carga	10 kg

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR

FECHA DE IMPRESIÓN	2023-01-18	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2022-10-27	572	Virginia+12% Arena

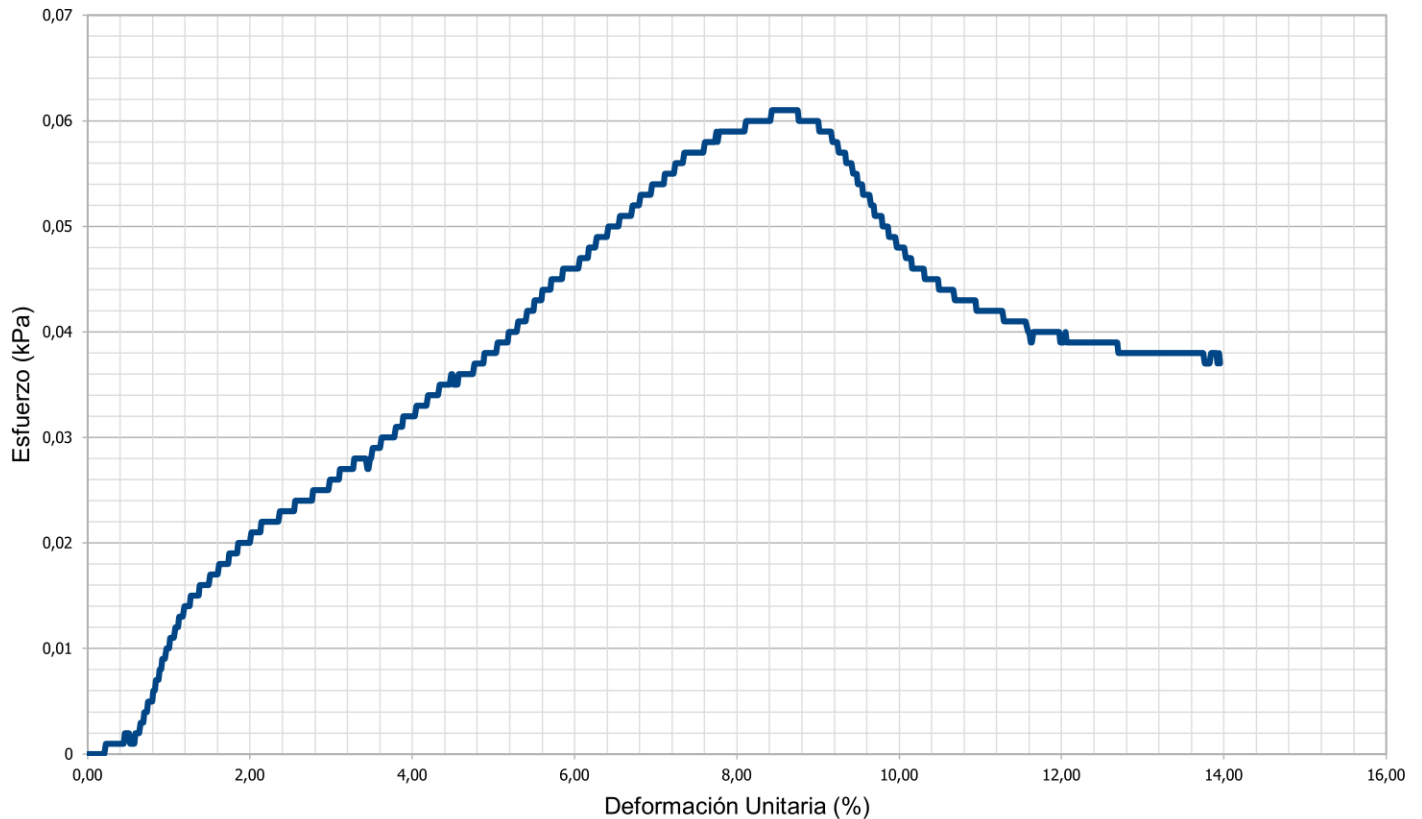
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	Virginia+12% Arena M1
Estudiante	Sebastián Vanegas-Sofía Wilches
PROYECTO	Tesis

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO

Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63	8,79	13,952	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
3969	242	0,061	

GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



Firma



Firmado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
 GONZALEZ
 MALDONADO**

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

DIRECTOR LABORATORIO

Ing. Luis Mario Almache



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CÓDIGO	Virginia+Arena	Ensayo	Corte Directo
Número de ensayo	2	Carga	20 kg

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR

FECHA DE IMPRESIÓN	2023-01-18	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2022-10-27	573	Virginia+12% Arena

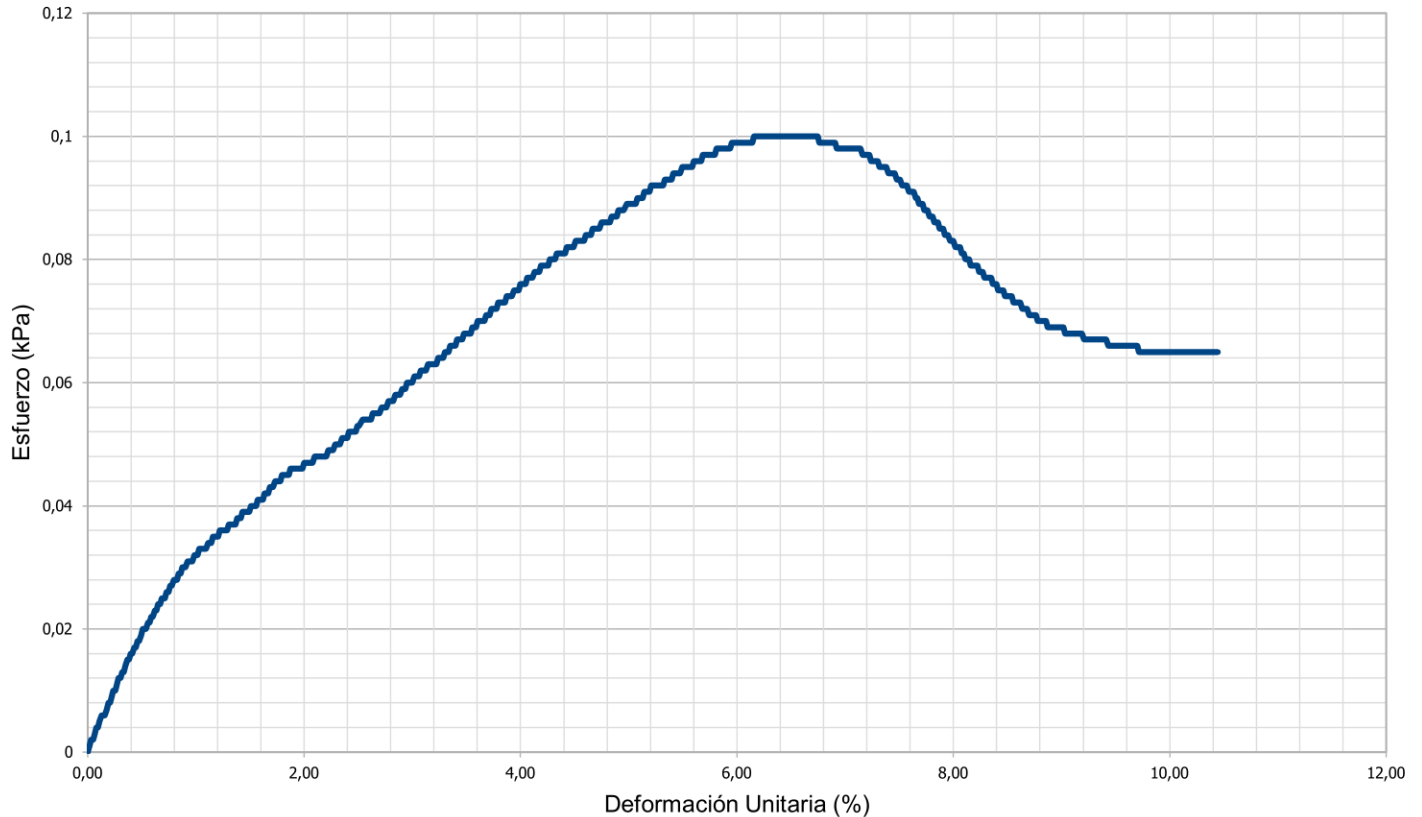
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	Virginia+12% Arena M2		
Estudiante	Sebastián Vanegas-Sofía Wilches		
PROYECTO	Tesis		

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO

Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63	6,59	10,46	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
3969	397,8	0,1	

GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



Firma



Firmado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
 GONZALEZ
 MALDONADO**

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

DIRECTOR LABORATORIO

Ing. Luis Mario Almache



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CÓDIGO	Virginia+Arena	Ensayo	Corte Directo
Número de ensayo	2	Carga	40 kg

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR

FECHA DE IMPRESIÓN	2023-01-18	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2022-10-27	574	Virginia+12% Arena

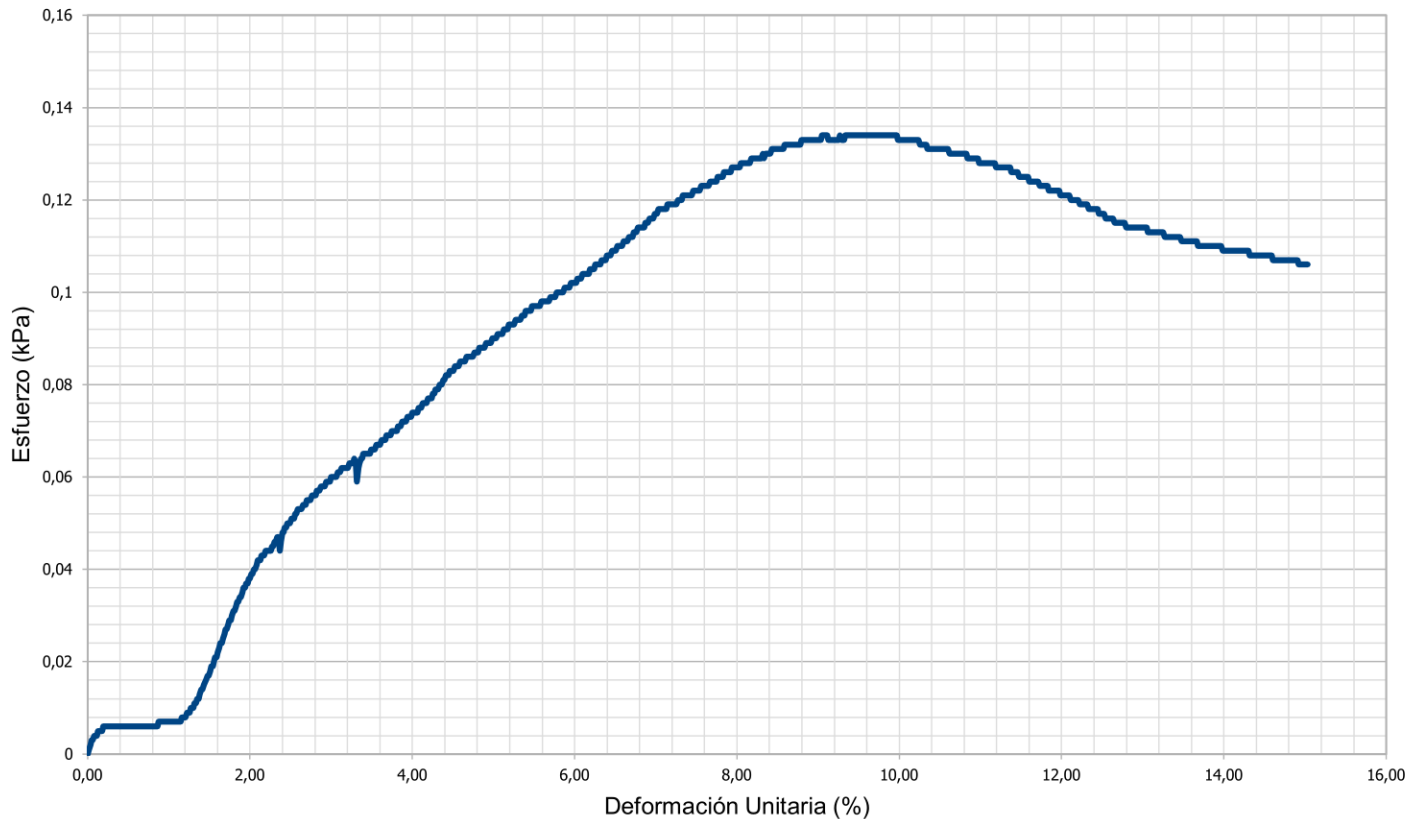
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	Virginia+12% Arena M3
Estudiante	Sebastián Vanegas-Sofía Wilches
PROYECTO	Tesis

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO

Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63	9,48	15,048	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
3969	531,8	0,134	

GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



OBSERVACIONES:

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

DIRECTOR LABORATORIO

Ing. Luis Mario Almache

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

CORTE DIRECTO DE MATERIAL DE LA VIRGINIA



CARACTERIZACION FISICO-MECANICA DEL MATERIAL, BASE Y SUBBA
 LA MINA VIRGINIA y LLATCON, PERTENECIENTES A LA PREFECTURA DEL
 AZUAY.

PROYECTO

MUESTRA

SOLICITADO POR :

FECHA

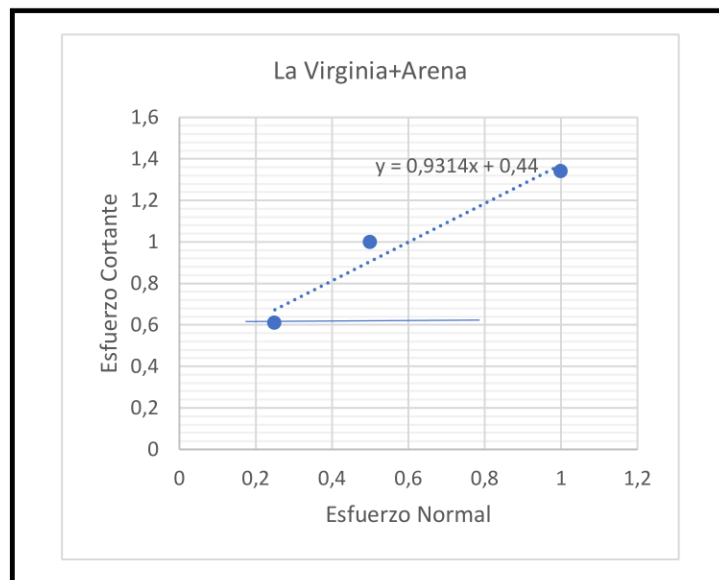
Material de la Virginia+ 12% Arena

Ing. Luis Mario Almache

27/10/2022

Muestras	Esfuerzo Normal	Esfuerzo Cortante
	kg/cm ²	kg/cm ²
Muestra 1	0,2500	0,6100
Muestra 2	0,5000	1,0000
Muestra 3	1,0000	1,3400

Cohesión (kg/cm ²)	0,65
Angulo de Fricción	42,96



Firmado electrónicamente por:
DANIEL
SALVADOR
VELEZ PARRA



Firmado electrónicamente por:
MARCOS DARIO
GONZALEZ
MALDONADO

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio UCACUE

Ing. Daniel Velez
 Laboratorio de suelos del
 Gobierno Provincial de Azuay

Ing. Marcos Gonzales
 Laboratorista UCAUCE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Análisis Granulométrico Mina Llancón+15% Materia de 1/2" de la Mina La Virginia+ 20% material pasante tamiz 40# de Puzolana



CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DEL MATERIAL, BASE Y SUBBASE DE LA MINA VIRGINIA Y LLATCON, PERTENECIENTES A LA PREFECTURA DEL AZUAY.

PROYECTO

MUESTRA

LOLICITADO POR :

FECHA

Material de Llatcón+puzolana+ material grueso de la Virginia

Ing. Luis Mario Almache

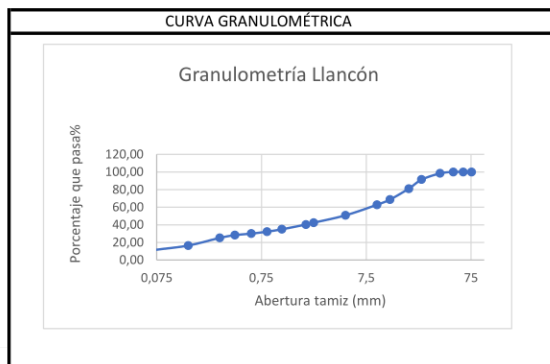
24/10/2022

TAMIZ Nº	ABERTURA MM.	PESO RET. GM.	RET. ACUM. GM.	% RETENIDO	% PASA	% ESPECIF.
3"	76,2	0	0	0	100	
2 1/2"	63,5	0	0	0	100	
2"	50,8	0	0	0	100	
1 1/2"	38,1	316	316	1,60	98,40	
1"	25,4	1386	1702	8,64	91,36	
3/4"	19,1	2025	3727	18,92	81,08	
1/2"	12,7	2419	6146	31,21	68,79	
3/8"	9,52	1180	7326	37,20	62,80	
Nº4	4,76	2371	9697	49,24	50,76	
PASA Nº4		10271	9997,95			
8	2,36	99,27	99,27	57,63	42,37	
10	2	23,95	123,22	59,66	40,34	
16	1,18	63,87	187,09	65,07	34,93	
20	0,85	32,31	219,4	67,80	32,20	
30	0,6	26,32	245,72	70,03	29,97	
40	0,42	20,23	265,95	71,74	28,26	
50	0,30	37,14	303,09	74,88	25,12	
100	0,15	102,65	405,74	83,56	16,44	
200	0,074	56,57	462,31	88,35	11,65	
FONDO		4,04	466,35	88,69	11,31	
TOTAL		19694,95				

PESO ANTES DEL ENSAYO	=	20000	PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO	=	600
PESO DESPUES DEL ENSAYO	=	19694,95	PESO SECO ANTES DEL LAVADO	=	600
% DE HUMEDD	=	2,731	PESO SECO DESPUES DEL LAVADO	=	466,32

HUMEDADES GRANULOMETRIA			% de material	
No. Tarro	68	70	%Grueso	49,24
Peso Tarro	31,69	31,86	%Arena	39,11
Peso tarro+muestra húmeda	196,78	198,88	%Fino	11,65
Peso tarro+muestra seca	192,48	194,35	%Total	100,00
Peso agua	4,3	4,53		
Peso suelo seco	160,79	162,49		
Contenido de humedad	2,67	2,79		

CURVA GRANULOMÉTRICA



DANIEL
SALVADOR
VELEZ FARRA

Ing. Luis Mario Almache

Ing. Daniel Velez



MARCOS DARIO
GONZALEZ
MALDONADO

Ing. Marcos Gonzales

Jefe de Laboratorio UCACUE

Laboratorio de suelos del
Gobierno Provincial de
Azuay

Laboratorista UCAUCE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



Análisis Granulométrico Mina Llacón+15% Materia de 1/2" de la Mina La Virginia+ 20% material pasante tamiz 40# de Arena

CARACTERIZACION FISICO-MECANICA DEL MATERIAL, BASE Y SUBBASE DE LA MINA VIRGINIA y LLATCON, PERTENECIENTES A LA PREFECTURA DEL AZUAY.

PROYECTO

MUESTRA

OLICITADO POR :

FECHA

Material de la mina Llacón+arena y material grueso de la Virginia

Ing. Luis Mario Almache

25/10/2022

TAMIZ N°	ABERTURA MM.	PESO RET. GM.	RET. ACUM. GM.	% RETENIDO	% PASA	% ESPECIF.
3"	76,2	0	0	0	100	
2 1/2"	63,5	0	0	0	100	
2"	50,8	0	0	0	100	
1 1/2"	38,1	487	487	2,48	97,52	
1"	25,4	957	1444	7,35	92,65	
3/4"	19,1	2055	3499	17,80	82,20	
1/2"	12,7	2900	6399	32,55	67,45	
3/8"	9,52	1461	7860	39,99	60,01	
Nº4	4,76	2606	10466	53,25	46,75	
PASA Nº4		9467	9190,06			
8	2,36	319,16	319,16	78,12	21,88	
10	2	17,54	336,7	79,48	20,52	
16	1,18	35,12	371,82	82,22	17,78	
20	0,85	14,72	386,54	83,37	16,63	
30	0,6	12,73	399,27	84,36	15,64	
40	0,42	12,07	411,34	85,30	14,70	
50	0,30	26,05	437,39	87,33	12,67	
100	0,15	49,12	486,51	91,16	8,84	
200	0,074	22,5	509,01	92,91	7,09	
FONDO		4,23	513,24	93,24	6,76	
TOTAL		19656,06				

PESO ANTES DEL ENSAYO	=	20000	PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO	=	600
PESO DESPUES DEL ENSAYO	=	19656,06	PESO SECO ANTES DEL LAVADO	=	600
% DE HUMEDD	=	3,013	PESO SECO DESPUES DEL LAVADO	=	513

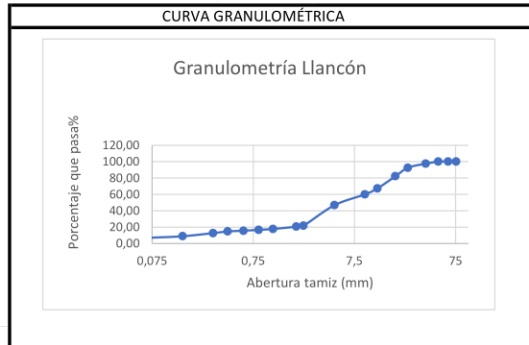
HUMEDADES GRANULOMETRIA

No. Tarro	9	104
Peso Tarro	31,54	30,72
Peso tarro+muestra húmeda	174,2	192,74
Peso tarro+muestra seca	170,08	187,94
Peso agua	4,12	4,8
Peso suelo seco	138,54	157,22
Contenido de humedad	2,97	3,05

% Material

%Grueso	53,25
%Fino	7,09
%Arena	39,66
%total	100,00

CURVA GRANULOMÉTRICA



Ing. Daniel Velez
 Laboratorio de suelos del
 Gobierno Provincial de
 Azuay



Ing. Marcos Gonzales
 Laboratorista UCAUCE

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio UCACUE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

**Limites de Attenberg Mina Llancon+ Arena 20%**

Caracterización físico-mecánica y propuestas de estabilización del material extraído de las minas La Virginia y Llatcón pertenecientes a la prefectura del Azuay

PROYECTO:

MUESTRA:

LOLICITADO POR :

FECHA:

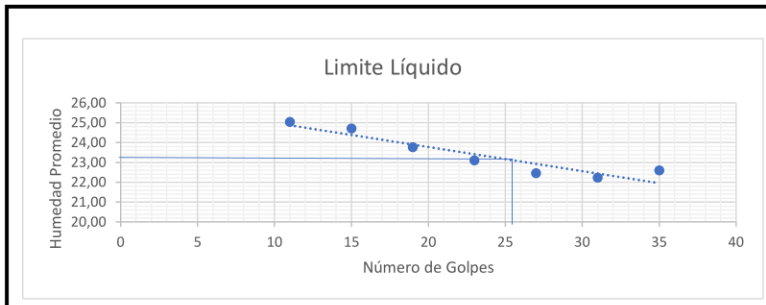
Material de Llatcón y arena

Ing. Luis Mario Almache

11/10/2022

Límite Líquido

Cápsula	No. Golpes	Peso Hum	Peso Seco (g)	Peso Cáps	Peso Agua	Peso Suelo Seco	Humedad	Humedad Promedio
28	35	44,92	42,45	31,51	2,47	10,94	22,58	22,59
82		39,72	37,91	29,9	1,81	8,01	22,60	
108	31	47,16	44,21	31,02	2,95	13,19	22,37	22,22
9		38,84	37,52	31,54	1,32	5,98	22,07	
23	27	43,76	41,4	31,08	2,36	10,32	22,87	22,46
11		38,44	37,17	31,41	1,27	5,76	22,05	
95	23	37,33	35,95	29,95	1,38	6	23,00	23,10
1		43,32	41	31	2,32	10	23,20	
10	19	44,95	42,32	31,34	2,63	10,98	23,95	23,77
69		38,21	36,88	31,24	1,33	5,64	23,58	
85	15	40,98	38,79	29,97	2,19	8,82	24,83	24,69
13		41,6	39,65	31,71	1,95	7,94	24,56	
71	11	42,06	39,91	31,51	2,15	8,4	25,60	25,04
21		41,27	39,36	31,56	1,91	7,8	24,49	

**Límite Plástico**

Cápsula	No. Golpes	Peso Hum	Peso Seco (g)	Peso Cáps	Peso Agua	Peso Suelo Seco	Humedad	Humedad Promedio
3	-	34,75	34,11	31,35	0,64	2,76	23,19	21,98
74	-	34,67	33,84	30,1	0,83	3,74	22,19	
84	-	34,04	33,27	29,72	0,77	3,55	21,69	
97	-	33,92	33,23	29,91	0,69	3,32	20,78	
76	-	35,79	34,9	30,59	0,89	4,31	20,65	
100	-	33,65	32,94	29,9	0,71	3,04	23,35526	

Límite Líquido	23,2
Límite Plástico	21,98
Índice de Plasticidad	1,22



Ing. Marcos Gonzales
Laboratorista De UCACUE

Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio UCAUCE

Ing. Daniel Velez
Laboratorio de suelos del Gobierno
Provincial del Azuay

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

**Limites de Attenberg Mina Llatcón+ Puzolana 12%**

Caracterización físico-mecánica y propuestas de estabilización del material extraído de las minas La Virginia y Llatcón pertenecientes a la prefectura del Azuay

PROYECTO:

MUESTRA:

LOLICITADO POR :

FECHA:

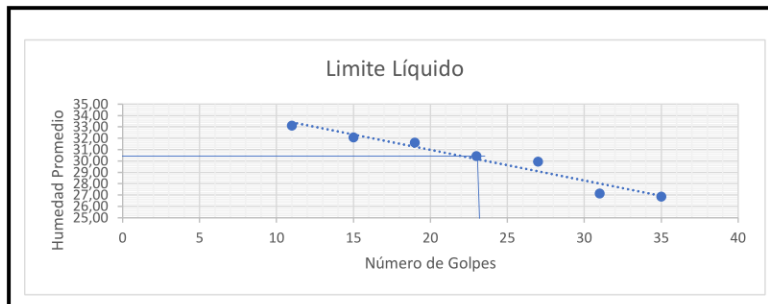
Material de la mina de Llatcón+ puzolana

Ing. Luis Mario Almache

12/10/2022

Límite Líquido

Cápsula	No. Golpes	Peso Hum	Peso Seco (g)	Peso Cáps	Peso Agua	Peso Suelo Seco	Humedad	Humedad Promedio
82	35	45,01	41,81	29,9	3,2	11,91	26,87	26,87
90		41,02	38,75	30,3	2,27	8,45	26,86	
98	31	36,58	35,17	29,97	1,41	5,2	27,12	27,14
68		41,05	39,05	31,69	2	7,36	27,17	
15	27	37,11	35,81	31,61	1,3	4,2	30,95	29,95
17		41,03	38,81	31,14	2,22	7,67	28,94	
87	23	36,22	34,96	31,06	1,26	3,9	32,31	30,43
95		38,5	36,48	29,95	2,02	6,53	30,93	
100	19	37,41	36,62	29,9	0,79	6,72	11,76	31,62
24		36,58	35,39	31,48	1,19	3,91	30,43	
26	15	37,22	35,84	31,46	1,38	4,38	31,51	32,07
25		38,58	36,87	31,63	1,71	5,24	32,63	
70	11	39,2	37,38	31,86	1,82	5,52	32,97	33,10
76		38,49	36,52	30,59	1,97	5,93	33,22	

**Límite Plástico**

Cápsula	No. Golpes	Peso Hum	Peso Seco (g)	Peso Cáps	Peso Agua	Peso Suelo Seco	Humedad	Humedad Promedio
5	-	33,56	33,28	31,75	0,28	1,53	18,30	24,18
2	-	32,95	32,63	31,38	0,32	1,25	25,60	
29	-	34,71	34,05	31,38	0,66	2,67	24,72	
13	-	33,64	33,23	31,71	0,41	1,52	26,97	
84	-	32,74	32,13	29,72	0,61	2,41	25,31	

Límite Líquido	29,2
Límite Plástico	24,18
Índice de Plasticidad	5,02



Ing. Daniel Velez
Laboratorio de suelos del Gobierno
Provincial del Azuay



Ing. Marcos González
Laboratorista De UCACUE

Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio UCAUCE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

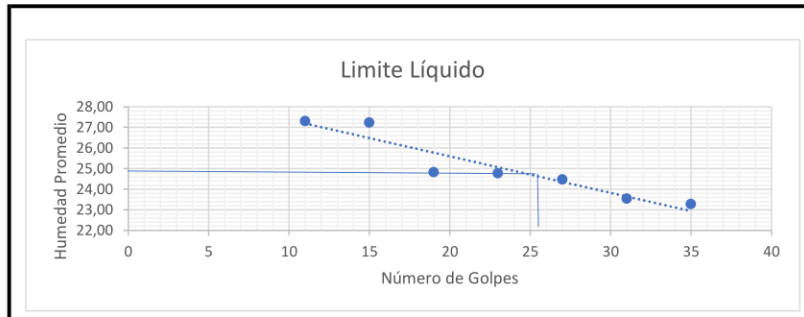


Limites de Attenberg Mina Llatcón+ Puzolana 20%

PROYECTO: Caracterización físico-mecánica y propuestas de estabilización del material extraído de las minas La Virginia y Llatcón pertenecientes a la prefectura del Azuay
 MUESTRA: Material de la Mina Llatcón+Puzolana
 LOLICITADO POR : Ing. Luis Mario Almache
 FECHA: 13/10/2022

Límite Líquido

Cápsula	No. Golpes	Peso Hum	Peso Seco (g)	Peso Cáps	Peso Agua	Peso Suelo Seco	Humedad	Humedad Promedio
63	35	40,77	38,81	30,34	1,96	8,47	23,14	23,29
108		44,45	41,9	31,02	2,55	10,88	23,44	
85	31	37,2	35,82	29,97	1,38	5,85	23,59	23,54
27		42,56	40,39	31,15	2,17	9,24	23,48	
79	27	39,23	37,35	29,53	1,88	7,82	24,04	24,48
1		38,42	36,94	31	1,48	5,94	24,92	
93	23	37,86	36,46	30,78	1,4	5,68	24,65	24,77
77		38,58	36,83	29,8	1,75	7,03	24,89	
96	19	35,36	34,3	30,03	1,06	4,27	24,82	24,82
66		34,37	33,49	29,78	0,88	3,71	23,72	
99	15	34,45	33,6	30,48	0,85	3,12	27,24	27,24
94		37,51	36,66	30,14	0,85	6,52	13,04	
75	11	34,73	33,67	29,72	1,06	3,95	26,84	27,32
18		39,58	37,74	31,12	1,84	6,62	27,79	



Límite Plástico

Cápsula	No. Golpes	Peso Hum	Peso Seco (g)	Peso Cáps	Peso Agua	Peso Suelo Seco	Humedad	Humedad Promedio
5	-	34,26	33,78	31,75	0,48	2,03	23,65	21,97
13	-	33,83	33,45	31,71	0,38	1,74	21,84	
2	-	34,72	34,11	31,38	0,61	2,73	22,34	
74	-	32,33	31,93	30,1	0,4	1,83	21,86	
67	-	34,4	33,91	31,48	0,49	2,43	20,16	

Límite Líquido	24,9
Límite Plástico	21,97
Índice de Plasticidad	2,93



Firmado electrónicamente por:
DANIEL SALVADOR VELEZ PARRA



Firmado electrónicamente por:
MARCOS DARIO GONZALEZ MALDONADO

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio UCAUCE

Ing. Daniel Velez
 Laboratorio de suelos del Gobierno Provincial del Azuay

Ing. Marcos Gonzales
 Laboratorista De UCACUE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



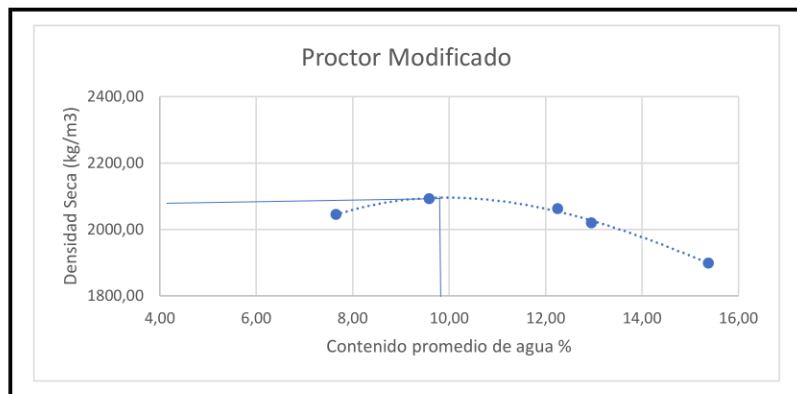
Proctor Modificado Mina Llatcón+15% Material de 1/2" de la Mina La Virginia+20% del tamiz pasante #40 de Arena

PROYECTO: Caracterización físico-mecánica y propuestas de estabilización del material extraído de las minas La Virginia y Llatcón pertenecientes a la prefectura del Azuay

MUESTRA: Material de Llatcón+arena+material grueso de la Virginia
LOLICITADO POR : Ing. Luis Mario Almache
FECHA: 14/10/2022

Muestra	1	2	3	4	5
Agua Aumentada en (ml)	200	300	400	500	600
Peso Molde +Suelo Hum (kg)	11,123	11,318	11,364	11,293	11,1
Peso Molde Sin Collar (kg)	6,448	6,448	6,448	6,448	6,448
Peso Suelo Húmedo (kg)	4,675	4,87	4,916	4,845	4,652
Volumen del Cilindro Sin Collar (m3)	0,002124	0,002124	0,002124	0,002124	0,002124
DENSIDAD HUMEDA (kg/m3)	2201,04	2292,84	2314,50	2281,07	2190,21

Muestras para promediar	1		2		3		4		5	
Numero de Tarro	7	12	100	82	90	106	62	27	5	2
Peso tarro+suelo húmedo	204,19	181,6	203,19	180,02	190,33	231,87	211,72	209,82	195,36	190,4
Peso tarro+suelo seco	191,94	170,9	188,28	166,68	172,71	210,19	190,96	189,34	174,05	168,74
Peso Agua	12,25	10,7	14,91	13,34	17,62	21,68	20,76	20,48	21,31	21,66
Peso Tarro	31,08	31,64	29,9	29,9	30,93	30,57	30,37	31,51	31,75	31,38
Peso Suelo Seco	160,86	139,26	158,38	136,78	141,78	179,62	160,59	157,83	142,3	137,36
Contenido de agua %	7,62	7,68	9,41	9,75	12,43	12,07	12,93	12,98	14,98	15,77
CONT. PROMEDIO DE AGUA %	7,65		9,58		12,25		12,95		15,37	
DENSIDAD SECA (kg/m3)	2044,63		2092,33		2061,94		2019,51		1898,39	



Humedad Óptima	9,50%
Densidad seca max	2090 kg/m3

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio UCAUCE

Ing. Daniel Velez
 Laboratorio de suelos del Gobierno
 Provincial del Azuay

Ing. Marcos Gonzales
 Laboratorista De UCACUE



DANIEL
 SALVADOR
 VELEZ PARRA



MARCOS DARIO
 GONZALEZ
 MALDONADO

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



Proctor Modificado Mina Llatcón+15% Material de 1/2" de la Mina La Virginia+20% del tamiz pasante #40 de Puzolana

Caracterización físico-mecánica y propuestas de estabilización del material
 extraído de las minas La Virginia y Llatcón pertenecientes a la prefectura del Azuay

PROYECTO:

MUESTRA:

LOLICITADO POR :

FECHA:

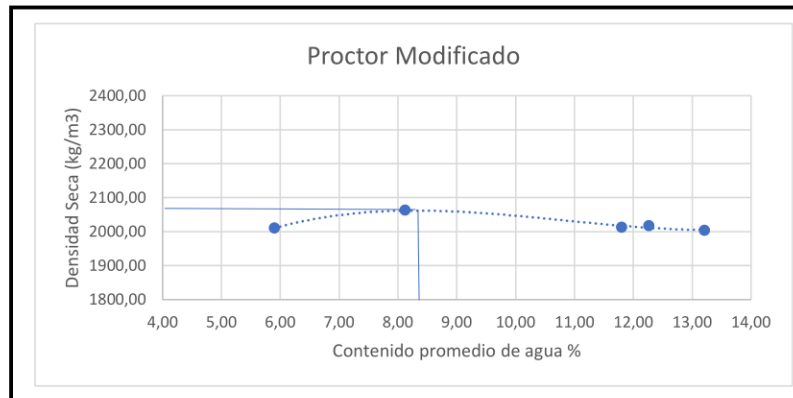
Llatcón+material grueso de la Virginia+puzolana

Ing. Luis Mario Almache

14/10/2022

Muestra	1	2	3	4	5
Agua Aumentada en (ml)	200	300	400	100	500
Peso Molde +Suelo Hum (kg)	11,184	11,257	11,228	10,97	11,266
Peso Molde Sin Collar (kg)	6,448	6,448	6,448	6,448	6,448
Peso Suelo Húmedo (kg)	4,736	4,809	4,78	4,522	4,818
Volumen del Cilindro Sin Collar (m3)	0,002124	0,002124	0,002124	0,002124	0,002124
DENSIDAD HUMEDA (kg/m3)	2229,76	2264,12	2250,47	2129,00	2268,36

Muestras para promediar	1	2	3	4	5					
Numero de Tarro	93	18	1	77	22	79	63	99	75	108
Peso tarro+suelo húmedo	180,62	185,15	193,75	196,46	226,79	200,66	181,84	175,69	209,06	222,96
Peso tarro+suelo seco	168,82	174,05	177,24	176,97	206,41	182,38	173,48	167,51	188,23	200,46
Peso Agua	11,8	11,1	16,51	19,49	20,38	18,28	8,36	8,18	20,83	22,5
Peso Tarro	29,78	31,12	31	29,8	31,59	29,53	30,34	30,48	29,72	31,02
Peso Suelo Seco	139,04	142,93	146,24	147,17	174,82	152,85	143,14	137,03	158,51	169,44
Contenido de agua %	8,49	7,77	11,29	13,24	11,66	11,96	5,84	5,97	13,14	13,28
CONT. PROMEDIO DE AGUA %	8,13		12,27		11,81		5,90		13,21	
DENSIDAD SECA (kg/m3)	2062,17		2016,74		2012,79		2010,29		2003,67	



Humedad Optima	8,10%
Densidad seca max	2085 kg/m3



Firmado electrónicamente por:
MARCOS DARIO GONZALEZ MALDONADO

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio UCAUCE

Ing. Daniel Velez
 Laboratorio de suelos del Gobierno
 Provincial del Azuay

Ing. Marcos Gonzales
 Laboratorista De
 UCACUE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



CBR MINA LLATCÓN+15% Materia de 1/2" de la Mina La Virginia+ 20% material pasante tamiz 40# de Puzolana

Caracterización físico-mecánica y propuestas de estabilización del material extraído de las minas La Virginia y Llatcón pertenecientes a la prefectura del Azuay

PROYECTO:

MUESTRA:

LOCALIZADO POR :

FECHA:

Material de llatcón+puzolana+material grueso de la Virginia

Ing. Luis Mario Almache

17/10/2022

Molde No.	2A		3A		4A	
Número de Capa	5		5		5	
Número de Golpes	56		25		12	
	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo	Antes del remojo	Después del remojo
Peso Muestra Húmeda+Molde (gr)	12091	12148	12022	12105	11838	11983
Peso del Molde (gr)	7256	7256	7243,5	7243,5	7251	7251
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	4835	4892	4778,5	4861,5	4587	4732
Volumen de la Muestra (cm3)	2120,58	2120,58	2120,58	2120,58	2120,58	2120,58
Densidad Humeda (gr/cm3)	2,280	2,307	2,253	2,293	2,163	2,231
Densidad Seca (gr/cm3)	2,071	2,120	2,053	2,101	1,959	2,034

CONTENIDO DE AGUA (antes del remojo)

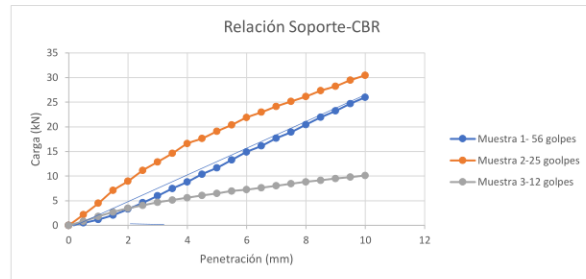
Tarro No.	94	1	20	66	77	75
Peso Muestra Húmeda+Tarro (gr)	152,47	155,85	154,88	153,7	180,99	165,69
Peso Muestra Seca+Tarro (gr)	141,2	144,51	143,97	142,66	166,02	153,53
Peso Agua	11,27	11,34	10,91	11,04	14,97	12,16
Peso Tarro	30,14	31	31,49	30,78	29,8	29,72
Peso Muestra Seca	111,06	113,51	112,48	111,88	136,22	123,81
Contenido de Humedad	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,10
Prom. Contenido de Humedad %	10,07%		9,78%		10,41%	

CONTENIDO DE AGUA (después del remojo)

Tarro No.	9	21	28	3	11	82	69	23	10
Peso Muestra Húmeda+Tarro (gr)	177,19	173,54	213,16	188,97	188,18	206,12	193,58	216,31	233,63
Peso Muestra Seca+Tarro (gr)	165,83	161,99	198,03	176,94	175,08	190,23	179,6	200,53	214,54
Peso Agua	11,36	11,55	15,13	12,03	13,1	15,89	13,98	15,78	19,09
Peso Tarro	31,54	31,56	31,51	31,35	31,41	29,9	31,24	31,08	31,34
Peso Muestra Seca	134,29	130,43	166,52	145,59	143,67	160,33	148,36	169,45	183,2
Humedad	0,08	0,09	0,09	0,08	0,09	0,10	0,09	0,09	0,10
Prom. Contenido de Humedad	8,80%			9,10%			9,72%		

RELACIÓN SOPORTE-CBR

Penetración	Muestra 1- 56 golpes		Muestra 2-25 golpes		Muestra 3-12 golpes
	9 golpes	21 golpes	28 golpes	3 golpes	
0	0	0	0	0	0
0,5	0,5	2,2	0,84		
1	1,2	4,5	1,82		
1,5	2,1	7,106	2,72		
2	3,3	8,98	3,47		
2,5	4,6	11,17	4,07		
3	6	12,89	4,68		
3,5	7,49	14,65	5,15		
4	8,83	16,59	5,62		
4,5	10,4	17,66	6,07		
5	11,7	19,1	6,49		
5,5	13,3	20,42	6,97		
6	14,91	21,9	7,25		
6,5	16,15	22,97	7,65		
7	17,68	24,15	8,03		
7,5	18,94	25,16	8,45		
8	20,46	26,17	8,84		
8,5	21,94	27,34	9,16		
9	23,25	28,26	9,51		
9,5	24,72	29,47	9,79		
10	26	30,48	10,13		



PENETRACION	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
2,5 mm	34,85	84,62	30,83
5,0 mm	58,5	95,5	32,45



Ing. Daniel Velez

Laboratorio de suelos del Gobierno Provincial del Azuay



Ing. Marcos González Maldonado
 Laboratorista De UCACUE

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio UCACUE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



CBR MINA LLANCON+15% Materia de 1/2" de la Mina La Virginia+ 20% material pasante tamiz 40# de Arena

Caracterización físico-mecánica y propuestas de estabilización del material extraído de las minas La Virginia y Llatcón pertenecientes a la prefectura del Azuay

PROYECTO:

MUESTRA:

LOUCITADO POR :

FECHA:

Material de Llatcón+material grueso de la Virginia+arena

Ing. Luis Mario Almache

25/10/2022

Molde No.	2A		3A		4A	
Número de Capa	5		5		5	
Número de Golpes	56		25		12	
	Antes del remojo	Despues del remojo	Antes del remojo	Despues del remojo	Antes del remojo	Despues del remojo
Peso Muestra Húmeda+Molde (gr)	12113	12166	11900	12029	11748	11935
Peso del Molde (gr)	7253	7253	7246	7246	7251	7251
Peso de la Muestra Húmeda (gr)	4860	4913	4654	4783	4497	4684
Volumen de la Muestra (cm ³)	2120,58	2120,58	2120,58	2120,58	2120,58	2120,58
Densidad Humeda (gr/cm ³)	2,292	2,317	2,195	2,256	2,121	2,209
Densidad Seca (gr/cm ³)	2,088	2,103	1,978	1,968	1,912	1,960

CONTENIDO DE AGUA (antes del remojo)

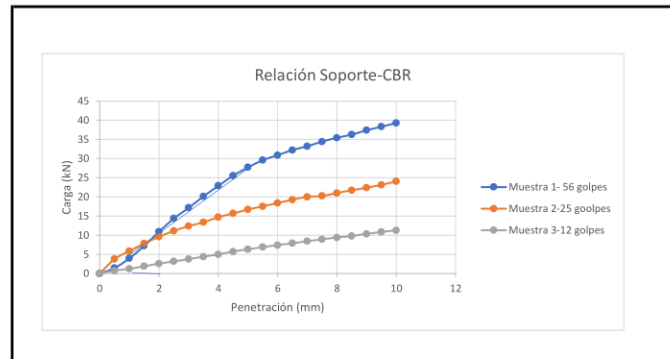
Tarro No.	28	65	66	74	84	71
Peso Muestra Húmeda+Tarro (gr)	179,77	161,75	166,82	175,56	158,73	157,11
Peso Muestra Seca+Tarro (gr)	166,56	150,08	153,58	160,94	145,59	145,21
Peso Agua	13,21	11,67	13,24	14,62	13,14	11,9
Peso Tarro	31,51	30,38	30,78	30,1	29,72	31,51
Peso Muestra Seca	135,05	119,7	122,8	130,84	115,87	113,7
Contenido de Humedad	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,10
Prom. Contenido de Humedad %	9,77%		10,98%		10,90%	

CONTENIDO DE AGUA (después del remojo)

Tarro No.	69	93	82	96	1	77	67	21	7
Peso Muestra Húmeda+Tarro (gr)	154,41	158,45	161,28	211,13	181,76	179,09	228,2	202,1	207,7
Peso Muestra Seca+Tarro (gr)	141,51	146,84	149,96	187,08	163,14	160,33	207,31	181,28	188,36
Peso Agua	12,9	11,61	11,32	24,05	18,62	18,76	20,89	20,82	19,34
Peso Tarro	31,86	30,14	20,9	30,03	31	29,8	31,48	31,56	30,08
Peso Muestra Seca	109,65	116,7	129,06	157,05	132,14	130,53	175,83	149,72	158,28
Humedad	0,12	0,10	0,09	0,15	0,14	0,14	0,12	0,14	0,12
Prom. Contenido de Humedad	10,16%			14,59%			12,67%		

RELACIÓN SOPORTE-CBR

Penetración	RELACIÓN SOPORTE-CBR		
	Muestra 1- 56 golpes	Muestra 2-25 golpes	Muestra 3-12 golpes
0	0	0	0
0,5	1,45	3,79	0,75
1	3,99	5,88	1,25
1,5	7,23	7,86	1,9
2	10,96	9,6	2,6
2,5	14,37	11,15	3,16
3	17,17	12,38	3,78
3,5	20,16	13,4	4,41
4	22,91	14,71	5,01
4,5	25,55	15,7	5,75
5	27,73	16,72	6,35
5,5	29,6	17,55	6,9
6	30,91	18,41	7,42
6,5	32,25	19,29	7,9
7	33,23	20,01	8,44
7,5	34,45	20,24	8,93
8	35,44	21,025	9,42
8,5	36,29	21,75	9,82
9	37,4	22,41	10,36
9,5	38,34	23,15	10,85
10	39,29	24,069	11,29



PENETRACION	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
2,5 mm	108,86	84,47	23,94
5,0 mm	138,65	83,6	31,75



Ing. Daniel Velez
 Laboratorio de suelos del Gobierno Provincial del Azuay



Ing. Marcos Gonzales
 Laboratorista De UCACUE

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio UCAUCE



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CÓDIGO	LL+P+V M1	Ensayo	Corte Directo
Muestra	1	Carga	10 kg

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR

FECHA DE IMPRESIÓN	2023-01-18	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2022-10-27	575	Llaticón+20% Puzolana

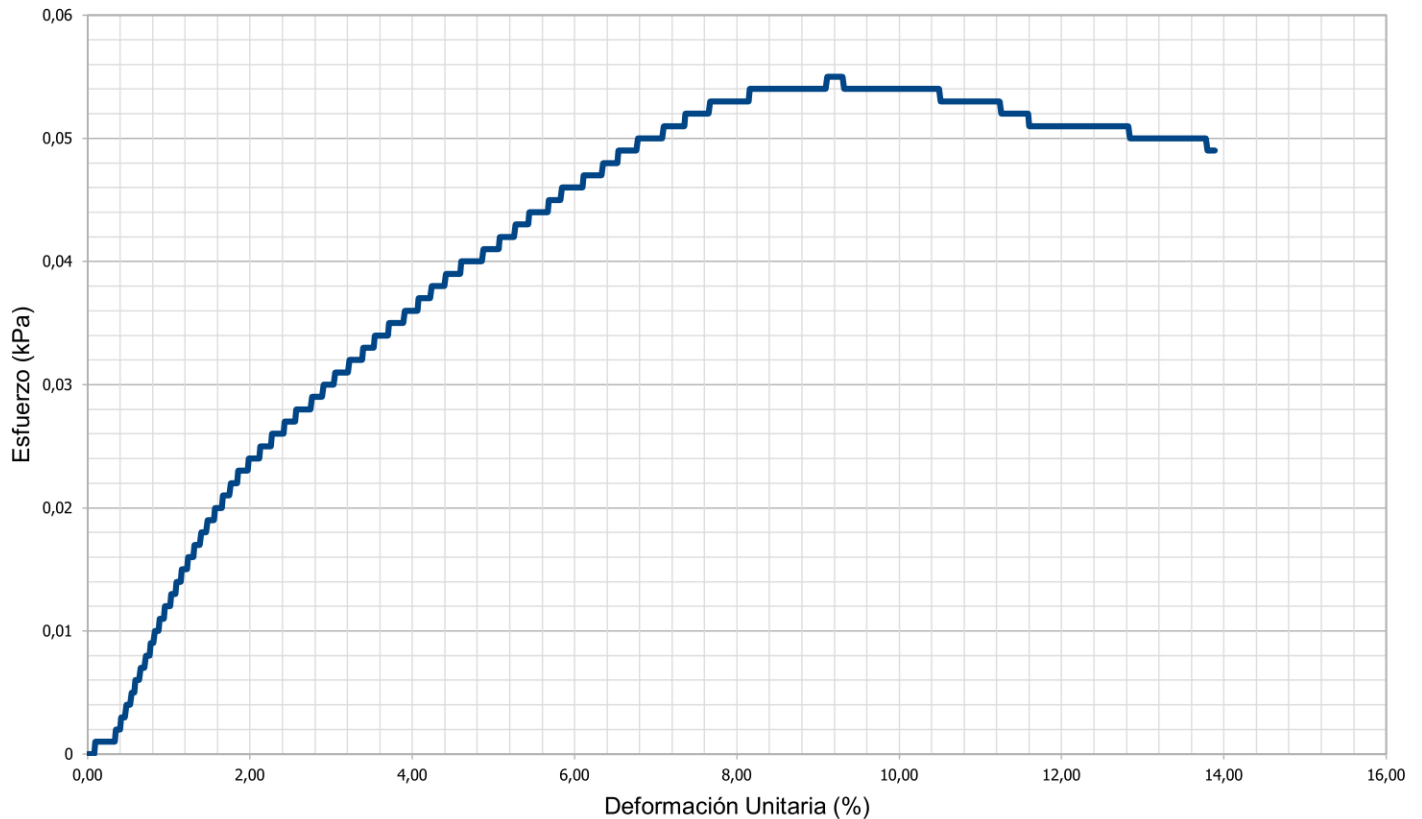
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	Llaticón+20% Puzolana M1
Estudiante	Sebastián Vanegas-Sofía Wilches
PROYECTO	Tesis

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO

Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63	8,75	13,889	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
3969	216,8	0,055	

GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



Firma



Firmado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
 GONZALEZ
 MALDONADO**

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

DIRECTOR LABORATORIO

Ing. Luis Mario Almache



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CÓDIGO	LL+P+V M2	Ensayo	Corte Directo
Muestra	2	Carga	20kg

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR

FECHA DE IMPRESIÓN	2023-01-18	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2022-10-27	576	Llalcón+20% Puzolana

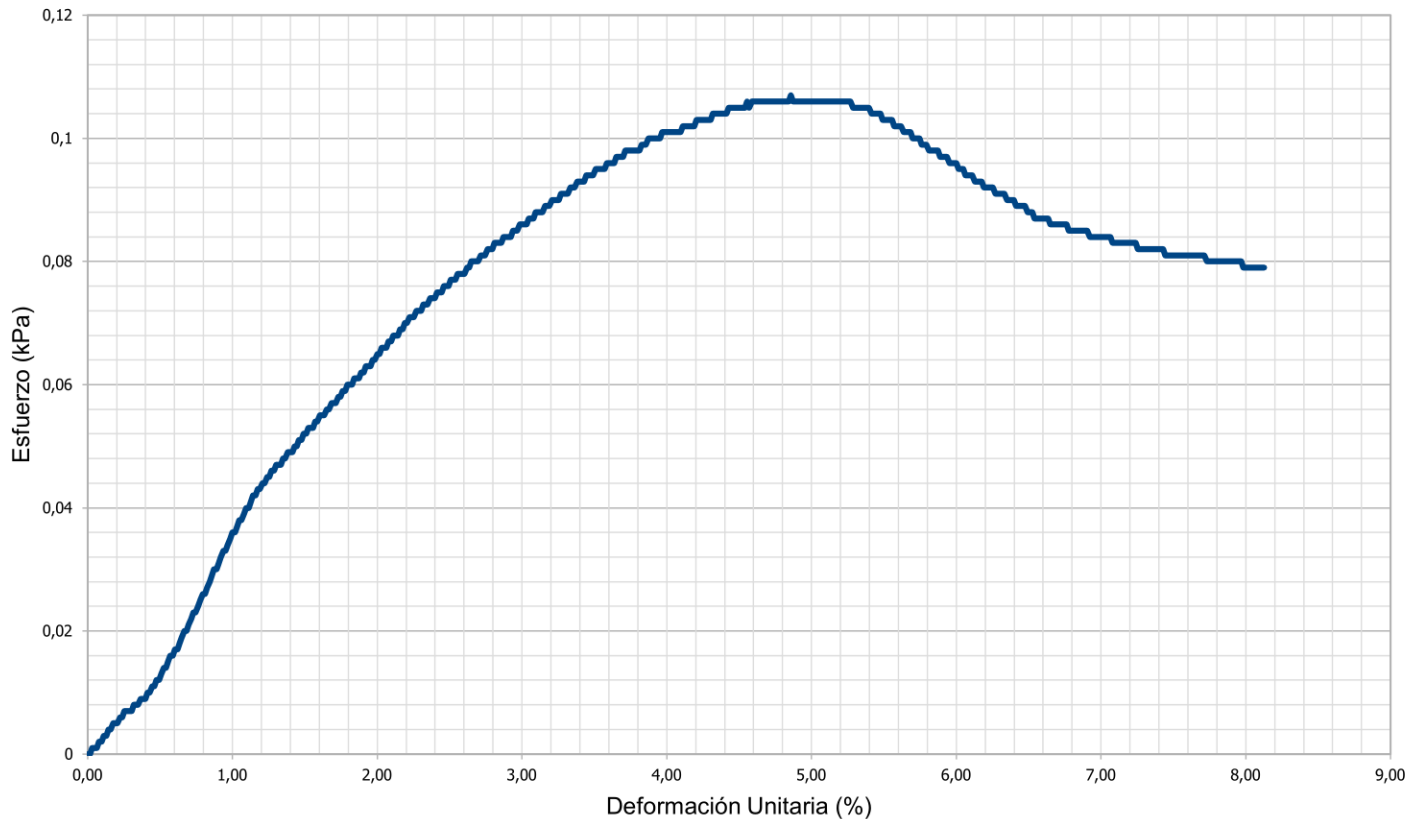
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	Llalcón+20% Puzolana M2
Estudiante	Sebastián Vanegas-Sofía Wilches
PROYECTO	Tesis

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO

Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63	5,12	8,127	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
3969	422,8	0,107	

GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



Firma



Firmado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
 GONZALEZ
 MALDONADO**

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

DIRECTOR LABORATORIO

Ing. Luis Mario Almache



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CÓDIGO	LL+P+V M3	Ensayo	Corte Directo
Muestra	3	Carga	40 kg

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR

FECHA DE IMPRESIÓN	2023-01-18	No. ENSAYO	Llatcóm+20% Puzolana
FECHA DE ENSAYO	2022-10-27	577	Indeterminado

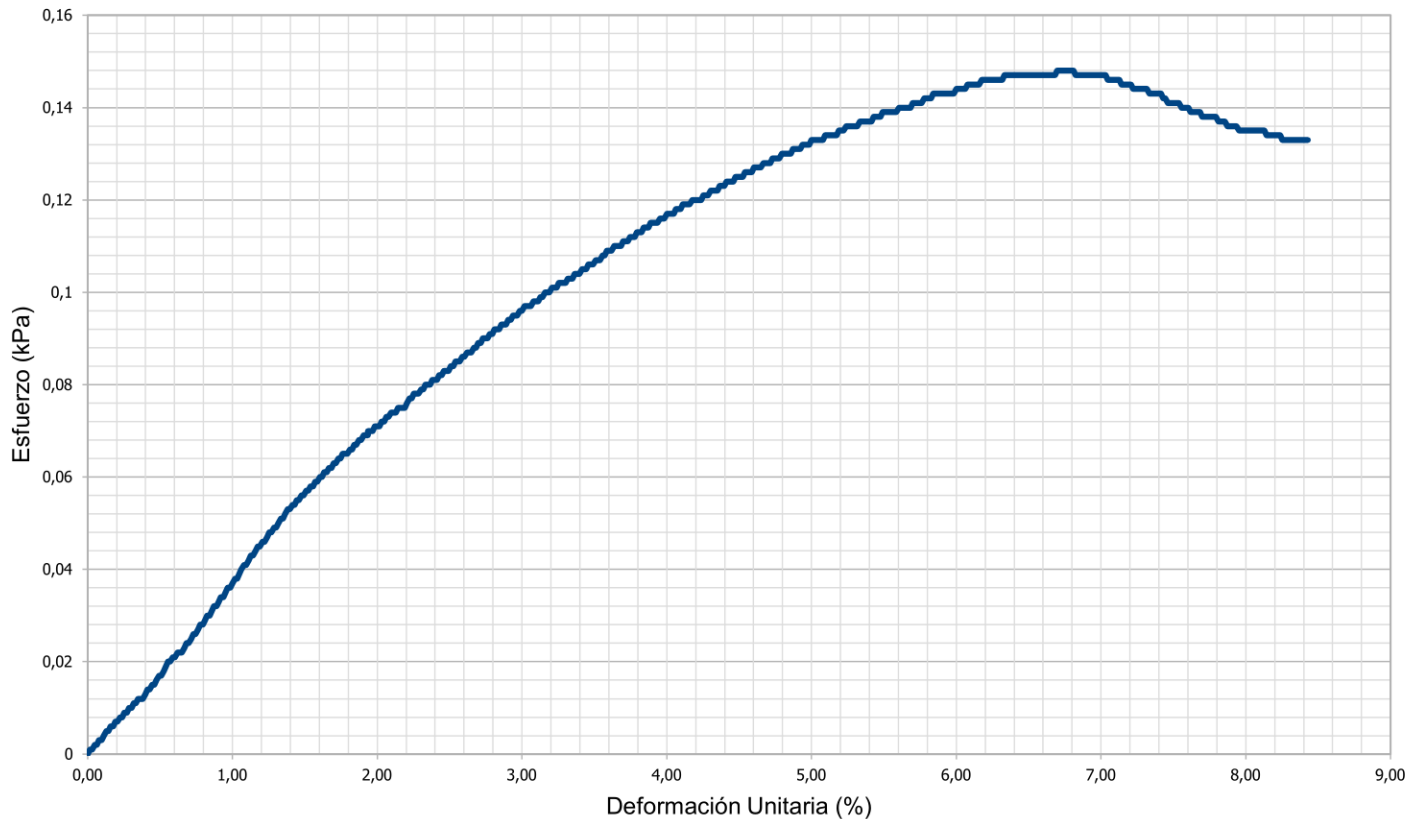
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	Llatcóm+20% Puzolana M3
Estudiante	Sebastián Vanegas-Sofía Wilches
PROYECTO	Tesis

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO

Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63	5,31	8,429	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
3969	586,4	0,148	

GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



Firma



Firmado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
 GONZALEZ
 MALDONADO**

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

DIRECTOR LABORATORIO

Ing. Luis Mario Almache

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



CORTE DIRECTO DE Mina LLancón+15% Materia de 1/2" de la Mina La Virginia+ 20% material pasante tamiz #40 de Puzolana

CARACTERIZACION FISICO-MECANICA DEL MATERIAL, BASE Y SUBBASE DE LA MINA VIRGINIA y LLATCON, PERTENECIENTES A LA PREFECTURA DEL AZUAY.

PROYECTO

MUESTRA

OLICITADO POR :

FECHA

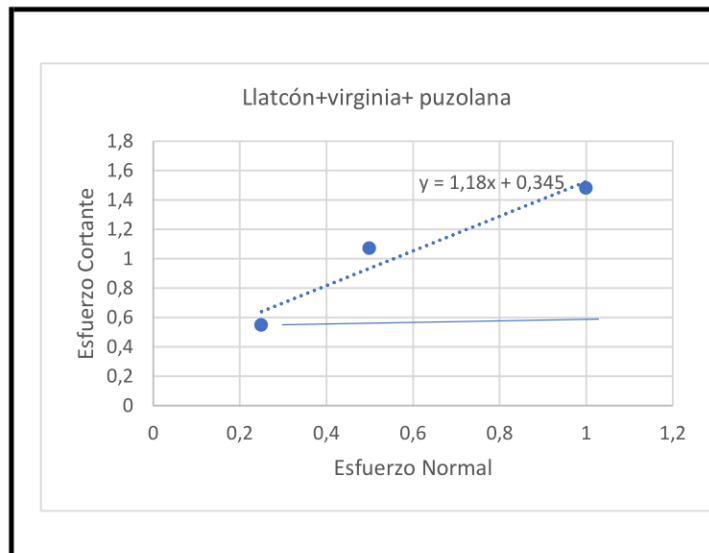
Material de Llatcón+puzolana+ material grueso de la Virginia

Ing. Luis Mario Almache

27/10/2022

Muestras	Esfuerzo Normal	Esfuerzo Cortante
	kg/cm ²	kg/cm ²
Muestra 1	0,2500	0,5500
Muestra 2	0,5000	1,0700
Muestra 3	1,0000	1,4800

Cohesión (kg/cm ²)	0,7
Angulo de Fricción	49,72



Elaborado electrónicamente por:
**DANIEL
 SALVADOR
 VELEZ PARRA**



Elaborado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
 GONZALEZ
 MALDONADO**

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Laboratorio UCACUE

Ing. Daniel Velez
 Laboratorio de suelos del Gobierno
 Provincial del Azuay

Ing. Marcos Gonzales
 Laboratorista
 UCAUCE



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CÓDIGO	LL+V+A M1	Ensayo	Corte Directo
Número de ensayo	1	Carga	20 kg

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR

FECHA DE IMPRESIÓN	2023-01-18	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2022-10-24	569	Llarcón+20% Arena

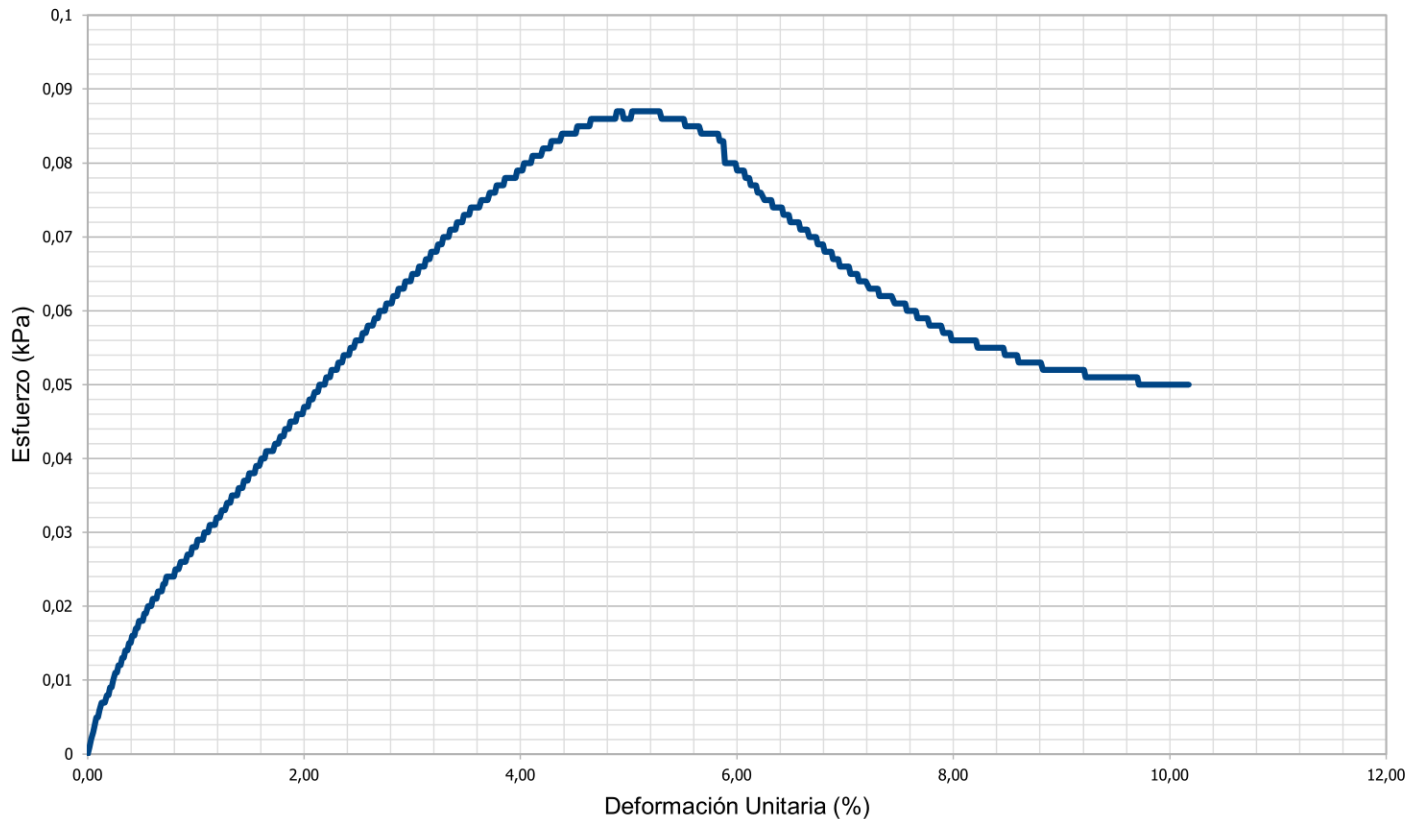
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	Llarcón+20% Arena		
Estudiante	Sebastián Vanegas- Sofía Wilches		
PROYECTO	Tesis		

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO

Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63	6,42	10,19	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
3969	344,4	0,087	

GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



OBSERVACIONES:



PINZUAR LABORATORIO DE MATERIALES
 MARCOS DARIO GONZALEZ MALDONADO

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

DIRECTOR LABORATORIO

Ing. Luis Mario Almache



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CÓDIGO	LL+V+A M2	Ensayo	Corte Directo
Número de ensayo	2	Carga	10 kg

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR

FECHA DE IMPRESIÓN	2023-01-18	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2022-10-24	570	Llatacón+20% Arena

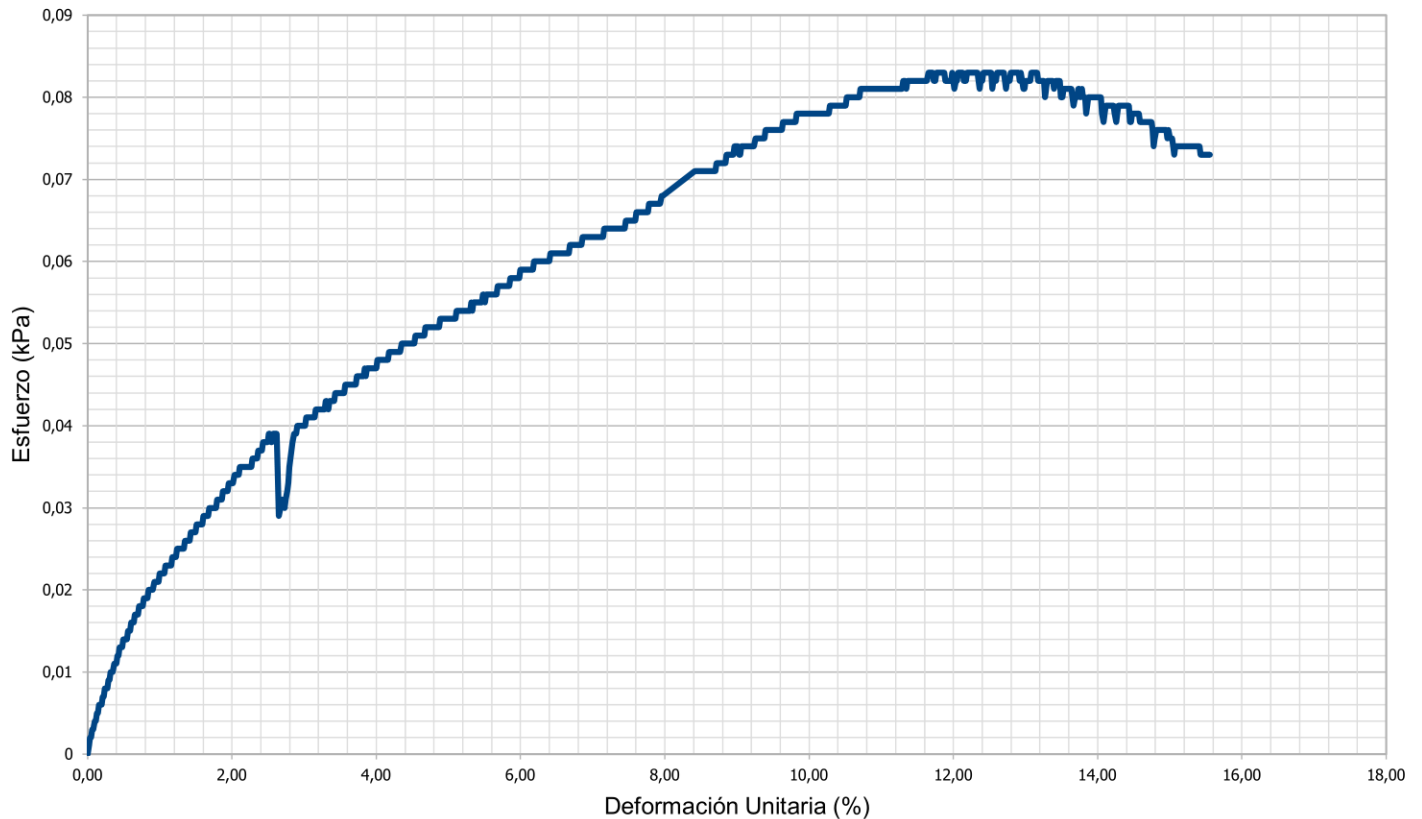
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	Llatacón+20% Arena		
CLIENTE	Sebastián Vanegas-Sofía Wilches		
PROYECTO	Tesis		

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO

Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63	9,8	15,556	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
3969	330,4	0,083	

GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



Firma



Firmado digitalmente por
**MARCOS DARIO
 GONZALEZ
 MALDONADO**

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

DIRECTOR LABORATORIO

Ing. Luis Mario Almache



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CÓDIGO	LL+V+A M3	Ensayo	Corte Directo
Número de ensayo	3	Carga	40 kg

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR

FECHA DE IMPRESIÓN	2023-01-18	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2022-10-24	571	Llarcón+20% Arena

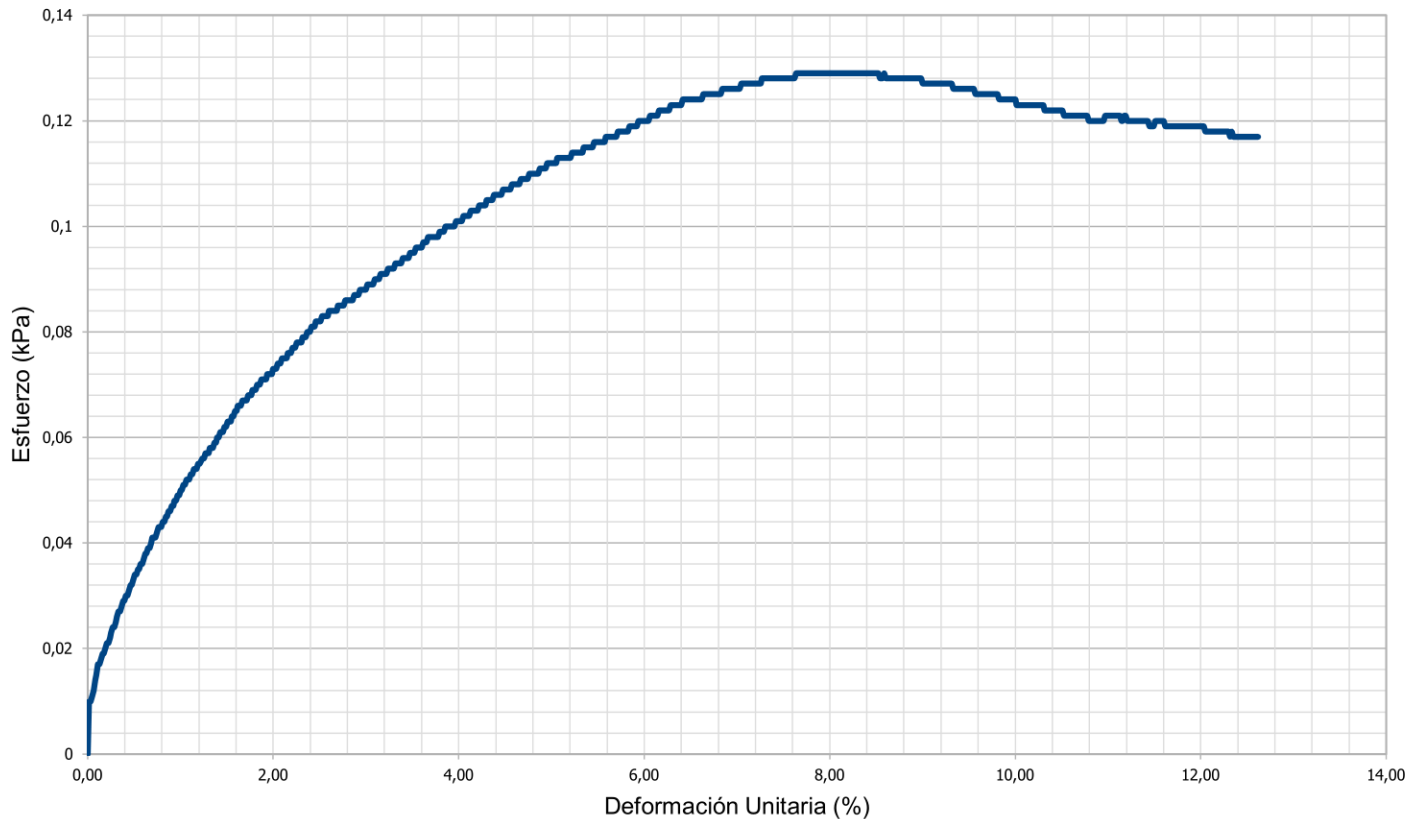
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	Llarcón+20% Arena		
CLIENTE	Sebastián Vanegas-Sofía Wilches		
PROYECTO	Tesis		

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO

Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63	7,95	12,619	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
3969	512,4	0,129	

GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



Firma



FIRMADO DIGITALMENTE POR:
**MARCOS DARIO
 GONZALEZ
 MALDONADO**

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

DIRECTOR LABORATORIO

Ing. Luis Mario Almache

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

CORTE DIRECTO DE Mina Llancón+15% Materia de 1/2" de la Mina La Virginia+ 20% material pasante tamiz #40 de Arena



CARACTERIZACION FISICO-MECANICA DEL MATERIAL, BASE Y SUBBASE DE
 LA MINA VIRGINIA Y LLATCON, PERTENECIENTES A LA PREFECTURA DEL
 AZUAY.

PROYECTO

MUESTRA

LOLICITADO POR :

FECHA

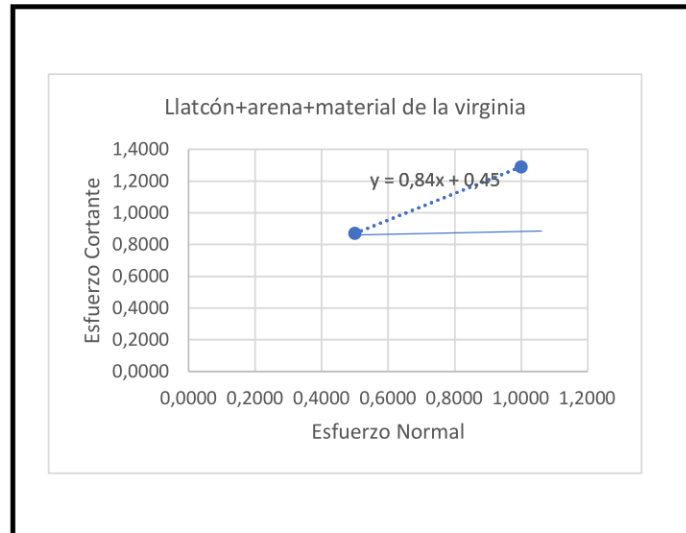
Material de Llancón+arena+ material grueso de la Virginia

Ing. Luis Mario Almache

24/10/2022

Muestras	Esfuerzo Normal	Esfuerzo Cortante
	kg/cm ²	kg/cm ²
Muestra 1	0,2500	0,8300
Muestra 2	0,5000	0,8700
Muestra 3	1,0000	1,2900

Cohesión (kg/cm ²)	0,85
Angulo de Fricción	40,03



Firmado electrónicamente por:
**DANIEL
 SALVADOR
 VELEZ PARRA**



Firmado electrónicamente por:
**MARCOS DARIO
 GONZALEZ
 MALDONADO**

Ing. Luis Mario Almache
 Jefe de Labotario UCACUE

Ing. Daniel Velez
 Laboratorio de suelos del Gobierno
 Provincial del Azuay

Ing. Marcos Gonzales
 Laboratorista
 UCAUCE

Análisis de Precios Unitarios

Código: 514006
Descrip.: Base Granular (Libre aprovechamiento La Virginia).
Unidad: m3

COSTOS DIRECTOS

Equipo y herramienta								
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%	
						Subtotal de Equipo:	\$0,0000	0,00000%

Materiales								
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%	
514002	Cargado de material a maquina en mina	m3	1,00000	1,13		1,13000	9,81755%	
514001	Explotación de roca en mina (no incluye cargado)	m3	1,00000	4,19		4,19000	36,40313%	
514003	Transporte de material en mina	m3	1,00000	1,19		1,19000	10,33884%	
514004	Trituración primaria y secundaria para base	m3	1,00000	5,00		5,00000	43,44049%	
						Subtotal de Materiales:	11,51000	100,00001%

Transporte								
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total	%	
						Subtotal de Transporte:	0,00000	0,00000%

Mano de Obra								
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total	%		
						Subtotal de Mano de Obra:	0,00000	0,00000%

Costo Directo Total: 11,51000

COSTOS INDIRECTOS

18% 2,07180

Precio Unitario Total	13,58180
------------------------------------	-----------------

Son: TRECE CON 58/100 DÓLARES

Análisis de Precios Unitarios

Código: 503069
Descrip.: Explotación de material de mejoramiento en cantera (incluye pago de material en banco)
Unidad: m3

COSTOS DIRECTOS

Equipo y herramienta							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
101004	Cargadora frontal 150hp	Hora	1,00000	50,00	0,02000	\$1,0000	22,93578%
101012	Tractor de 220hp con roturador	Hora	1,00000	55,00	0,02000	\$1,1000	25,22936%
Subtotal de Equipo:						\$2,1000	48,16514%

Materiales							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total	%
201001	Material de mejoramiento en banco	m3	1,00000	2,00		2,00000	45,87156%
Subtotal de Materiales:						2,00000	45,87156%

Transporte							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total	%
Subtotal de Transporte:						0,00000	0,00000%

Mano de Obra							
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total	%	
409003	Cargadora frontal	1,00	4,29	0,02000	0,09000	2,06422%	
402004	Peon	1,00	3,83	0,02000	0,08000	1,83486%	
409009	Tractor camies o ruedas (bulldozer, tapador, roturador, malacate, trailla)	1,00	4,29	0,02000	0,09000	2,06422%	
Subtotal de Mano de Obra:						0,26000	5,96330%

Costo Directo Total: 4,36000

COSTOS INDIRECTOS

18% 0,78480

Precio Unitario Total	5,14480
------------------------------------	----------------

Son: CINCO CON 14/100 DÓLARES

Análisis de Precios Unitarios

Código: 514004
Descrip.: Trituración primaria y secundaria para material puzolanico (bloque) (incluye material)
Unidad: m3

COSTOS DIRECTOS

Equipo y herramienta							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
101004	Cargadora frontal 150hp	Hora	0,25000	50,00	0,04000	\$0,5000	10,00000%
101036	Trituradora primaria y secundaria	Hora	1,00000	110,00	0,04000	\$2,2000	44,00000%
Subtotal de Equipo:						\$2,7000	76,40000%

Materiales							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total	%
	Material Puzolanico (bloque)	m3	1,00000	4,36		4,36000	
						4,36000	0,00000%

Transporte							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total	%
Subtotal de Transporte:						0,00000	0,00000%

Mano de Obra							
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.		Total	%
409003	Cargadora frontal	1,00	4,29	0,04000		0,17000	3,40000%
410010	Operador de trituradora	1,00	4,09	0,04000		0,16000	3,20000%
403012	Ayudante de maquinaria	4,00	3,93	0,04000		0,63000	12,60000%
Subtotal de Mano de Obra:						0,96000	23,60000%

Costo Directo Total: 8,02000

COSTOS INDIRECTOS

18% 1,44360

Precio Unitario Total	9,46
------------------------------------	-------------

Son: NUEVE CON 46/100 DÓLARES

Análisis de Precios Unitarios

Código: 514003
Descrip.: Transporte de material en mina
Unidad: m3

COSTOS DIRECTOS

Equipo y herramienta							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
101005	Volquete de 8m3, 270hp	Hora	1,00000	23,00	0,04167	\$0,9600	80,67227%
Subtotal de Equipo:						\$0,9600	80,67227%

Materiales							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total	%
Subtotal de Materiales:						0,00000	0,00000%

Transporte							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total	%
Subtotal de Transporte:						0,00000	0,00000%

Mano de Obra							
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total	%	
432001	Chofer tipo E	1,00	5,62	0,04167	0,23000	19,32773%	
Subtotal de Mano de Obra:						0,23000	19,32773%

Costo Directo Total: 1,19000

COSTOS INDIRECTOS

18% 0,21420

Precio Unitario Total 1,40420

Son: UNO CON 40/100 DÓLARES

Análisis de Precios Unitarios

Código: 501015
Descrip.: Arena de rio en cantera, explotacion
Unidad: m3

COSTOS DIRECTOS

Equipo y herramienta

Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
102024	Criba estacionaria	Hora	1,00000	2,00	0,05000	\$0,1000	0,91575%
101024	Excavadora de orugas 130hp	Hora	1,00000	55,00	0,05000	\$2,7500	25,18315%
101027	Volquete 12m3, 320hp	Hora	1,00000	28,00	0,05000	\$1,4000	12,82051%
102016	Bomba de agua 7hp	Hora	1,00000	4,00	0,05000	\$0,2000	1,83150%
Subtotal de Equipo:						\$4,4500	40,75091%

Materiales

Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total	%	
201023	Arena de rio	m3	1,00000	5,60	5,60000	51,28205%	
Subtotal de Materiales:						5,60000	51,28205%

Transporte

Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total	%
Subtotal de Transporte:						0,00000	0,00000%

Mano de Obra

Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total	%	
409008	Operador de excavadora	1,00	4,29	0,05000	0,21000	1,92308%	
432001	Chofer tipo E	1,00	5,62	0,05000	0,28000	2,56410%	
402004	Peon	2,00	3,83	0,05000	0,38000	3,47985%	
Subtotal de Mano de Obra:						0,87000	7,96703%

Costo Directo Total: 10,92000

COSTOS INDIRECTOS

18% 1,96560

Precio Unitario Total 12,88560

Son: DOCE CON 88/100 DÓLARES

Análisis de Precios Unitarios

Código: 500005
Descrip.: Transporte de material, distancia= 40km.
Unidad: m3-km
 309-6.(5).A. 1

COSTOS DIRECTOS

Equipo y herramienta							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
101005	Volquete de 8m3, 270hp	Hora	1,00000	23,00	0,00625	\$0,1438	80,36338%
Subtotal de Equipo:						\$0,1438	80,36338%

Materiales							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total	%
Subtotal de Materiales:						0,00000	0,00000%

Transporte							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total	%
Subtotal de Transporte:						0,00000	0,00000%

Mano de Obra							
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total	%	
432001	Chofer tipo E	1,00	5,62	0,00625	0,03513	19,63662%	
Subtotal de Mano de Obra:					0,03513	19,63662%	

Costo Directo Total: 0,17888

COSTOS INDIRECTOS

18% 0,03220

Precio Unitario Total 0,21107

Son: CON 31/100 DÓLARES

Análisis de Precios Unitarios

Código: 514008
Descrip.: Agregado 3/4
Unidad: m3

COSTOS DIRECTOS

Equipo y herramienta							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total	%
101024	Excavadora de orugas 130hp	Hora	0,75000	42,00	0,04167	1,31	4,69%
101004	Cargadora frontal 150hp	Hora	0,75000	30,00	0,04167	0,94	3,36%
101005	Volquete de 12m3	Hora	1,00000	30,00	0,05556	1,67	5,96%
101036	Trituradora primaria y secundaria	Hora	1,00000	50,00	0,05556	2,78	9,93%
106001	Herramienta manual y menor de construcción	Hora	5%MO			0,12	0,43%
101003	Carro cisterna 2000 gal	Hora	0,30000	22,00	0,04167	0,28	1,00%
Subtotal de Equipo:						7,10	25,36%

Materiales							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total	%
200174	Material crudo	m3	1,10000	14,91		16,40	58,57%
Subtotal de Materiales:						16,40	58,57%

Transporte							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total	%
	Transporte de material	m3-km	1,00000	0,24	9,00	2,16	
Subtotal de Transporte:						2,16	0,00%

Mano de Obra							
Código	Descripción	Número	S.R.H.	Rendim.	Total	%	
409008	Operador de Excavadora	1,00	8,93	0,04167	0,37	1,32%	
409003	Cargadora frontal	1,00	8,93	0,04167	0,37	1,32%	
432001	Chofer Estr.Oc.C1	1,00	7,05	0,05556	0,39	1,39%	
403010	Ayudante de maquinaria	3,00	5,71	0,04167	0,71	2,54%	
410010	Operador de trituradora	1,00	8,93	0,05556	0,50	1,79%	
Subtotal de Mano de Obra:						2,34	8,36%

Costo Directo Total: 28,00

COSTOS INDIRECTOS

18% 5,04

Precio Unitario Total	33,04
------------------------------------	--------------



AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, **Víctor Sebastián Vanegas Jáuregui** y **Sofía Micaela Wilches Aguilar** portadores de las cédulas de ciudadanía N.º 0105814396 y 0104897426. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Caracterización Físico-Mecánica y propuestas de estabilización del material extraído de las minas La Virginia y Llatcón, pertenecientes a la prefectura del Azuay”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 1 de febrero de 2023

F:

Víctor Sebastián Vanegas Jáuregui
0105814396

F:

Sofía Micaela Wilches Aguilar
0104897426